



UNIVERSIDAD DE MURCIA

Departamento de Tecnología de Alimentos, Nutrición y Bromatología

***CALIDAD Y DETERIORO DE PLATOS  
“SOUS VIDE” PREPARADOS A BASE DE  
CARNE Y PESCADO Y ALMACENADOS EN  
REFRIGERACIÓN***

Pedro Díaz Molins

**Tesis Doctoral 2009**

## **AGRADECIMIENTOS**

En esta sección, quiero agradecer y despedirme a la vez, de todas aquellas personas que han compartido conmigo todos estos años de trabajo.

En especial, a M<sup>a</sup> Dolores y Sancho, por haberme ayudado y aconsejado en esta difícil y complicada “vida del becario”. Sobre todo por haberme dado la oportunidad de haber cumplido este sueño. Gracias a vosotros, podré emprender otro camino habiendo conocido este mundo tan apasionante.

A la empresa Rational Food, S.A., por su inestimable colaboración. En especial a Paco por todo el esfuerzo realizado.

A profesores, técnicos, becarios y sobre todo compañeros que dejo con muy buen recuerdo y de los cuales he aprendido a convivir y a respetar y para los cuales espero haberles sido útil de una forma u otra. Espero que todos vuestros proyectos se cumplan y que nunca se pierda el contacto entre nosotros.

A mi familia, por haberme apoyado en todos los cambios acontecidos durante este periodo. Por haberme apoyado a cumplir este sueño que perdurará en mi memoria para siempre.

A mis amigos, por todos los momentos magníficos que hemos pasado juntos y por los que nos quedan. Este es mi regalo para todos vosotros por alcanzar juntos los legendarios 30 años.

Y muy en especial a Laura, por haberme hecho sentir tan especial cada día. Por haberme escuchado siempre que lo he necesitado.

Gracias a todos.

Dedicada a mis padres y hermanas

*“La raza humana necesita un desafío intelectual.  
Debe de ser aburrido ser Dios, y no tener nada que descubrir”*

**Stephen W. Hawking**

<i>Índice de contenidos</i>	<i>Página</i>
<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	15
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	23
<b>2.1. Consumo de platos preparados</b> .....	25
<b>2.2. Normativa para platos preparados</b> .....	28
<b>2.3. El método <i>Cook and Chill</i></b> .....	31
<b>2.4. Cocinado <i>sous vide</i></b> .....	36
2.4.1. Origen.....	36
2.4.2. Tecnología empleada.....	36
2.4.2.1. <i>Envasado</i> .....	39
2.4.2.1.a. Envases.....	40
2.4.2.1.b. Materiales de envasado.....	43
2.4.2.1.c. Equipos de envasado.....	53
2.4.2.1.d. Envasado a vacío.....	56
2.4.2.1.e. Envasado en atmósfera modificada.....	57
2.4.2.2. <i>Cocinado</i> .....	60
2.4.2.2.a. Composición y estructura de la carne y el pescado.....	60
2.4.2.2.b. Efecto del cocinado sobre la carne.....	62
2.4.2.2.c. Efecto del cocinado sobre la microflora.....	67
2.4.2.2.d. Equipos de cocinado.....	69
2.4.2.3. <i>Abatimiento de temperatura</i> .....	72
2.4.2.4. <i>Almacenamiento en refrigeración</i> .....	76
2.4.2.5. <i>Regeneración del producto</i> .....	77
2.4.3. Ventajas del cocinado <i>sous vide</i> .....	77
2.4.3.1. <i>Industria del catering</i> .....	78
2.4.3.2. <i>Nutricionales</i> .....	79
2.4.3.3. <i>Sensoriales</i> .....	87
2.4.3.4. <i>Vida comercial más extensa</i> .....	90
2.4.4. Inconvenientes del cocinado <i>sous vide</i> .....	92
2.4.4.1. <i>Riesgo microbiológico</i> .....	92
2.4.4.1.a. <i>Clostridium botulinum</i> .....	94
2.4.4.1.b. <i>Listeria monocytogenes</i> .....	96
2.4.4.1.c. <i>Bacillus cereus</i> .....	99
2.4.4.1.d. <i>Yersinia enterocolítica</i> .....	100
2.4.4.1.e. <i>Aeromonas</i> .....	101
2.4.4.2. <i>Estrategias para evitar riesgos microbiológicos</i> .....	102

2.4.4.2.a. Irradiación.....	104
2.4.4.2.b. Empleo de altas presiones hidrostáticas.....	105
2.4.4.2.c. Adición de ácidos, sal y especias.....	106
2.4.4.2.d. Adición de lactato sódico.....	107
2.4.4.2.e. Bioconservantes.....	108
2.4.5. Deterioro de los productos <i>sous vide</i> .....	110
2.4.5.1. Microbiológico.....	110
2.4.5.1.a. Bacterias ácido lácticas.....	112
2.4.5.1.b. Mohos y levaduras.....	114
2.4.5.2. Físico-Químico.....	115
2.4.5.3. Enzimático.....	117
2.4.5.4. Sensorial.....	120
2.4.6. Métodos para evaluar el deterioro en platos preparados de carne y pescado.....	122
2.4.6.1. Métodos microbiológicos.....	122
2.4.6.1.a. Recuento de bacterias ácido lácticas.....	122
2.4.6.1.b. Identificación y recuento de enterobacterias totales....	124
2.4.6.1.c. Recuentos de mohos y levaduras.....	125
2.4.6.1.d. Recuento de anaerobios psicrófilos.....	126
2.4.6.1.e. Recuento de aerobios psicrófilos.....	127
2.4.6.2. Métodos físico-químicos.....	128
2.4.6.2.a. Evaluación de la oxidación.....	128
2.4.6.2.b. Actividad de agua.....	131
2.4.6.2.c. Evaluación de la acidez.....	132
2.4.6.2.d. Evaluación del color .....	132
2.4.6.2.e. Evaluación instrumental de la textura.....	134
2.4.6.3. Métodos sensoriales.....	135
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>139</b>
<b>3.1. Elaboración de platos preparados <i>sous vide</i>.....</b>	<b>141</b>
3.1.1. Platos preparados <i>sous vide</i> elaborados con un solo ingrediente.....	141
3.1.2. Platos preparados <i>sous vide</i> con salsa.....	142
<b>3.2. Análisis físico-químico.....</b>	<b>143</b>
3.2.1. Color CIELab.....	143
3.2.2. Actividad de agua.....	144
3.2.3. Textura instrumental.....	144
3.2.4. pH.....	146

3.2.5. Parámetros de composición general.....	147
3.2.5.1. Proteína total.....	147
3.2.5.2. Grasa total en materia seca.....	147
3.2.5.3. Humedad.....	148
3.2.5.4. Cenizas.....	149
3.2.6. Acidez total.....	149
3.2.7. Índice de TBARs.....	150
<b>3.3. Análisis microbiológico.....</b>	<b>152</b>
<b>3.4. Análisis sensorial.....</b>	<b>154</b>
3.4.1. Regeneración de las muestras.....	154
3.4.2. Entrenamiento del panel.....	154
3.4.3. Cata.....	155
<b>3.5. Análisis estadístico.....</b>	<b>156</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>157</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>159</b>
ESTUDIO DEL DETERIORO DEL LOMO DE CERDO COCINADO <i>SOUS VIDE</i> CONSERVADO EN REFRIGERACIÓN.	
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>179</b>
OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE COCINADO PARA EL LOMO DE CERDO <i>SOUS VIDE</i> .	
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>191</b>
ESTUDIO DEL DETERIORO DEL SALMÓN COCINADO <i>SOUS</i> <i>VIDE</i> CONSERVADO EN REFRIGERACIÓN.	
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>211</b>
AJUSTE DE LA VIDA COMERCIAL DEL SALMÓN <i>SOUS VIDE</i> CONSERVADO EN REFRIGERACIÓN SEGÚN PARÁMETROS SENSORIALES.	
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>229</b>
DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE COCINADO DE LA CARNE DE CERDO CON SALSA DE TOMATE <i>SOUS VIDE</i> ENVASADA EN BARQUETA Y ATMÓSFERA MODIFICADA.	
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>245</b>
EFFECTO DEL TIPO DE ENVASADO (VACÍO Y EN ATMÓSFERA MODIFICADA) SOBRE LA VIDA COMERCIAL DE LA CARNE COCINADA CON SALSA DE TOMATE <i>SOUS VIDE</i> .	

<b>CAPÍTULO VII</b> .....	275
ESTUDIO DE VIDA COMERCIAL DE CARRILLERA DE CERDO IBÉRICO CON SALSA VEGETAL <i>SOUS VIDE</i> ENVASADA EN BARQUETA Y ATMÓSFERA MODIFICADA.	
<b>5. CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	293
<b>6. RESUMEN</b> .....	299
<b>7. SUMMARY</b> .....	301
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	305

<b>Índice de Tablas</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla 1</b> .....	27
Valores de consumo (Kg/Cápita) dentro y fuera del hogar para los diferentes platos preparados durante el periodo 2001-2006 en España.	
<b>Tabla 2</b> .....	31
Normas microbiológicas para platos preparados.	
<b>Tabla 3</b> .....	41
Diferentes tipos de envases empleados en el cocinado <i>sous vide</i> .	
<b>Tabla 4</b> .....	42
Propiedades deseables para los materiales de envasado destinados al cocinado <i>sous vide</i> .	
<b>Tabla 5</b> .....	43
Características técnicas de las bolsas utilizadas en el cocinado <i>sous vide</i> .	
<b>Tabla 6</b> .....	47
Principales características de los polímeros más utilizados en la fabricación de envases plásticos.	
<b>Tabla 7</b> .....	48
Principales aplicaciones de los polímeros más utilizados en la fabricación de envases plásticos.	
<b>Tabla 8</b> .....	50
Permeabilidad a los gases y transmisión de vapor de agua en los principales materiales utilizados en la fabricación de envases plásticos destinados a la alimentación.	
<b>Tabla 9</b> .....	51
Resistencia a la temperatura y a los tratamientos de congelado, pasteurización, ebullición, esterilización, horneado y microondas para algunos de los materiales empleados en la fabricación de envases para uso alimentario.	
<b>Tabla 10</b> .....	57
Gases presentes en la lista de aditivos autorizados.	
<b>Tabla 11</b> .....	58
Propiedades físicas, ventajas e inconvenientes de los principales gases utilizados en el envasado en atmósfera modificada.	



<b>Tabla 12</b> .....	66
Dependencia de la estabilidad térmica con respecto al contenido en prolina e hidroxiprolina.	
<b>Tabla 13</b> .....	68
Relación temperatura/tiempo equivalente a 90 °C/10 min.	
<b>Tabla 14</b> .....	69
Temperatura interna en el centro del producto y tiempo de cocinado para diferentes platos <i>sous vide</i> con una base de carne o pescado.	
<b>Tabla 15</b> .....	81
Clasificación de vitaminas.	
<b>Tabla 16</b> .....	87
Porcentajes de retención de vitaminas A, B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>6</sub> , B <sub>12</sub> , ácido pantoténico y biotina en platos basados en carne y pescado <i>sous vide</i> después del cocinado, almacenamiento refrigerado durante 21 días y recalentado.	
<b>Tabla 17</b> .....	92
Vida comercial de distintos alimentos cocinados <i>sous vide</i> y almacenados a temperatura de refrigeración.	
<b>Tabla 18</b> .....	93
Microorganismos patógenos formadores de esporas capaces de sobrevivir al tratamiento térmico <i>sous vide</i> , valores <i>D</i> y <i>z</i> y temperatura de crecimiento.	
<b>Tabla 19</b> .....	95
Diferentes grupos de <i>Clostridium botulinum</i> .	
<b>Tabla 20</b> .....	98
Resistencia térmica de <i>Listeria monocytogenes</i> en platos cocinados.	
<b>Tabla 21</b> .....	103
Elementos barrera adicionales para asegurar la inocuidad y ampliar la vida comercial de los alimentos <i>sous vide</i> .	
<b>Tabla 22</b> .....	114
Tipos de deterioro causado por bacterias ácido lácticas en alimentos cocinados y envasados a vacío.	
<b>Tabla 23</b> .....	119
Conjunto de reacciones en cadena y enzimas endógenas que actúan en una única etapa y que afectan directamente al deterioro de carnes y pescados <i>sous vide</i> .	

<b>Tabla 24</b> .....	120
Principales enzimas proteolíticas, su localización celular y pH óptimo.	
<b>Tabla 25</b> .....	123
Composición del Agar MRS utilizado para el recuento de bacterias ácido lácticas.	
<b>Tabla 26</b> .....	124
Composición del Agar VRBG utilizado para la identificación y recuento de enterobacterias totales.	
<b>Tabla 27</b> .....	126
Composición del Agar RBC utilizado para el recuento de mohos y levaduras.	
<b>Tabla 28</b> .....	126
Composición del TSA utilizado para el recuento de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos y estrictos.	
<b>Tabla 29</b> .....	127
Composición del medio PCA utilizado de forma genérica.	
<b>Tabla 30</b> .....	146
Definición de dureza, elasticidad, cohesividad, gomosidad y masticabilidad calculados según Bourne (1978).	
<b>Tabla 31</b> .....	152
Ecuación de regresión de la curva de calibrado utilizada para la cuantificación de TBARS.	
<b>Tabla 32</b> .....	164
Atributos utilizados en el estudio del deterioro sensorial del lomo de cerdo cocinado a vacío en bolsas plásticas y termorresistentes.	
<b>Tabla 33</b> .....	165
Escala de 5 puntos utilizada en el análisis sensorial de lomo de cerdo cocinado mediante el método <i>sous vide</i> .	
<b>Tabla 34</b> .....	169
Valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro físico-químicos para lomo de cerdo cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas.	
<b>Tabla 35</b> .....	171
Coeficientes de correlación entre la aceptación y el resto de atributos sensoriales para lomo de cerdo cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 5 o 10 semanas.	

<b>Tabla 36</b> .....	181
Escala de 5 puntos utilizada en el análisis sensorial del lomo de cerdo recién cocinado mediante el método <i>sous vide</i> .	
<b>Tabla 37</b> .....	183
Valores medios y desviaciones típicas de los atributos sensoriales estudiados en el lomo de cerdo <i>sous vide</i> cocinado a 70 °C a diferentes tiempos.	
<b>Tabla 38</b> .....	202
Valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro físico-químicos para salmón cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas.	
<b>Tabla 39</b> .....	204
Coeficientes de correlación entre la aceptación y el resto de atributos sensoriales para el salmón cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 5 o 10 semanas.	
<b>Tabla 40</b> .....	214
Definiciones de los atributos sensoriales estudiados en el análisis sensorial del salmón cocinado a vacío en bolsas plásticas termorresistentes.	
<b>Tabla 41</b> .....	215
Significado de los extremos en la escala para los atributos de textura, color, olor, sabor, apariencia y aceptación utilizados en el análisis sensorial del salmón <i>sous vide</i> .	
<b>Tabla 42</b> .....	221
Valores medios y desviaciones típicas de los atributos sensoriales de salmón cocinado a vacío en bolsas plásticas termorresistentes y almacenado a 2 °C durante 0, 4, 8, 11, 15, 18, 22 ó 25 días.	
<b>Tabla 43</b> .....	222
Coeficientes de correlación entre los atributos sensoriales estudiados para el salmón cocinado <i>sous vide</i> y almacenado a 2 °C durante 0, 4, 8, 12, 15, 18, 22 ó 25 días.	
<b>Tabla 44</b> .....	233
Contenido en proteínas, grasas, humedad y cenizas para carne de cerdo con salsa de tomate recién cocinada.	
<b>Tabla 45</b> .....	234
Descripciones de los atributos de calidad utilizados en el análisis sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate <i>sous vide</i> envasada en barquetas y atmósfera modificada.	

<b>Tabla 46</b> .....	235
Significado de los extremos de la escala para los atributos de calidad utilizados en el análisis sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate <i>sous vide</i> .	
<b>Tabla 47</b> .....	238
Puntuaciones medias y desviaciones típicas para los descriptores sensoriales empleados en la valoración de la carne de cerdo con salsa de tomate <i>sous vide</i> , envasada en barquetas y atmósfera modificada y cocinada a temperatura de horno de 70 °C durante 5, 6, 7 ú 8 horas.	
<b>Tabla 48</b> .....	250
Descripción de los atributos sensoriales empleados en el estudio del deterioro sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate cocinada a vacío y atmósfera modificada.	
<b>Tabla 49</b> .....	251
Definición de los extremos en la escala utilizada en el análisis sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate envasada a vacío y en atmósfera modificada para los atributos de deterioro y calidad sensorial utilizados.	
<b>Tabla 50</b> .....	260
Valores medios y desviaciones típicas para los índices de calidad sensorial de carne de cerdo con salsa de tomate cocinada en barquetas plásticas envasadas en atmósfera modificada (AM) y almacenadas en refrigeración a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.	
<b>Tabla 51</b> .....	261
Valores medios y desviaciones típicas para los índices de calidad sensorial de carne de cerdo con salsa de tomate cocinada en bolsas plásticas envasadas a vacío (VA) y almacenadas en refrigeración a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.	
<b>Tabla 52</b> .....	262
Valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro microbiológicos (log ufc/g) para carne de cerdo con salsa de tomate AM y VA almacenada a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.	
<b>Tabla 53</b> .....	263
Valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro físico-químico para carne de cerdo con salsa de tomate AM y VA.	

<b>Tabla 54</b> .....	264
Valores medios y desviaciones típicas para los índices de deterioro sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate cocinada en barquetas plásticas envasadas en atmósfera modificada (AM) y almacenadas en refrigeración a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.	
<b>Tabla 55</b> .....	265
Valores medios y desviaciones típicas para los índices de deterioro sensorial de carne de cerdo con salsa de tomate cocinada en bolsas plásticas envasadas a vacío (VA) y almacenadas en refrigeración a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.	
<b>Tabla 56</b> .....	266
Coeficientes de correlación entre la aceptación y los atributos sensoriales para carne de cerdo con salsa de tomate <i>sous vide</i> envasada en barquetas y almacenada a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.	
<b>Tabla 57</b> .....	267
Coeficientes de correlación entre la aceptación y los atributos sensoriales para carne de cerdo con salsa de tomate <i>sous vide</i> envasada en bolsas y almacenada a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.	
<b>Tabla 58</b> .....	279
Contenido en proteínas, grasas, humedad y cenizas para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal recién cocinada.	
<b>Tabla 59</b> .....	284
Recuentos medios (log ufc/g) de los índices de deterioro microbiológico para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal envasada en barquetas y atmósfera modificada, cocinada mediante la tecnología <i>sous vide</i> y almacenada a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días.	
<b>Tabla 60</b> .....	285
Valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro físico-químico para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal cocinada en barquetas envasadas en atmósfera modificada y almacenadas a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días.	
<b>Tabla 61</b> .....	286
Valores medios y desviaciones típicas de los atributos de deterioro sensorial para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal cocinada en barquetas envasadas en atmósfera modificada y almacenadas a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días.	

<b>Tabla 62</b> .....	287
Valores medios y desviaciones típicas de los atributos de calidad sensoriales para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal cocinada en barquetas envasadas en atmósfera modificada y almacenadas a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días.	
<b>Tabla 63</b> .....	288
Coeficientes de correlación entre la aceptación y el resto de atributos sensoriales para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal <i>sous vide</i> y almacenada a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días.	

<b>Índice Figuras</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> ..... Evolución del consumo per cápita (Kg/Cápita) de platos preparados en los hogares españoles durante el periodo 1992-2006.	27
<b>Figura 2</b> ..... Diagrama de fases de los sistemas tradicionales de cocinado, cocinado-refrigeración y cocinado-congelación.	33
<b>Figura 3</b> ..... Diagrama de fases de la cocción indirecta.	37
<b>Figura 4</b> ..... Diagrama de fases de la cocción inmediata.	38
<b>Figura 5</b> ..... Ejemplos de estructuras empleadas en las tecnologías de envasado en atmósfera protectora.	52
<b>Figura 6</b> ..... Envasadora de succión externa.	53
<b>Figura 7</b> ..... Envasadora termoselladora de barquetas.	56
<b>Figura 8</b> ..... Tipo de tejido conectivo existentes en el músculo.	62
<b>Figura 9</b> ..... Curva de fusión de la molécula de colágeno disuelto.	65
<b>Figura 10</b> ..... Diagrama de funcionamiento del sistema de pasteurización horizontal Lagarde®.	71
<b>Figura 11</b> ..... Diagrama de funcionamiento del sistema de pasteurización Barriquand Steriflow®.	72
<b>Figura 12</b> ..... Diagrama del circuito de un abatidor de aire.	75
<b>Figura 13</b> ..... Abatidor de temperatura empleado en la industria de catering con entrada y salida del alimento.	76

<b>Figura 14</b> .....	88
Optimización del tratamiento térmico en función de la calidad sensorial y seguridad de alimentos <i>sous vide</i> (A, calidad sensorial alta/seguridad media; B, calidad sensorial media/seguridad alta; C, punto óptimo, calidad sensorial alta/seguridad alta).	
<b>Figura 15</b> .....	133
Fundamento del método triestímulo.	
<b>Figura 16</b> .....	134
Fundamento del método espectrofotométrico.	
<b>Figura 17</b> .....	135
Cuchilla Warner-Bratzler.	
<b>Figura 18</b> .....	145
Curva tipo para el Análisis del Perfil de Textura (TPA).	
<b>Figura 19</b> .....	168
Valores medios de los recuentos microbiológicos para lomo de cerdo cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas.	
<b>Figura 20</b> .....	170
Variaciones medias (expresadas como porcentaje) de los atributos sensoriales de lomo de cerdo cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas.	
<b>Figura 21</b> .....	195
Evolución de la temperatura de cocinado y enfriamiento para salmón cocinado a vacío en bolsas plásticas termorresistentes.	
<b>Figura 22</b> .....	201
Valores medios de los recuentos microbiológicos para salmón cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas.	
<b>Figura 23</b> .....	203
Variaciones medias (expresadas como porcentaje) de los atributos sensoriales del salmón cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas.	
<b>Figura 24</b> .....	216
Puntuaciones medias para el color, olor y sabor anómalo registradas durante las sesiones de entrenamiento para cada panelistas en muestras de salmón <i>sous vide</i> recién cocinado (día 0) y almacenado (2 °C) durante 15 y 25 días.	



<b>Figura 25</b> .....	223
Gráfico de los componentes principales (F1 y F2) con rotación VARIMAX para los atributos de olor propio y anómalo, color propio y anómalo, sabor propio y anómalo, dureza, jugosidad, pastosidad y apariencia del salmón <i>sous vide</i> durante 0, 4, 8, 11, 15, 18, 22 ó 25 días de almacenamiento en frío.	
<b>Figura 26</b> .....	224
Análisis en componentes principales para el salmón <i>sous vide</i> almacenado en refrigeración. Representación de variables (atributos sensoriales y calidad global) e individuos agrupados según el día de almacenamiento en el plano determinado por los dos componentes principales.	
<b>Figura 27</b> .....	232
Evolución de la temperatura interna hasta alcanzar 70 °C para los lotes 1 y 2 para carne de cerdo con salsa de tomate envasada en barquetas y atmósfera modificada.	
<b>Figura 28</b> .....	259
Evolución de la temperatura media interna durante el cocinado de carne de cerdo con salsa de tomate envasada a vacío y en atmósfera modificada.	
<b>Figura 29</b> .....	279
Evolución de la temperatura media interna hasta 70 °C durante el cocinado de carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal cocinada en atmósfera modificada mediante la tecnología <i>sous vide</i> .	
<b>Figura 30</b> .....	288
Representación de los valores medios y desviaciones típicas de las puntuaciones de Calidad global durante el periodo de almacenamiento.	





## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

Los cambios en el estilo de vida en los países industrializados han impulsado la aparición de nuevas tendencias en el consumo de alimentos. En la actualidad, existe un gran interés por los productos de fácil preparación con un menor contenido en aditivos o libre de ellos y con una calidad nutritiva y sensorial lo más similar a los alimentos tradicionales. Asimismo, se ha incrementado de forma considerable la demanda de productos de preparación sencilla y rápida con una larga vida comercial como los platos precocinados, los productos de IV y V gama y otros alimentos “listos para comer”. Parte de esta demanda procede de la hostelería, la restauración colectiva y las cadenas de comida rápida, sectores que requieren volúmenes mayores de estos productos.

La aplicación de tratamientos térmicos es la forma más extendida de conservación de los alimentos. El tratamiento de esterilización ha permitido la aparición de platos preparados en conserva, cocinados a partir de recetas tradicionales y con una amplia vida comercial sin necesidad de refrigeración. Este tratamiento resulta muy agresivo con las propiedades nutricionales y sensoriales de los alimentos, causando rechazo en parte de los consumidores. Por su parte, la pasteurización se emplea en la producción de platos precocinados o cocinados con una fecha de caducidad reducida y con la necesidad de aplicar temperaturas de refrigeración o congelación para su conservación. La pasteurización permite mantener la frescura de los platos preparados y conseguir olores y sabores más parecidos a los alimentos recién cocinados, al mismo tiempo, que reduce el daño térmico de nutrientes. Gracias a los nuevos avances en los sistemas de refrigeración y en respuesta a los nuevos hábitos de consumo, la industria ha implementado paulatinamente tecnologías de cocinado, enfriado y envasado que garantizan la calidad higiénica de los alimentos y prolongan su vida útil minimizando las alteraciones en los mismos. En este grupo se incluyen el cocinado *sous vide*, “bajo vacío” en español.

La técnica de cocinado *sous vide* fue desarrollada por Geroge Pralus, a finales de 1960 en Francia, a partir de una técnica culinaria denominada *en*

*papillote* que permitía mejorar el sabor y la textura de los alimentos cocinados. El sistema *sous vide* implica diferentes fases donde los alimentos crudos o precocinados son envasados al vacío en bolsas, herméticamente cerradas y estables al calor, son cocinados utilizando combinaciones de temperaturas de cocción moderadas (65-90 °C) con tiempos largos (2-8 horas), enfriados rápidamente (a 3 °C en el centro del producto en 90 min) y almacenados en refrigeración (0-3 °C) durante varios meses. De esta forma, se consigue reducir la pérdida de agua durante la cocción, conservar la calidad sensorial y nutricional de los alimentos y extender la vida comercial del producto con respecto a otros métodos de cocinado-refrigeración.

Los platos preparados cocinados al vacío son considerados como una nueva generación de alimentos refrigerados, en España denominados “V Gama” y en el ámbito anglosajón REPFEDs, siglas a las que se refieren a su denominación en inglés “Refrigerated Pasteurized Foods of Extended Durability”, es decir, alimentos pasteurizados refrigerados de durabilidad ampliada.

Carnes y pescados pueden ser cocinados en grandes piezas o combinados con salsas, especias u otros tipos de alimentos, como verduras, constituyendo la base principal de muchos platos preparados *sous vide*. El procesado de grandes porciones de carne y pescado, sin ningún tipo de condimentos, es muy utilizado en grandes salones o sistemas de catering donde los platos son ensamblados con un ingrediente principal o combinados con otro tipo de alimentos que requieren tratamientos diferentes. Cuando los ingredientes utilizados necesitan condiciones de cocinado similares, pueden ser envasados y procesados a la vez, ahorrando tiempo en el emplatado. La naturaleza proteica de estos ingredientes resulta idónea cuando se aplican suaves tratamientos térmicos, ya que favorece la desnaturalización progresiva de las proteínas y del tejido conectivo, confiriendo a la carne y el pescado una ternura y jugosidad característica, difícil de conseguir mediante otros sistemas de cocinada más convencionales.

El cocinado *sous vide* tiene como principales objetivos prolongar la vida útil y minimizar el daño térmico para obtener así productos seguros y de alta calidad nutritiva y sensorial. Desde el punto de vista sensorial, la transformación del colágeno en gelatina gobierna la elección del tratamiento térmico (temperatura/tiempo) adecuado en carnes y pescado. Sin embargo, es importante no descuidar la seguridad y emplear tratamientos equivalentes a los de pasteurización para asegurar la conservación de los platos cocinados durante largos periodos de almacenamiento. Por ello, resulta indispensable establecer una relación temperatura/tiempo óptima con el fin de alcanzar un equilibrio entre la seguridad y la calidad sensorial y nutricional de los platos cocinados.

El envasado a vacío durante el cocinado *sous vide* inhibe el crecimiento de microorganismos alterantes y patógenos aerobios, impide la recontaminación después del cocinado y retrasa la oxidación de lípidos causantes de olores y sabores indeseables. Sin embargo, estas condiciones favorecen el crecimiento de bacterias patógenas formadoras de esporas, las cuales son capaces de sobrevivir a los suaves tratamientos térmicos. La mayoría de investigaciones existentes se centran en la resistencia de estos microorganismos y sus posibles riesgos microbiológicos, convirtiéndose en el principal criterio para establecer las condiciones de cocinado y la vida comercial de platos cocinados *sous vide*. Sin embargo, cuando los tratamientos térmicos aseguran la inocuidad del producto, los principales factores que determinan la aceptación final son el deterioro causado por microorganismos alterantes y la aparición de cambios sensoriales indeseables. El principal grupo de microorganismos alterantes de los platos con una base de carne o pescado son las bacterias ácido lácticas debido a las condiciones de anaerobiosis que se dan durante el almacenamiento. El alto contenido en humedad de estos alimentos, también favorece el crecimiento de otros microorganismos alterantes, como los mohos y levaduras, capaces de crecer en condiciones de anaerobiosis y refrigeración.

El deterioro físico-químico de alimentos *sous vide* ha sido estudiado con menor profundidad, sin embargo, su estudio resulta crucial para comprender más

a fondo los procesos de deterioro que causan cambios sensoriales, tan importantes durante la vida comercial de este tipo de platos preparados. Cambios significativos en la calidad microbiológica y fisico-química de la carne y el pescado cocinado pueden traducirse en una alteración de los atributos sensoriales propios que afecten a la aceptación final. En ocasiones, la pérdida de calidad sensorial no viene precedida de estos cambios y resulta difícil establecer los mecanismos de deterioro sensorial. Una actividad residual de origen químico y/o enzimático durante el almacenamiento puede causar fenómenos de oxidación, proteólisis y/o lipólisis que modifiquen la textura, olor, color y sabor de la carne y el pescado cocinado.

La bibliografía revisada en relación al deterioro y a la vida comercial de platos *sous vide* con una base de carne o pescado muestra resultados muy diferentes debido a la gran variedad de aspectos a tener en cuenta, como el tratamiento térmico, la composición del alimento, el material de envasado y la temperatura de almacenamiento, fijando la vida útil en un amplio intervalo comprendido entre 6-49 días (Beachemin, 1990; Schellenkens, 1996; Nyati, 2000; Carlin, 2000; Wang y col., 2004, González-Fandos, 2004 y 2005; Cobos y Díaz, 2007). Las diferencias en la estructura y composición entre la carne y el pescado implican tratamientos térmicos diferentes que pueden inhibir en mayor o menor medida la actividad microbiológica, química y enzimática. Otros factores, como el contenido en ácidos grasos insaturados, favorecen los procesos de oxidación en el pescado, ocasionando una pérdida de calidad sensorial por la aparición de una rancidez. A pesar de esto, los estudios revisados muestran periodos de conservación similares entre carne y pescado *sous vide*, debido a la aplicación, únicamente, de criterios microbiológicos y/o de un análisis sensorial deficiente para la determinación de la vida comercial.

Los envases utilizados en el cocinado a vacío deben presentar determinadas características que mantengan la atmósfera hasta el momento de su consumo. Los principales requisitos que deben cumplir los materiales utilizados son una alta resistencia térmica (-40 °C a 120 °C) y baja permeabilidad al oxígeno

y vapor de agua. El envasado a vacío en bolsas plásticas termoresistentes es la forma más empleada en el cocinado *sous vide*, no obstante, otros tipos de envasado se están imponiendo por sus mayores y mejores prestaciones. El empleo de gases (CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>) y el uso de barquetas termoselladas con *films* impermeables al oxígeno y vapor de agua pueden presentar el mismo efecto que el envasado a vacío y ser más prácticas, atractivas y cómodas para el consumidor.

El objetivo general fue estudiar y mejorar la calidad de diversos platos preparados a base de carne y pescado, combinados o no con salsas, cocinados mediante la tecnología *sous vide* según prácticas industriales, destinados a ser comercializados como semi-conservas refrigeradas en sistemas de catering.

Objetivos técnicos específicos:

1. Estudiar el deterioro físico-químico, microbiológico y sensorial de diversos platos elaborados a base de carne y pescado mediante la tecnología *sous vide* según prácticas industriales.
2. Determinar la vida comercial en refrigeración de diversos platos preparados *sous vide* a base de carne y/o pescado, con o sin salsa vegetal, destinados a catering.
3. Aplicar mejoras tecnológicas en los sistemas de envasado y en los tratamientos culinarios.









## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

### **2.1. Consumo de platos preparados.**

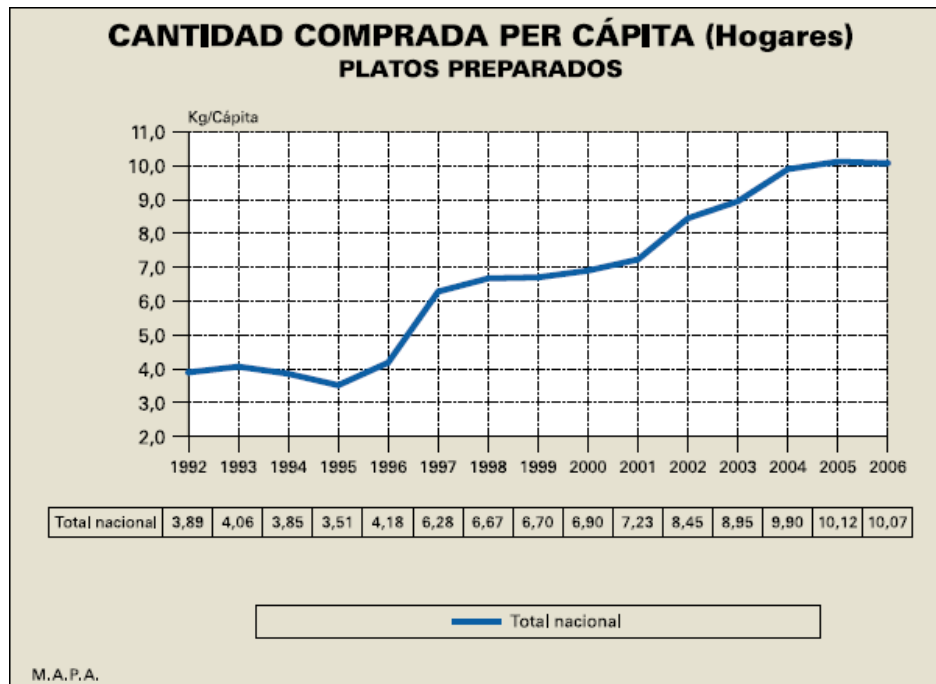
Los hábitos de consumo alimentario en España están afectados por tendencias importadas desde EEUU, Reino Unido, Francia y otros países. Según datos del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, el interés por alimentos saludables, rápidos y fáciles de preparar se ha visto incrementado en España entre los años 2002 y 2006. Los consumidores demandan, cada vez más, “alimentos listos para comer” cuyas características nutricionales y sensoriales se asemejen lo más posible a los platos cocinados de forma tradicional. Las tendencias en el consumo de alimentos están marcadas por los diferentes tipos de hogares que constituyen la sociedad española. Los hogares formados por jóvenes independientes y parejas jóvenes sin hijos tienen en cuenta la novedad y el placer a la hora de adquirir y consumir los alimentos. Este grupo representa un 4,0 y 7,3%, respectivamente, de la población total y ha sufrido un aumento del 10 y 10,8%, respectivamente, en el periodo 2005/2006. Ellos buscan alimentos rápidos y fáciles de preparar (tiempo y facilidad), saludables para el cuidado personal y con alta calidad. El grupo constituido por parejas adultas sin hijos, adultos independientes y retirados suponen un 9,1, 6,6 y 21,9% del total y sólo los dos últimos han aumentado un 0,8% y 2,4%, respectivamente, en el mismo periodo, mientras que los formados por adultos sin hijos han descendido un 2,2%. Estos consumidores buscan productos más tradicionales, de calidad, saludables y dietéticos. Por último, los hogares formados por parejas con hijos y familias monoparentales constituyen el 44,9 y 5,3%, respectivamente, y sólo se ha registrado un crecimiento en este último (3,6%). Este grupo tiene en cuenta las necesidades infantiles y la facilidad de consumo.

Los nuevos avances tecnológicos han permitido desarrollar nuevos platos preparados que conservan mejor las propiedades nutritivas y sensoriales para

poder atender las actuales necesidades de los consumidores. De los productos transformados, los platos preparados han sido los que han experimentado un mayor crecimiento entre los años 2001-2006, alcanzando un 7,8%. El consumo de platos preparados está muy extendido en España. En el año 2006, el consumo de platos preparados fue de un 92,1% en los hogares, 3,6% en la hostelería y restauración y un 4,3% en las instituciones, aunque el mayor crecimiento se produjo en los dos últimos con un 3,2%. Su consumo se ha visto incrementado notoriamente en los últimos años. La **Figura 1** muestra la evolución del consumo de platos preparados per cápita en los hogares españoles durante el periodo 1992-2006. El mayor aumento entre 2001-2006 se produjo en los platos preparados congelados con un 3,3%, aunque su consumo sigue siendo aun mucho menor que las conservas. De los diferentes platos preparados existentes en el mercado, sólo los de origen animal han experimentado un descenso en el consumo entre los años 2001 y 2006. La **Tabla 1** muestra la evolución del consumo, dentro y fuera del hogar, de los diferentes platos preparados durante el periodo 2001-2006.

El mercado de platos preparados ha crecido considerablemente en los últimos años. El valor total de ventas entre los cinco principales países europeos (Reino Unido, Francia, Alemania, Italia y España) fue de 6680 millones de euros en el 2002 (Mintel, 2002). Reino Unido alcanzó, en el mismo año, un valor total de ventas de 2700 millones de euros, el doble que Francia y 6 veces lo registrado en España. Este valor presenta un incremento del 46% del valor total de ventas de platos preparados en Reino Unido en relación a 1997. España registra una de las tasas de crecimiento más altas en el consumo de este tipo de alimentos debido al retraso en el desarrollo de este mercado por las diferencias sociodemográficas con respecto a Francia o Reino Unido. En estos países, el mercado de platos preparados refrigerados es el segmento más desarrollado y el que registra un mayor volumen de ventas, todo lo contrario que ocurre en España, aunque la tendencia es de un rápido crecimiento en detrimento de los alimentos congelados. Los nuevos avances tecnológicos, como el cocinado *sous vide*, pueden favorecer el crecimiento y diversificación de los platos preparados refrigerados en España.

**Figura 1.** Evolución del consumo per cápita (Kg/Cápita) de platos preparados en los hogares españoles durante el periodo 1992-2006.



**Tabla 1.** Valores de consumo (Kg/Cápita) dentro y fuera del hogar para los diferentes platos preparados durante el periodo 2001-2006 en España.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	% 06/05	% 06/01
<b>Vegetal</b>	0,59	0,92	1,05	1,12	1,08	1,13	5,1	14,0
<b>Carne</b>	1,26	1,45	1,45	1,64	1,62	1,19	-26,5	-1,1
<b>Pescado</b>	1,00	1,06	1,08	1,16	1,25	1,20	-4,3	3,8
<b>Sopas</b>	2,73	2,83	3,08	3,22	3,37	3,33	-1,2	4,1
<b>Pizzas</b>	1,14	1,35	1,49	1,69	1,68	1,71	1,4	8,5
<b>Otros</b>	1,37	1,74	1,94	2,33	2,32	2,75	18,5	14,9
<b>Total</b>	8,08	9,35	10,09	11,16	11,32	11,31	-0,1	7,0

## **2.2. Normativa para platos preparados.**

El sector de la restauración en España ha estado regulado por diversas disposiciones de carácter específico: el Real Decreto 512/1977, de 8 de febrero, por el que se aprueba la Reglamentación técnico-sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de platos preparados (precocinados y cocinados), modificado por el Real Decreto 3139/1982, de 12 de noviembre; la Orden de 21 de febrero de 1977 sobre normas higiénicosanitarias para la instalación y funcionamiento de industrias dedicadas a la preparación y distribución de comidas para consumo en colectividades y medios de transportes; y el Real Decreto 2817/1983, de 13 de octubre, por el que se aprueba la Reglamentación técnico-sanitaria de los comedores colectivos y sus modificaciones posteriores. Esta normativa ha tenido un papel muy importante, tanto en la mejora de las condiciones higiénico-sanitarias de los establecimientos del sector de la restauración, sobre todo los de nueva creación, como en el desarrollo de correctas prácticas de manipulación de los alimentos y una adecuada formación en higiene alimentaria de los responsables y manipuladores que trabajan en este sector.

En la actualidad, el Real Decreto 3484/2000, de 29 de diciembre, establece las normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas y contempla las nuevas directrices surgidas en las distintas comunidades y en el “Codex Alimentarius”, así como las nuevas modalidades de elaboración y venta de comidas preparadas.

Por otro lado, la Directiva 93/43/CEE, de 14 de junio, relativa a la higiene de los productos alimenticios, ha incorporado el Real Decreto 2207/1995, de 28 de diciembre, por el que se establece las normas de higiene relativas a los productos alimenticios. De esta forma, obliga a las empresas del sector alimentario, entre ellas las del sector de la restauración, a realizar actividades de autocontrol basadas en los principios de análisis de peligros y puntos de control crítico. En este sentido, la disposición vigente obliga a desarrollar y aplicar sistemas de autocontrol para el sector de comidas preparadas y además, incorpora

la posibilidad de desarrollar guías de prácticas correctas de higiene apropiadas para dicho sector. De esta forma, se pretende reducir y eliminar las prácticas incorrectas de manipulación de alimentos, que según los datos epidemiológicos nacionales, están consideradas como factores contribuyentes en la aparición de brotes de infecciones e intoxicaciones de origen alimentario. Al mismo tiempo, se posibilita que las empresas del sector de comidas preparadas utilicen nuevos sistemas de conservación de los productos alimenticios, siempre y cuando exista evidencia científica o técnica de las garantías de seguridad y salubridad.

Esta disposición ha sido sometida a la Directiva 98/34/CEE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de junio, modificada por la Directiva 98/48/CEE de 20 de julio, así como en el Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, que incorpora estas Directivas al ordenamiento jurídico español.

La disposición vigente define comida preparada como “elaboración culinaria resultado de la preparación en crudo o del cocinado o del precocinado, de uno o varios productos alimenticios de origen animal o vegetal, con o sin la adición de otras sustancias autorizadas y, en su caso, condimentadas. Podrán presentarse envasada o no y dispuesta para el consumo, bien directamente, o bien tras un calentamiento o tratamiento culinario adicional”. Al mismo tiempo, define comida preparada con tratamiento térmico como “aquella comida preparada que durante su elaboración ha sido sometida en su conjunto a un proceso térmico (aumento de la temperatura), tal que pueda ser consumido directamente o con un ligero calentamiento”.

Tal como muestra la **Tabla 2**, las normas microbiológicas para platos preparados comprende el control de aerobios mesófilos totales y *Enterobacteriaceae*, testigos de falta de higiene como *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* y patógenos como *Salmonella* y *Listeria monocytogenes*. En cambio, no es necesario analizar aerobios mesófilos totales y *Enterobacteriaceae* en comidas preparadas con productos fermentados o curados. Para establecer las normas microbiológicas, las comidas preparadas se clasifican



en cuatro grupos: grupo A: comidas preparadas con y sin tratamiento térmico, con ingredientes que no hayan sido sometidos a tratamiento térmico; grupo B: comidas preparadas con tratamiento térmico; grupo C: comidas preparadas sometidas a esterilización; grupo D: comidas preparadas envasadas, a base de vegetales crudos.

Pese que la normativa actual parece garantizar la calidad microbiológica de los platos preparados, las innovaciones tecnológicas en la industria de comidas preparadas y en concreto la implantación de la tecnología *sous vide*, replantean la necesidad de una legislación más específica para platos cocinados-refrigerados. El riesgo potencial de crecimiento de patógenos esporulados, en especial, de la variedad no proteolítica de *Clostridium botulinum*, impone la necesidad de fijar tratamientos térmicos que aseguren la inocuidad del producto, al mismo tiempo que minimicen la pérdida de calidad nutricional y sensorial. También es importante establecer requisitos en los principales factores de riesgo que pueden afectar a la seguridad de los platos cocinados-refrigerados, como el envasado, abatimiento, almacenamiento, distribución, venta y consumo.

**Tabla 2.** Norma microbiológica para platos preparados.

Indicadores			Día fabricación	Día caducidad
	Grupo A	Grupo B	Grupo D	
Total aerobios mesófilos	n=5, m=10 <sup>5</sup> c=2, M=10 <sup>6</sup>	n=5, m=10 <sup>4</sup> c=2, M=10 <sup>5</sup>	n=5, c=2 m=10, M=10 <sup>6</sup>	n=5, c=2 m=10 <sup>6</sup> , M=10 <sup>7</sup>
<i>Enterobacteriaceae</i> (lactosa positivo)	n=5, m=10 <sup>3</sup> c=2, M=10 <sup>4</sup>	n=5, m=10 c=2, M=10 <sup>2</sup>		
<b>Testigos de falta de higiene</b>				
<i>Escherichia coli</i>	n=5, m=10 c=2, M=10 <sup>2</sup>	Aus.	n=5, c=2 m=10, M=10 <sup>2</sup>	
<i>Staphylococcus aureus</i>	n=5, m=10 c=2, M=10 <sup>2</sup>	n=5, m=10 c=2, M=10 <sup>2</sup>		
<b>Patógenos</b>				
<i>Salmonella</i>	n=5, c=0 Aus./25 g	n=5, c=0 Aus./25 g	n=5, c=0 Aus./25g	
<i>Listeria monocytogenes</i>	n=5, m=10 c=2, M=10 <sup>2</sup>	n=5, c=0 Aus./25 g	n=5, c=2 m=10, M=10 <sup>2</sup>	

**n:** valor de unidades de la muestra; **m:** valor umbral del número de bacterias; **M:** valor límite del número de bacterias; **c:** número de unidades de la muestra, cuyo número de bacterias podría situarse entre m y M.

### 2.3. El método *Cook and Chill*.

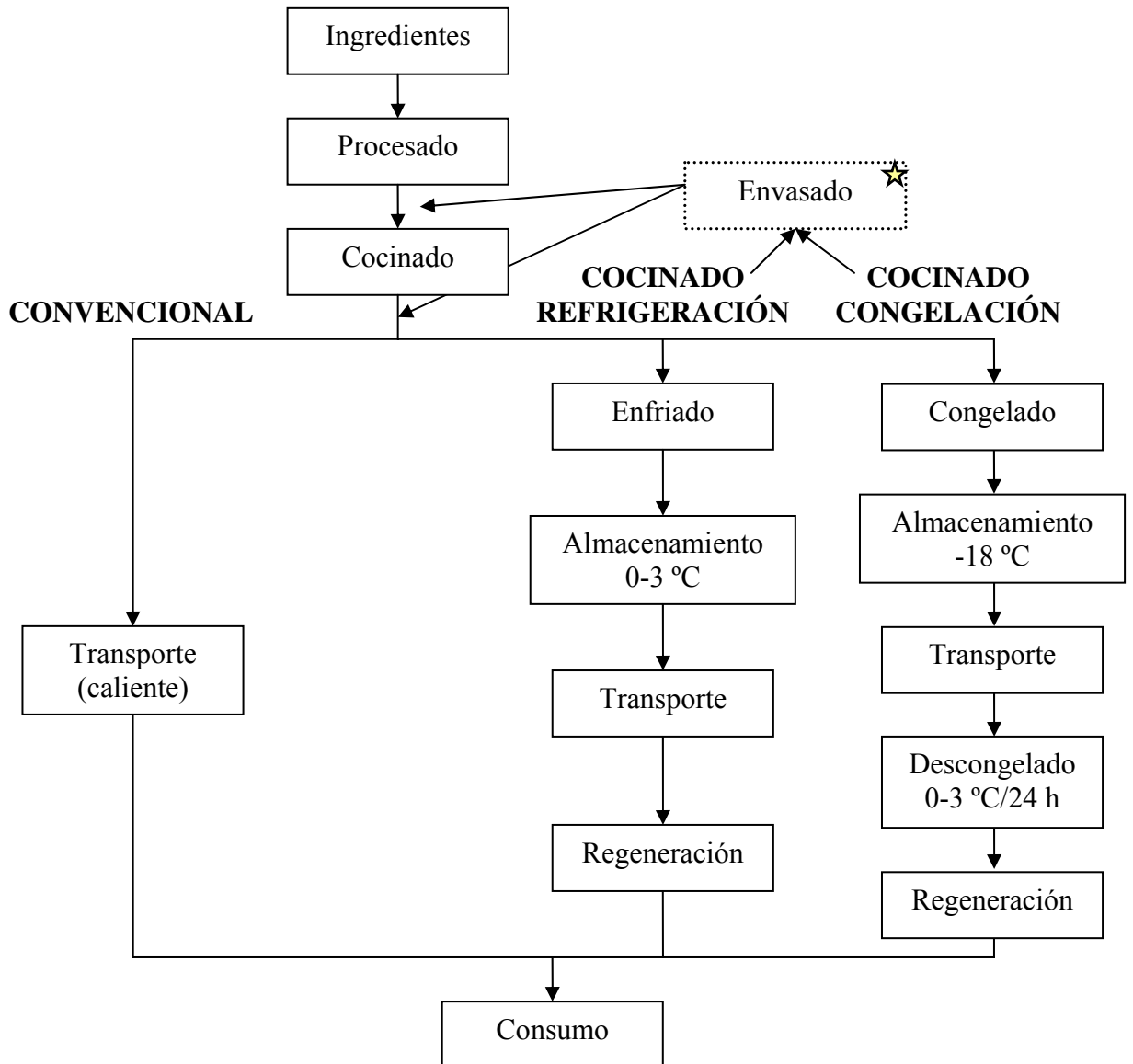
La sociedad moderna demanda cada vez más alimentos rápidos y fáciles de preparar que puedan ser consumidos en un periodo de tiempo considerablemente largo (semanas). La tecnología actual de fabricación de platos cocinados, no esterilizados, se basa en el denominado cocinado y enfriamiento o “Cook and Chill”. En el caso de platos destinados a restauración diferida, es necesario además aplicar técnicas de envasado eficaces que garanticen una vida útil lo suficientemente extensa para acometer con garantía la comercialización del producto. El cocinado *sous vide* surge como un método de cocinado y enfriado donde la combinación de tratamientos térmicos suaves, técnicas de envasado y

almacenamiento a bajas temperaturas permiten obtener platos preparados de alta calidad, y lo que es importante, con larga vida comercial. Su efectividad radica en aplicar parámetros adecuados en las distintas etapas. Así, se sabe que tratamientos de pasteurización (90 °C/10 min) producen la destrucción de los microorganismos en su forma vegetativa, al mismo tiempo que inactivan las esporas de las bacterias psicrófilas que puedan crecer durante el almacenamiento refrigerado (Lund y Peck, 1994). Al mismo tiempo, el envasado en atmósfera modificada o vacío inhibe el crecimiento de microorganismos aerobios que pueden afectar al deterioro del producto (Church y Parsons, 1993).

El empleo de temperaturas de refrigeración o congelación contribuyen a alargar la vida comercial de los platos cocinados. El uso de equipos de enfriamiento cada vez más eficaces, como los abatidores de temperatura, permite obtener platos cocinados con una vida comercial de varios meses. Los sistemas de cocinado-refrigeración y cocinado-congelación son los más empleados en la industria del catering para la producción a gran escala de platos preparados. La **Figura 2** muestra el diagrama de fases de los sistemas de cocinado tradicionales, cocinado-refrigeración y cocinado-congelación.

El cocinado-refrigeración y cocinado-congelación son sistemas donde los alimentos son preparados y sometidos a un tratamiento térmico, insuficiente para asegurar su esterilidad, envasados antes o después del cocinado, enfriados rápidamente y por último almacenados en refrigeración o congelación para su conservación. El rápido descenso de la temperatura impide el crecimiento de microorganismos causantes del deterioro y de patógenos en su forma vegetativa y esporulada.

**Figura 2.** Diagrama de fases de los sistemas tradicionales de cocinado, cocinado-refrigeración y cocinado-congelación.



★ El envasado puede realizarse antes o después del cocinado.

Las etapas de la elaboración de un plato preparado mediante la tecnología *cook and chill* son los siguientes:

1. Procesado. Preparación y acondicionamiento de los ingredientes crudos o precocinados.
2. Cocinado. Tratamientos equivalentes a 90 °C/10 min para asegurar la pasteurización del producto.
3. Envasado. Se puede realizar un envasado en atmósfera protectora o vacío. Esta fase puede realizarse antes o después del cocinado.
4. Enfriamiento. Esta fase sólo se realiza en los sistemas de cocinado-refrigeración y no puede transcurrir más de 30 min tras la finalización del cocinado. El enfriamiento debe asegurar una temperatura de 3 °C en el centro del producto en al menos 90 min.
5. Congelación. Esta fase sólo se realiza en los sistemas de cocinado-congelación y debe asegurar -5 °C en al menos 90 min.
6. Almacenamiento. A temperaturas de refrigeración (0-3 °C) o congelación (-18 °C).
7. Transporte o distribución. Debe realizarse a temperatura de refrigeración o congelación dependiendo del tipo de producto y siempre asegurando la cadena de frío.
8. Descongelación. Antes de la regeneración del producto, los alimentos cocinados-congelados deben ser descongelados a temperaturas de refrigeración durante más de 24 h.
9. Regeneración. Para consumo inmediato es necesario alcanzar una temperatura de 70 °C y ser consumido en un máximo de 15 min.

Dependiendo de la secuencia de las etapas, la tecnología *cook and chill* presenta cuatro posibilidades (Faber y Dodds, 1995):

1. COCINADO-ENVASADO-ENFRIADO.
2. ENVASADO-COCINADO-ENFRIADO.
3. COCINADO-ENFRIADO-ENVASADO.

#### 4. PROCESADO DE INGREDIENTES (COCINADO-ENFRIADO)- ENVASADO.

En el primer caso, los alimentos crudos preparados son pasteurizados y posteriormente envasados en caliente empleando atmósfera modificada o vacío y por último son enfriados hasta temperatura de refrigeración o congelación. Este sistema es empleado en estofados, salsas, sopas, sándwiches, relleno para tartas, etc. El segundo tipo, suele utilizarse en piezas grandes de carne, pescado o vegetales crudos que se preparan en barquetas o bolsas y se envasan en atmósfera modificada o vacío, se pasteurizan y por último se enfrían. Este sistema es el empleado en el cocinado *sous vide* y también permite la posibilidad de realizar un marcado de las piezas, antes de ser envasadas, para favorecer las reacciones de Maillard que no se producen durante el cocinado. El tercer sistema, también se emplea en piezas grandes y consiste en pasteurizar y enfriar rápidamente para posteriormente ensamblar los diferentes platos y por último envasarlos. En el último método, los platos son ensamblados a partir de ingredientes crudos o pasteurizados con la posibilidad de añadir líquidos calientes y por último, son envasados en atmósfera protectora o vacío. Suele ser empleado en ensaladas de verduras, frutas o pollo, sándwiches, pizzas, etc.

El código alimentario australiano (NSW Health Department, 1998<sup>a, b</sup>) diferencia dos tipos de sistemas de cocinado-refrigeración: tradicional con una vida comercial máxima de 5 días y más extensa o *sous vide*, con un máximo de 28 días.

## 2.4. Cocinado *sous vide*.

### 2.4.1. Origen.

El cocinado *sous vide* surge en Francia a partir de una técnica culinaria denominada *en papillote* que consistía en envolver los alimentos en un pergamino y cocinarlos en hornos a una temperatura media. De esta forma, los alimentos mantenían su humedad y resultaban más tiernos y sabrosos. A finales de 1960, el desarrollo de plásticos alimentarios resistentes a la temperatura permitió el desarrollo del cocinado *sous vide*. Geroge Pralus, chef francés, fue el descubridor del cocinado *sous vide* en 1967 cuando intentaba reducir las mermas que se producían durante la cocción del *foie gras*. Pralus observó que envasando a vacío el *foie gras* en bolsas de plástico selladas herméticamente y sumergiéndolas en un baño de agua caliente a temperatura controlada se podía reducir las pérdidas desde un 40% a un 5%. Al mismo tiempo, se observó una mejora en la calidad sensorial debido a la retención de los compuestos aromáticos responsables del olor y sabor y una textura más natural por el empleo de temperaturas bajas.

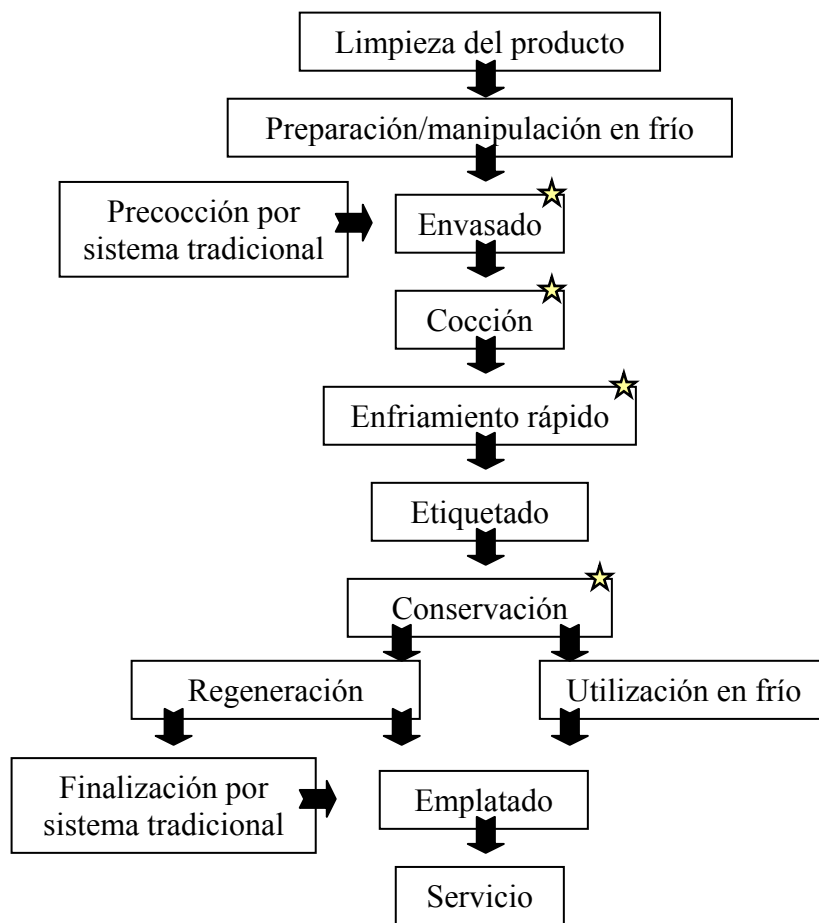
Actualmente, además de restaurantes, el método *sous vide* se emplea en muchas cocinas centrales para abastecer a sistemas de catering, hoteles, hospitales, colegios, etc.

### 2.4.2. Tecnología empleada.

Dependiendo de la finalidad y los métodos utilizados, la tecnología *sous vide* se divide en cocción indirecta o inmediata (Rocas y Brugués, 2004). La aplicación de uno u otro sistema dependerá del tipo de producto y del objetivo principal que se persiga.

El método por cocción indirecta es el más extendido y consiste en una larga cocción, un posterior enfriamiento y está destinada a la conservación del alimento. La **Figura 3** muestra el diagrama de flujo de la tecnología aplicada en la restauración diferida y catering. Se utiliza principalmente en la industria del catering en la producción de platos preparados a gran escala. Este tipo de cocción reduce el daño térmico sobre proteínas y lípidos, disminuyendo la pérdida de líquidos, compuestos aromáticos y nutrientes termosensibles y mejora la textura con respecto al cocinado convencional (Unger, 1985; Schafheitle, 1990; Ghazala y col., 1995). Además, el envasado a vacío permite controlar la microflora aerobia y alargar el periodo de conservación de los platos preparados (Creed, 1995).

**Figura 3.** Diagrama de fases de la cocción indirecta.

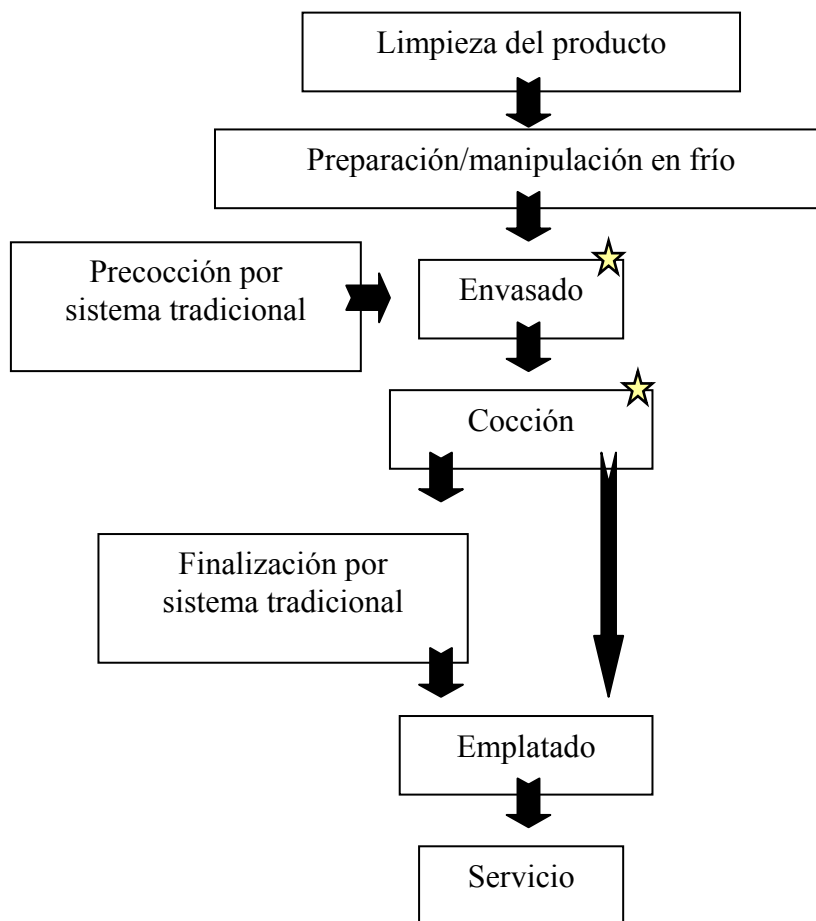


★ Factores críticos que afecta a la vida comercial de los alimentos *sous vide*.



Por el contrario, el método de cocción inmediata consiste en aplicar temperaturas extremadamente suaves y tiempos de cocción más cortos y, en este caso, los platos van destinados al consumo inmediato, siendo más idoneo para productos delicados. La **Figura 4** muestra el diagrama de flujo de la tecnología empleada en restaurantes convencionales. De esta forma se intenta conseguir el mejor punto de cocción posible con el fin de potenciar las características sensoriales del producto. Este tipo de cocción es menos común y se emplea en la restauración de alta cocina. La cocción inmediata no tiene como finalidad la conservación del alimento, puesto que no se alcanzan temperaturas de pasteurización.

**Figura 4.** Diagrama de fases de la cocción inmediata.



★ Factores críticos que afectan a la calidad de los platos *sous vide*.

#### 2.4.2.1. Envasado.

La etapa de envasado es crucial en el cocinado *sous vide* por su importancia en la inhibición del deterioro químico y microbiológico durante el procesado y almacenamiento (Rodgers, 2007). A la hora de encuadrar el método *sous vide* dentro de las tecnologías de envasado en atmósfera protectora (EAP) surgen controversias debido a la indentificación, cada vez más frecuente, del envasado en atmósfera protectora con el envasado con gas (atmósfera controlada o modificada). Algunos autores, consideran las tecnologías de envasado en atmósfera protectora como aquellas que implican la eliminación del aire contenido en el envase, seguida o no de la inyección de un gas o mezcla de ellos, incluyendo de esta forma el envasado a vacío, atmósfera controlada y atmósfera modificada (García-Iglesias y col., 2006; Gobantes y Gómez, 2007). Sin embargo, otros autores establecen que debe de existir una modificación de la composición del aire dentro del envase para considerarlo EAP, hecho que no se produciría en el envasado a vacío donde se lleva a cabo la eliminación total o parcial del aire en el interior (Linares, 2007).

Considerando el envasado a vacío como una tecnología de envasado en atmósfera protectora, se pueden diferenciar tres tipos:

1. **Vacío**, cuando se evacua por completo el aire del interior del envase.
2. **Atmósfera controlada**, si se inyecta un gas o mezcla de gases tras la eliminación del aire y se somete a un control constante durante el periodo de almacenamiento.
3. **Atmósfera modificada**, cuando se extrae el aire del envase y se introduce, a continuación, una atmósfera creada artificialmente cuya composición no puede controlarse a lo largo del tiempo.

Los factores principales a tener en cuenta en los sistemas de envasado en atmósfera protectora son: envases, materiales de envasado, equipos de envasado y gases.

#### 2.4.2.1.a. Envases.

Existe gran variedad de envases para alimentos cocinados como son: envases de porciones individuales, bolsas para envasado a vacío, bandejas para alimentos congelados y refrigerados, bolsas flexibles (Brody, 2003), barquetas y bolsas termoresistentes para cocinado e incluso envases capaces de generar calor mediante reacciones químicas (óxido de calcio y agua).

Los envases más utilizados en el cocinado *sous vide* están fabricados de materiales poliméricos aunque se emplean otros materiales en aplicaciones concretas, como el vidrio para alimentos crujientes. La **Tabla 3** muestra los diferentes tipos de envase empleados en el cocinado *sous vide*. La función principal que desempeña el envase es proteger el alimento del medio externo y preservar el ambiente gaseoso creado en su interior. Los materiales de los que están compuestos dichos envases deben presentar determinadas propiedades barrera al paso de gases y vapor de agua, entre otros. Aparte de esta característica básica, es deseable que reúnan otras propiedades desde el punto de vista técnico, comercial, legal, etc. La **Tabla 4** resume las propiedades más importantes de los materiales de envasado para el cocinado *sous vide*. Las bolsas son el recipiente más utilizado en el cocinado *sous vide*. Los distintos tipos de bolsas se diferencian en parámetros tales como su composición, espesor, retractilación, resistencia mecánica, elongación, transparencia, brillo, permeabilidad al oxígeno y al vapor de agua, entre otros. Las bolsas retráctiles sujetan mejor el producto, disminuyen la exudación y mejoran la transmisión de calor, mientras que las bolsas de esterilización soportan mejor el tratamiento térmico, son más resistentes y más duraderas y adecuadas para alimentos cocinados a los que se quiere proporcionar un largo periodo de caducidad. La **Tabla 5** recoge algunas de las principales características técnicas de las bolsas para el cocinado a vacío. Otro tipo de envase empleado en el cocinado de platos preparados son las barquetas plásticas termoselladas. El envasado en barquetas se puede realizar a vacío o en atmósfera modificada con el fin de evitar el colapso de las mismas. En los dos casos, implica

el uso de *films*, los cuales deben de cumplir los mismos requisitos que las bolsas plásticas.

**Tabla 3.** Diferentes tipos de envases empleados en el cocinado *sous vide* (Roca y Brugués, 2004)

Envase	Tipos	Empleo	Características
Bolsas	De conservación	Conservación de alimentos a temperatura ambiente, refrigeración y congelación.	-40 °C durante un máximo de 6 meses.
	De cocción	Cocinado en contacto con agua o medio húmedo.	-40 °C a 121 °C.
	Retráctiles	Cocinado y conservación de alimentos que producen exudado y pierden fácilmente su forma.	Resistentes al frío y calor.
Otros	Recipiente de cristal	Alimentos crujientes.	Frascos de vidrio con tapa de rosca.
	Barqueta	Industrias con gran volumen de producción.	Rapidez de envasado.
	Sistema Gastrovac®	Cocinado de alimentos.	Recipientes Gastronorm con tapa ajustable y válvula de extracción de aire.

**Tabla 4.** Propiedades deseables para los materiales de envasado destinados al cocinado *sous vide*.

---

<i>Barrera o de protección</i>	
Deben de preservar el alimento y la atmósfera protectora durante las distintas fases del cocinado y almacenamiento refrigerado.	Barrera frente a gases, humedad y olores. Protección frente a la luz. Resistencia a grasas y aceites.
<i>Resistencia térmica</i>	
Deben de ser resistentes a temperaturas de pasteurización y congelación durante tiempos prolongados.	Desde -40 °C a 120 °C.
<i>Técnicas o mecánicas</i>	
Impuestas por el envasado, la maquinaria utilizada y la manipulación de los envases acabados durante su distribución y venta.	Resistencia a fuerzas de tracción y fricción. Resistencia frente a impactos, desgarros, perforaciones y abrasiones. Flexibilidad para soportar la presión interna de los gases. Aptitud para el termoformado. Facilidad de sellado.
<i>Comerciales</i>	
Presentación atractiva y manipulación sencilla y práctica para el consumidor.	Brillo y transparencia. Capacidad antivaho. Facilidad de apertura. Aptitud para la impresión y la adición de etiquetas y códigos. Calentamiento en horno convencional o microondas.
<i>Otras</i>	
Económicas	Rendimiento y coste por metro cuadrado. Disponibilidad en el mercado.
Legales	Inercia química (migración del plástico al alimento).
Medioambientales	Posibilidad de reciclado.

---

**Tabla 5.** Características técnicas de las bolsas utilizadas en el cocinado *sous vide* (Cryovac®).

Características		Unidades	Valores
Dimensiones	Largo	mm	150 - 1100
	Ancho	mm	100 - 900
	Espesor	micras	40 - 55
Propiedades físicas	Resistencia	kg /cm <sup>2</sup>	540 - 670
	Módulo a 23 °C	kg /cm <sup>2</sup>	5000 - 5400
	Elongación	%	90 - 120
	Transparencia	%	10
	Temperatura de retracción	°C	85
	Porcentaje de retracción	%	27 - 31
	Permeabilidad al O <sub>2</sub> a 23 °C, 0% HR bar	cm <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> / 24h	10 - 15
Condiciones de uso	Máximo tratamiento térmico	°C / h	80 / 8
	Almacenamiento máximo a 25 °C 80% HR	Meses	12

\* Valores orientativos.

#### 2.4.2.1.b. Materiales de envasado.

Los materiales más utilizados para la fabricación, tanto de bolsas como *films*, son: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliamida (PA), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), policloruro de vinilideno (PVDC), copolímero etilenoacetato de vinilo (EVA), polietileno ionómeros y combinaciones entre ellos para aprovechar cada una de las propiedades individuales (Gómez y col., 2001).

El polietileno (PE) se puede clasificar, según su densidad, en polietileno de baja densidad (LDPE), lineal de baja densidad (LLDPE) y de alta densidad (HDPE). El polietileno de baja densidad (LDPE) se obtiene por polimerización

del etileno en condiciones extremas de presión y temperatura. Sin embargo, el LLDPE se obtiene por copolimerización de buteno, hexeno u octeno con PE, resultando un polímero poco denso y prácticamente amorfo. La principal diferencia con respecto al LDPE reside en su mayor resistencia y rigidez y presencia de buen *hot-tack* (integridad de sellado en caliente). Los principales inconvenientes en relación al LDPE son una mayor temperatura de soldadura, menor brillo y transparencia, mayor dificultad de incorporar aditivos y un coste más elevado. Se emplea como sustituto del LDPE cuando se requiere mejores propiedades mecánicas. Por último, el HDPE se obtiene en condiciones menos drásticas de polimerización que LDPE, generando cadenas con menor número de ramificaciones y menor tamaño que en los LDPE. Comparado con este último, es más duro y más rígido y presenta una extraordinaria resistencia al impacto, al desgaste y al frotamiento. Su principal ventaja frente a los otros PE es una mayor barrera a la humedad y a los gases.

El polipropileno (PP) es un polímero de propileno que habitualmente se presenta de forma lineal y con estructuras semicristalinas. Existen variedades sintetizadas por copolimerización con etileno, entre las que destacan el copolímero random, que incorpora un 5% de etileno y el copolímero de alto impacto con un 25%. Su principal propiedad es una alta resistencia térmica, siendo posible su esterilización por calor (121-135 °C), aunque para los tratamientos a 135 °C se recomienda utilizar homopolímeros que tienen un punto de fusión de 145 °C. Su uso en forma de películas puede encontrarse como PP cast y como PP biorientado (OPP). El PP cast se utiliza como cara soldable en complejos que tienen que resistir altas temperaturas (esterilización por vapor). El OPP, coextrusionado con otras poliolefinas o con recubrimientos termosoldables, se emplea en bolsas para cereales, snacks, pan, quesos, tabaco, golosinas, etiquetas para botellas, etc. También, se emplea como sustrato para metalizar con aluminio y en la fabricación de multicapas suele ser la cara exterior con brillo.

Las poliamidas se designan por una o varias cifras (PA-6, PA-6,6). Una sola cifra corresponde a PA obtenidas a partir de una molécula con un grupo ácido

y otro amina. Dicha cifra indica el número de átomos de carbono del monómero empleado. Dos cifras separadas por una coma, son PA obtenidas por policondensación de un diácido y una diamina e indican el número de átomos de carbono del ácido y de la amina, respectivamente.

El poliestireno (PS) se obtiene por polimerización del estireno (vinilbenceno) resultando un polímero amorfo.

Policloruro de vinilo (PVC) se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, resultando un material muy rígido, por lo que habitualmente se formula con plastificantes. Presenta buenas propiedades ópticas y es termoformable y termosellable. El cloruro de vinilo se puede copolimerizar con cloruro de vinilideno para dar el policloruro de vinilideno (PVDC), que junto con plastificantes se utiliza en la fabricación de envases. Su principal desventaja es su elevada cristalinidad (rigidez y fragilidad) y su dificultad para su procesado por su baja resistencia térmica (punto de fusión próximo a su temperatura de descomposición).

El copolímero de etil-vinil-acetato (EVA) se obtiene por copolimerización de etileno y acetato de vinilo (VA), se caracteriza por la participación de estructuras con regiones polares y no polares que originan vínculos electrostáticos entre ellas e impiden la libre rotación de los segmentos de cadena sobre los enlaces carbono-carbono. Sus propiedades dependen fundamentalmente del peso molecular del polímero y del contenido de acetato de vinilo. A mayor peso molecular, mayor polaridad y menor cristalinidad. Un aumento de la fracción de acetato de vinilo reduce el punto de reblandecimiento y empeora la inercia, aunque mejora las propiedades ópticas, la flexibilidad y la soldabilidad. Se emplea como sustituto del LDPE cuando se requieren características especiales de adaptabilidad y soldabilidad. En porcentajes bajos de VA (2-5%), se utiliza en envases para productos congelados y para películas retráctiles o estirables. Por hidrólisis del grupo acetyl se obtiene el copolímero etileno-alcohol vinílico (EVOH), el cual es muy duro y transparente y muestra una alta barrera al O<sub>2</sub> y



CO<sub>2</sub>, en condiciones de humedad baja. Por esta cuestión, se emplea en la coextrusión, nunca siendo una de las caras externas. Para evitar el contacto con la humedad, hecho que puede afectar a su permeabilidad, se lamina por ambas caras con materiales resistentes al agua, como PP o PE.

El polietileno ionómero se trata de un copolímero de etileno y ácido acrílico, neutralizado en todo o en parte con sales de sodio y zinc, interviniendo también enlaces de carácter iónico. Sus propiedades son similares al LDPE, pero mejoradas. Su principal uso es en coextrusiones y laminados complejos en los que se requiere gran poder de adhesión y un termosellado efectivo, por ejemplo, envases para productos pulverulentos y para productos grasos o con salsas, ya que es capaz de termosoldar a través de la suciedad.

Por último, el polietileno-tereftalato (PET) es el poliéster más difundido dentro de los materiales de envase y se emplea en la fabricación de complejos obtenidos por extrusión plana y posterior biorientación. También es posible encontrar copoliésteres por modificaciones en sus unidades estructurales, aunque siempre utilizando como base el PET. Estas modificaciones aportan una importante disminución de la cristalinidad del material por lo que se mejoran sus propiedades mecánicas. El más utilizado es el PETG (poliéster glicol modificado) en el que un porcentaje de glicol se sustituye por ciclohexil-demetanoglicol. Sus propiedades pueden ser mejoradas durante la fabricación mediante procesos de biorientación.

Las **Tablas 6 y 7** muestran las principales características y aplicaciones, respectivamente, de los materiales anteriormente citados.

**Tabla 6.** Principales características de los polímeros más utilizados en la fabricación de envases plásticos (Garde-Belza, J.A., Centro Tecnológico AINIA).

Principales características			
LDPE	Relativa inercia química. Termosellable. Buena flexibilidad. Buena resistencia física. Pobre resistencia química Barrera a la humedad. Permeable a gases. Escasa barrera aromas. Baja resistencia térmica.	Buenas propiedades ópticas. Buena resistencia química. Fácilmente termoformable. Excelente resistencia a la extensión. Alta permeabilidad humedad, gases y aromas.	PS
LLDPE	Buen <i>hot-tack</i> . Buena resistencia física. Buena resistencia térmica.	Buenas propiedades ópticas. Termoformable. Termosellable. Buena resistencia química. Propiedades barrera medias. Descomposición por calor.	PVC
HDPE	Excelente resistencia física. Buena-excelente resistencia química. Alto coste. Baja transparencia. Baja resistencia a la luz solar.	Excelente resistencia química Buena resistencia mecánica. Buenas propiedades ópticas. Buena barrera humedad y gases. No termosellable. Buena serigrafía.	PET
Ionómero	Alta resistencia física. Pobre resistencia química Buena sellabilidad. Transparencia y claridad. Resistencia química. Buena rigidez. Alto coste.	Buena resistencia extensión. Buena resistencia térmica. Excelente resistencia química Termoformable. Buenas propiedades ópticas. Absorbe humedad. Barrera a gases media-alta. No termosellable.	PA
EVA	Alta permeabilidad humedad y gases. Pobre resistencia química Elevado coste.	Excelente barrera gases y aromas. Alta barrera humedad.	
PP	Buena inercia química. Buena-excelente resistencia química. Termosellable. Buena flexibilidad. Baja resistencia al impacto. Baja resistencia a T <sup>a</sup> bajas. Alta resistencia térmica.	Buenas propiedades ópticas. Buena-excelente resistencia química. Termosellable. Elevada rigidez y fragilidad. Baja resistencia térmica.	PVDC

**Tabla 7.** Principales aplicaciones de los polímeros más utilizados en la fabricación de envases plásticos (Garde-Belza, J.A., Centro Tecnológico AINIA).

Principales aplicaciones		
LDPE	Extrusión-soplado. Envases de uso general (ultramarinos, congelados y basura). Envases retráctiles. Cara interna en complejos no sometidos a calor.	Envases para productos refrigerados (barquetas).  PS
LLDPE	Idóneo en películas delgadas. Soplado o coextrusión. Sustituto de LDPE para mejorar las propiedades mecánicas. Cara interna termosoldable en complejos con buena resistencia mecánica y/o <i>hot-tack</i> .	Películas estirables y retráctiles. Envasado de carnes, pescados y productos hortofrutícolas. Envases rígidos termoformados para alimentos y productos farmacéuticos.  PVC
HDPE	Bolsas con asas, basuras y sacos industriales, cereales y envoltorios individuales. Se usa poco en complejos. Bolsas y barquetas <i>sous vide</i> .	Botellas obtenidas por inyección soplada. Envases para alimentos congelados.  PET
Ionómero	Coextrusiones. Laminados complejos. Envases para productos pulverulentos, grasos o con salsas.	<i>Film</i> exterior o central de complejos, termoformables o no, pudiendo soportar T <sup>a</sup> de esterilización y pasteurización.  PA
EVA	Adhesivo en coextrusión Sustituto de LDPE para mejorar la adaptabilidad y soldabilidad. Envases para productos congelados, retráctiles o estirables.	Cara soldable en complejos con alta resistencia térmica. Bolsas para cereales, snacks, pan, quesos, tabaco, golosinas y etiquetas. Sustrato para metalizar con aluminio.  PP
PVDC	Recubrimiento sobre PP o PET (spray).	Cara exterior sin brillo multicapas.

La elección de los materiales plásticos resulta crucial en el cocinado *sous vide*. En este caso, es importante que los envases plásticos utilizados tengan una baja permeabilidad a los gases y al vapor de agua y una resistencia a altas temperaturas. La conservación de los alimentos cocinados en envases plásticos, al vacío o en atmósfera modificada, no es comparable con la alcanzada por las conservas, donde existe una hermeticidad total y un proceso de esterilización. Los plásticos son permeables a diferentes cantidades de un determinado gas y vapor de agua, generalmente O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, que favorecen con el tiempo la proliferación de microorganismos patógenos y alterantes, así como una alteración de los alimentos por reacciones de oxidación química y enzimática. La **Tabla 8** recoge datos concretos sobre la permeabilidad a los gases y transmisión de vapor de agua para los principales materiales plásticos empleados en la fabricación de envases destinados a la industria alimentaria.

Otra característica importante, es su resistencia a la temperatura. En el cocinado *sous vide*, los alimentos envasados sufren tratamientos térmicos que, a pesar de emplearse temperaturas cercanas a la de pasteurización, se aplican durante varias horas. Debido a esto, los envases deben ser resistentes a altas temperaturas para evitar cambios en sus propiedades barrera durante el cocinado prolongado, almacenamiento refrigerado y posterior regeneración. La **Tabla 9** muestra las temperaturas máxima y la resistencia a determinados tratamientos de algunos de los materiales empleados en la fabricación de envases para uso alimentario

**Tabla 8.** Permeabilidad a los gases y transmisión de vapor de agua en los principales materiales utilizados en la fabricación de envases plásticos destinados a la alimentación (Barberena, 2004).

Polímero	Permeabilidad a los gases (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> . día . atm) películas de 25 μm 25 °C			Transmisión de vapor de agua (g/m <sup>2</sup> . día) 38 °C 90% HR
	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
LDPE	7800	42000	2800	18
HDPE	2600	7600	650	7-10
PP fundido	3700	10000	680	10-12
PP orientado	200	8000	400	6-7
EVA	12500	50000	4900	40-60
PVC rígido	150-350	150-350	60-150	30-40
PVC plastificado	500-30000	1500-46000	300-10000	15-40
PA o Nylon-6	40	150-190	14	84-3100
PA o Nylon-11	500	2000	52	5-13
PET	50-130	180-390	15-18	25-30
PS orientado	5000	18000	800	100-125
Ionómeros	6000	6000	-	25-35

**Tabla 9.** Resistencia a la temperatura y a los tratamientos de congelado, pasteurización, ebullición, esterilización, horneado y microondas para algunos de los materiales empleados en la fabricación de envases para uso alimentario (del Valle, A., SÜDPACK®)

Material	T <sup>a</sup> (°C)	Tratamientos después del envasado					
		CONG	PAST	EBU	EST	HOR	MICR
PE	100	+	+	+	-	+	+
HDPE	120	+	+	+	-	-	+
PA	135	+	+	+	+*	-	+
C-PETP	>200	+	+	+	+*	-	+
PP	135	-	+	+	+***	-	+
PS	85	+	+	-	-	-	+
PVC	-	+	-	-	-	-	+
PVDC	125	+	+	+	+**	-	+
EVOH	135	+	+	+	+*	-	+

\* *Film* sustrato; \*\* Barniz; \*\*\* Combinación para termosellado.

**T<sup>a</sup>:** Temperatura de resistencia; **CONG:** Congelación (<-18 °C); **PAST:** Pasteurización (80-90 °C); **EBU:** Ebullición (100 °C); **EST:** Esterilización (121 °C); **HOR:** Horneado (200-240 °C); **MICR:** Microondas (100-200 °C).

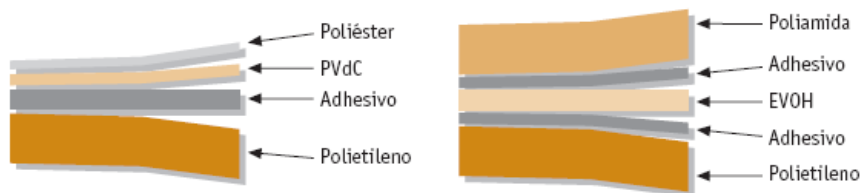
Todas las características requeridas es difícil encontrarlas en un único material. Por ello, se fabrican envases con una estructura multicapa constituida a partir de varias láminas (Greengras, 1995). Se combinan de dos a siete películas cada una de las cuales aporta una o varias propiedades. La **Figura 5** muestra ejemplos de estructuras empleadas en determinados envases.

Los principales procesos de fabricación de estructuras multipaca son laminación, recubrimiento por extrusión y coextrusión. La laminación es el procedimiento más difundido por su capacidad para combinar, mediante adhesivos, varias capas de distinta naturaleza. Los adhesivos empleados en este proceso son específicos para cada tipo de capa, siendo los más comunes las ceras

o combinaciones de ceras con PE o poliuretanos (PUR). Otro procedimiento para el laminado consiste en recubrir el sustrato (celulósico o metálico) con un material polimérico fundido o en dispersión. Por último, resaltar que el laminado también es posible a partir de dos materiales procedentes, al menos uno de ellos, de un proceso de coextrusión. La laminación se realiza mediante un rodillo rígido (acero) y otro elástico (caucho), de tal forma que la presión ejercida en el momento de la unión sea uniforme y alcance la totalidad de ambas superficies. Este sistema de obtención de materiales multicapa es el que ofrece una mayor barrera a la entrada de gases y por ello, el de mayor coste.

El proceso de extrusión consiste en fundir el polímero que se quiere utilizar y, una vez en fase líquida, hacerlo pasar a través de un cabezal para conseguir la forma deseada. El recubrimiento por extrusión parte de un material base sobre el que se adhieren, mediante calor, diversas películas delgadas con otras características, sin emplear adhesivos de ningún tipo. Por último, la coextrusión consigue que las distintas películas se extrusionen simultáneamente para formar una sola lámina.

**Figura 5.** Ejemplos de estructuras empleadas en las tecnologías de envasado en atmósfera protectora.

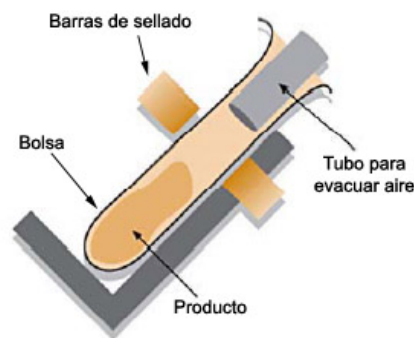


#### 2.4.2.1.c. Equipos de envasado.

Las características técnicas del equipo de envasado son muy importantes para asegurar la atmósfera dentro del envase durante el cocinado y almacenamiento del producto. El funcionamiento de una máquina de envasado consiste en una cámara herméticamente cerrada donde se extrae, total o parcialmente, el aire atmosférico mediante la acción de dos aspas que giran para absorber y expulsar el aire. Seguidamente, las bolsas son selladas mediante el calor que proporcionan dos resistencias que funden parte del plástico de la bolsa mientras un sistema de enfriamiento rápido completa el sellado antes de abrir la campana. También existe la posibilidad de inyectar gases protectores una vez expulsado el aire y antes de sellar las bolsas.

Existen varios modelos y sistemas de envasado a vacío. En restauración, el tipo de máquina más utilizado es el de campana, donde el vacío se efectúa por succión. La **Figura 6** muestra el fundamento de una envasadora de succión externa. Los componentes básicos de una envasadora a vacío son: cámara de vacío, mando de parada, bomba de vacío, vacuómetro, sistema programable de inyección de gas, sistema programable de intensidad de soldadura y de enfriamiento rápido, válvula de atmósfera progresiva y microprocesador.

**Figura 6.** Envasadora de succión externa.





La cámara de vacío se compone de dos elementos: campana y armazón. La campana está constituida por un material transparente para facilitar el control del proceso y el armazón de acero inoxidable, fácil de limpiar y desinfectar. En su interior se encuentra el orificio por donde se evacua el aire y el sistema de sellado, que se compone de una banda neumática hinchable y unas cintas térmicas de sellado.

El mando de parada permite detener el proceso de envasado en caso de cualquier anomalía. Existen dos tipos, uno sin soldadura y otro con soldadura (algunos modelos disponen de ambos). El primero sólo detiene el proceso y el segundo detiene y sella, con el fin de evitar una segunda programación del vacío.

El funcionamiento de la bomba de vacío consiste en extraer el aire del interior de la cámara mediante dos aspas sumergidas en aceite, de forma que atraen el aire de la campana y lo expulsan hacia el exterior. Las bombas de vacío habituales trabajan hasta 0,1 atm (99,9% de vacío). Existen varios tipos de bombas con diferentes potencias y su empleo depende del porcentaje de vacío a conseguir, así como del tamaño de la cámara de vacío. Un parámetro importante es la capacidad de extracción de aire de la bomba, medida en m<sup>3</sup>/h. Algunas máquinas están dotadas de vacuómetro para medir la presión en el interior de la cámara y disponen de un sensor de control para trabajar hasta un grado de vacío prefijado. Cuando se aplica el vacío a un alimento caliente, la bomba puede cargarse de aire húmedo y perder eficiencia. Para evitar este hecho, se realiza un vacío parcial con el fin de descender paulatinamente la presión atmosférica y evitar así la ebullición del alimento durante el envasado. También puede enfriarse el alimento recién cocinado en una célula de enfriamiento antes del envasado.

El sistema programable de inyección de gas permite regular la entrada de gases protectores a la cámara en función del alimento a envasar. Para ello, se colocan placas sólidas en el fondo con objeto de reducir el volumen de la cámara y así la cantidad de gas necesario.

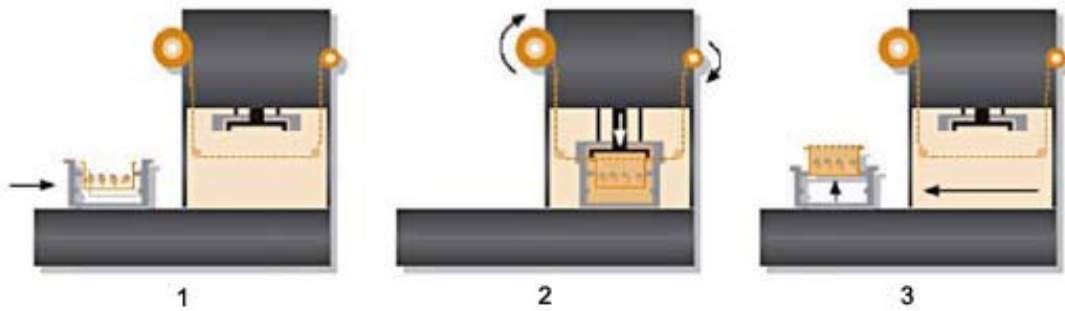
En función del grosor y tipo de bolsa, el sistema programable de intensidad de soldadura y de enfriamiento rápido permite programar la temperatura de soldado (o el tiempo) y conocer así la relación temperatura/tiempo óptima para cada tipo. La soldadura puede ser simple o doble y su longitud debe ser suficiente para poder envasar grandes porciones de alimento. Por otra parte, el enfriamiento también se puede regular en función del tiempo de soldadura empleado.

Por último, la válvula de atmósfera progresiva permite la entrada gradual de aire a la campana tras el sellado y así prevenir la rotura de la bolsa. Las diferentes operaciones y grados de vacío son programados a través de un microprocesador digital.

En la industria del catering donde el nivel de producción es mayor, se emplean barquetas que resultan más atractivas y cómodas para el consumidor. En este caso, se utilizan envasadoras termoselladoras capaces de realizar vacío, inyectar gases protectores y cerrar el envase con un *film* transparente con baja permeabilidad al oxígeno y vapor de agua. La **Figura 7** muestra las distintas fases de envasado y termosellado de barquetas. Este tipo de envasadoras disponen de una cámara de vacío constituida por dos componentes. En el componente inferior, que es móvil, se colocan las barquetas tras llenarlas con el producto y se desplaza horizontalmente hasta situarse debajo del componente superior, que aporta el *film* que sirve de cubierta. Cuando los dos están alineados la cámara se cierra herméticamente. A continuación, se elimina el aire de su interior y se inyecta la atmósfera protectora. En la última etapa, el *film* se sella y se corta el material sobrante.

Este tipo de envasadoras permiten obtener envases de alta calidad y adaptarse a diferentes formatos de barquetas. Al mismo tiempo, consumen menos cantidad de gases protectores ya que sólo los inyectan en el espacio de cabeza y no en todo el volumen de la cámara.

**Figura 7.** Envasadora termoselladora de barquetas.



(1) Introducción de la barqueta a la cámara de vacío; (2) sellado del film tras la evacuación del aire y la inyección de gases protectores; (3) apertura de la cámara para la salida del envase terminado.

Existen termoselladoras semiautomáticas y automáticas. Las primeras son adecuadas para niveles de producción bajos porque realizan 2-3 ciclos/min, donde cada ciclo de trabajo dura entre 20 y 30 segundos, más el tiempo de carga-descarga de las barquetas. En cambio, en las segundas la llegada de las barquetas con el producto a la selladora es automática, por lo que se alcanzan mayores velocidades de trabajo, llegando a 15-20 ciclos/min, según el tipo de equipo, necesidades de vacío y requerimientos del producto. Además, los equipos automáticos son muy útiles para el envasado de productos de colocación complicada como son los platos *sous vide*.

#### 2.4.2.1.d. Envasado a vacío.

El envasado a vacío antes del cocinado tiene un efecto inhibitor sobre el crecimiento de microorganismos aerobios y la oxidación de grasas, consiguiendo una mayor vida comercial de los platos cocinados con respecto a otros métodos convencionales de cocinado-refrigeración (Church y Parsons, 2000). Mediante el envasado se consigue evitar la pérdida de nutrientes y compuestos volátiles durante el cocinado, aportando a los productos cocinados *sous vide* mejores cualidades nutricionales y sensoriales (Church y Parsons, 2000).

Sin embargo, el envasado a vacío y los suaves tratamientos térmicos introducen un riesgo potencial por crecimiento de patógenos anaerobios, principalmente, cepas de *Clostridium botulinum* tipo E y cepas no preteolíticas del tipo B y F (Betts y Gaze, 1995; Gould, 1996).

#### 2.4.2.1.e. Envasado en atmósfera modificada.

El empleo de atmósferas modificadas previene el crecimiento de microflora alterante y permite ampliar la vida comercial de platos cocinados (Simpson y Carevic, 2004; Chen y Xiong, 2008). Los gases de envasado son considerados aditivos alimentarios por la legislación española (Real Decreto 142/2002, de 1 de febrero). La **Tabla 10** muestra los gases permitidos por la legislación española.

**Tabla 10.** Gases presentes en la lista de aditivos autorizados.

Número E	Denominación
E-290	Dióxido de carbono
E-938	Argón
E-939	Helio
E-941	Nitrógeno
E-942	Óxido nitroso
E-948	Oxígeno
E-949	Hidrógeno

El empleo de distintos tipos de gases es poco frecuente en la pequeña y mediana restauración. Estos gases pueden adquirirse puros, para combinarlos en el equipo de envasado, o como mezclas prediseñadas. Los gases más utilizados

comercialmente son dióxido de carbono y nitrógeno. La **Tabla 11** muestra las principales propiedades físicas, ventajas e inconvenientes del empleo de nitrógeno y dióxido de carbono.

**Tabla 11.** Propiedades físicas, ventajas e inconvenientes de los principales gases utilizados en el envasado en atmósfera modificada.

Gases	Propiedades	Ventajas	Inconvenientes
Dióxido de carbono	Incoloro	Bacteriostático. Fungistático. Insecticida. Mayor acción a baja temperatura.	Produce el colapso del envase y exudado. Difunde rápidamente a través del envase.
	Inodoro		
	Ligero sabor ácido.		
	Soluble en agua y grasa.		
Nitrógeno	Incoloro	Inerte. Desplaza al oxígeno. Inhibe microorganismos aerobios y oxidación de grasas. Evita el colapso del envase.	Favorece el crecimiento de microorganismos anaerobios (100% nitrógeno).
	Inodoro		
	Insípido		
	Insoluble		

El objetivo principal en los productos cocinados y envasados en atmósfera modificada es eliminar o reducir la concentración de oxígeno presente con el fin de inhibir reacciones de oxidación y crecimiento de microorganismos patógenos y alterantes. La forma más efectiva de conseguirlo es eliminar el oxígeno o sustituirlo por concentraciones altas de N<sub>2</sub> (100%). Sin embargo, si la concentración de oxígeno en el espacio de cabeza incrementa gradualmente al 1% se pierde el efecto inhibitor del N<sub>2</sub> y permite el crecimiento de microorganismos capaces de crecer a bajas concentraciones de O<sub>2</sub>. A diferencia del N<sub>2</sub>, el empleo de concentraciones altas de CO<sub>2</sub> (100%) ha mostrado un efecto antimicrobiano

adicional que lo convierte en el gas más importante en la conservación de alimentos envasado en atmósfera modificada (Coyne, 1933).

El dióxido de carbono es uno de los principales gases empleados en este tipo de envasado. Aunque no parecen existir evidencias claras sobre su mecanismo antimicrobiano, Daniels y col. (1985) resumieron varios puntos importantes sobre su acción:

1. El equilibrio  $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$  afecta a la permeabilidad de las membranas celulares.
2. El  $\text{CO}_2$  es capaz de producir una acidificación rápida del pH en el interior de las células.
3. El  $\text{CO}_2$  ejerce un efecto sobre algunas enzimas asociadas al metabolismo aeróbico de ciertos microorganismos.

Se ha demostrado que el  $\text{CO}_2$  resulta eficaz frente a bacterias aerobias Gram-negativas (*Salmonella*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas*) y mohos y, en menor medida, también afecta a bacterias Gram-positivas (*Staphylococcus aureus*) y levaduras. En cambio, favorece el desarrollo de otros microorganismos como las bacterias ácido lácticas (Pérez y Borderias, 1997), principales alterantes de los alimentos *sous vide* (Ben Embarek y col., 1994; Borch y col., 1996; Korkeala y Björkroth, 1997).

Las atmósferas modificadas se denominan activas (100% de  $\text{CO}_2$  o combinación de  $\text{CO}_2\text{-O}_2$  con una proporción elevada del primero) o semiactivas (mezclas de  $\text{CO}_2\text{-N}_2$  o  $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-O}_2$ ) en función de su acción antimicrobiana. Cuando se produce una disolución excesiva de  $\text{CO}_2$  en el alimento, pueden desencadenarse dos fenómenos negativos: colapso del envase y la formación de exudado. El primero es debido a la menor presión que ejerce el  $\text{CO}_2$  dentro del envase, lo que produce una retracción del material de envasado (Parry, 1995; Pérez y Borderias, 1997). El segundo es debido a la pérdida de capacidad de retención de agua de las proteínas por desnaturalización de las mismas (Cheftel y

col., 1989). Otro inconveniente asociado al uso de CO<sub>2</sub> es su mayor difusión a través del material de envasado, entre 2 y 6 veces más rápido que otros gases. La relación de permeabilidades corresponde a CO<sub>2</sub> > O<sub>2</sub> > N<sub>2</sub>.

La mayoría de establecimientos que no están habituados a la utilización de gases emplean mezclas comerciales para simplificar la labor de los operarios. Estas mezclas pueden adaptarse a las necesidades de cada producto y estandarizarse para aprovechar todas sus propiedades.

#### *2.4.2.2. Cocinado.*

La etapa de cocinado tiene lugar después de la preparación y el procesado del alimento y el tiempo transcurrido entre una fase y otra debe ser mínimo para prevenir, tanto el deterioro microbiológico, como el crecimiento de microorganismos patógenos.

##### *2.4.2.2.a. Composición y estructura de la carne y el pescado.*

El músculo está constituido aproximadamente por un 75% de agua, 20% de proteínas, 3% de grasa y 2% de otras sustancias solubles de carácter no proteico, de las cuales el 3% son vitaminas y minerales, 45% son sustancias no proteicas que contienen nitrógeno, 34% son carbohidratos y 18% compuestos inorgánicos. No obstante, los porcentajes varían dependiendo del tipo de músculo, especie animal, edad, etc. Las proteínas del músculo se pueden clasificar en tres grupos según su solubilidad: miofibrilares, sarcoplásmicas y tejido conectivo. Las proteínas miofibrilares constituyen el 50-55% del total, mientras que las sarcoplásmicas se encuentran en una proporción comprendida entre el 30 y 34%. El 10-15% restante le corresponde a las proteínas pertenecientes al tejido conectivo.

Por otra parte, la proporción de proteínas en el músculo del pescado es de un 70-80% miofibrilares, 25-20% sarcoplásmicas y 0,3-3% de tejido conectivo y en menor medida polipéptidos, nucleótidos y compuestos nitrogenados de origen no proteico (Borresen, 1995; LeBlanc y LeBlanc, 1989).

El grupo de las proteínas miofibrilares está dividido, a su vez, en tres subclases: proteínas fibrosas miofilamentosas (actina y miosina), proteínas reguladoras (complejo tropomiosin-troponina,  $\alpha$ - y  $\beta$ -actinina, M-proteína, C-proteína) y proteínas estructurales (titina, nebulina, desmina, vimentina y synemina).

Por otra parte, las proteínas sarcoplásmicas son solubles en agua y están disueltas en el líquido que envuelve la fibra muscular (sarcoplasma) y funcionalmente son enzimas de la vía glicolítica, creatina quinasa y mioglobina. Se conocen 100 proteínas diferentes en el sarcoplasma y todas son proteínas globulares de bajo peso molecular comprendido entre 17000 (mioglobina) y 92500 (fosforilasa b).

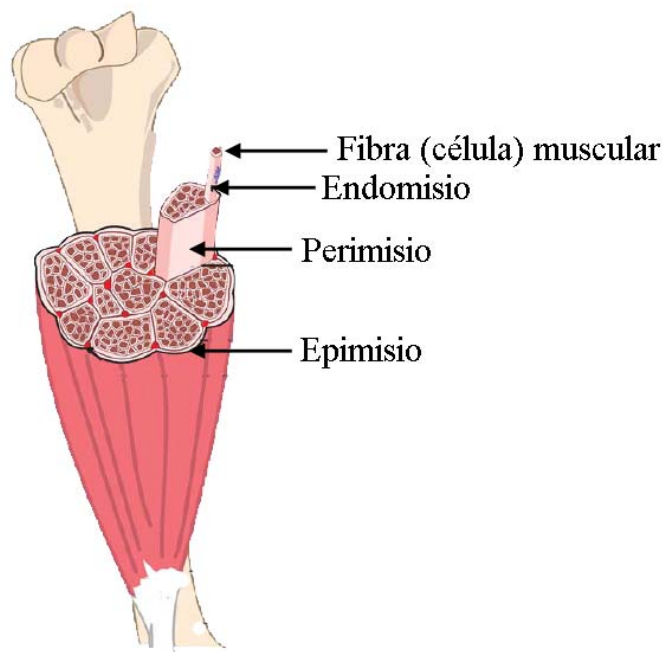
Por último, las diferentes estructuras que conforman las proteínas del tejido conectivo son epimisio (más externa), perimisio y endomisio (más interna). Las fibras musculares son células recubiertas por una membrana denominada sarcolema rodeada por el endomisio. Estas fibras musculares presentan un diámetro que oscila entre 10 y 100  $\mu\text{m}$  y una longitud de hasta 30 cm. Las fibras son reunidas en paquetes y envueltas por el perimisio. Finalmente, todos los paquetes de fibras musculares son agrupados y compactados a través del epimisio, conformando el músculo en su totalidad. La **Figura 8** muestra la localización de los tres tipos de tejido conectivo existentes en el músculo.

El colágeno, reticulina y elastina son las proteínas fibrosas que constituyen el tejido conectivo. El colágeno es una glicoproteína y es el componente principal del tejido conectivo con un 55-95%. Está compuesto por monómeros de tropocolágeno de peso molecular 300000, longitud 2800 Å y diámetro 14-15 Å



Las moléculas de tropocolágeno se agregan para formar filas paralelas en el epimisio y perimisio y principalmente, en el endomisio. Existen 5 tipos de colágeno, numerados del I al V. El colágeno de tipo I está presente en el epimisio, los de tipo I y III en el perimisio y el tipo III, IV y V en el endomisio (Bailey y col. 1979).

**Figura 8.** Tipos de tejido conectivo existentes en el músculo.



#### 2.4.2.2.b. Efecto del cocinado sobre la carne.

El cocinado de alimentos implica una serie de cambios vitales, entre ellos la simplificación molecular. Este fenómeno consiste en la ruptura, por el efecto del calor, de los complejos orgánicos de mayor tamaño que componen los alimentos, haciéndolos aptos para el consumo humano.

Cuando se emplean temperaturas altas de cocinado, aproximadas a 200 °C, se produce la explosión de las membranas de los adipocitos, liberando al exterior

la grasa que contenían. Aunque, la carne y el pescado sufren una considerable pérdida de peso durante el cocinado, principalmente en forma de agua tisular, el tejido adiposo no experimenta prácticamente pérdida alguna.

La transformación más importante que el calentamiento provoca en la carne muscular es debido a la coagulación de las proteínas, afectando a la textura y al color. La carne adquiere una coloración desde gris-maronácea hasta marrón. Este cambio de color se origina a causa de una formación de metamioglobina y metahemoglobina (provocada por el calor).

Durante el cocinado, las proteínas son desnaturalizadas por la acción de la temperatura (Rowe, 1989) y posteriormente se producen interacciones proteína-proteína que retienen el agua en su interior. Este fenómeno da lugar a la formación de un gel de proteínas sarcoplásmicas y la contracción y solubilización del tejido conectivo, causante de la ternura y jugosidad característica de la carne cocinada. Como consecuencia de esto, la carne pierde transparencia y adquiere un aspecto claro donde predominan los tonos grisáceos.

El aumento de temperatura durante el cocinado afecta a la estructura de las proteínas de diferente forma dependiendo de la temperatura alcanzada. En primer lugar, entre 54-58 °C se producen cambios en la estructura de la miosina (Martens y Vold, 1976; Wright y col., 1977), entre 65-67 °C se ve afectada la estructura del colágeno (Martens y Vold, 1976; Stabursvik y Martens, 1980) y las proteínas sarcoplásmicas (Wright y col., 1977) y por último, temperaturas de 80-83 °C modifican la estructura de la actina (Wright y col., 1977).

Las proteínas sarcoplásmicas tienen un papel muy importante durante el cocinado y afectan directamente a la textura de la carne cocinada (Gilbert, 1974; Hamm, 1977; Tornberg y col., 1977). La agregación de este tipo de proteínas se produce en el intervalo de temperaturas comprendido entre 40 y 60 °C (Hann, 1997), aunque en ocasiones se puede extender hasta los 90 °C (Gilbert, 1974). Otro aspecto a tener en cuenta, es el efecto que tienen muchas de estas enzimas

sobre la textura de la carne, consiguiendo un ablandamiento de la misma cuando se emplean temperaturas bajas y tiempos largos (velocidades de 0,1 °C/min). Por ejemplo, las colagenasas pueden permanecer activas hasta temperaturas de cocinado de 60 °C, sin embargo, pueden ser inactivadas cuando el calentamiento es rápido y se emplean temperaturas de 70-80 °C (Laakkonen y col., 1970).

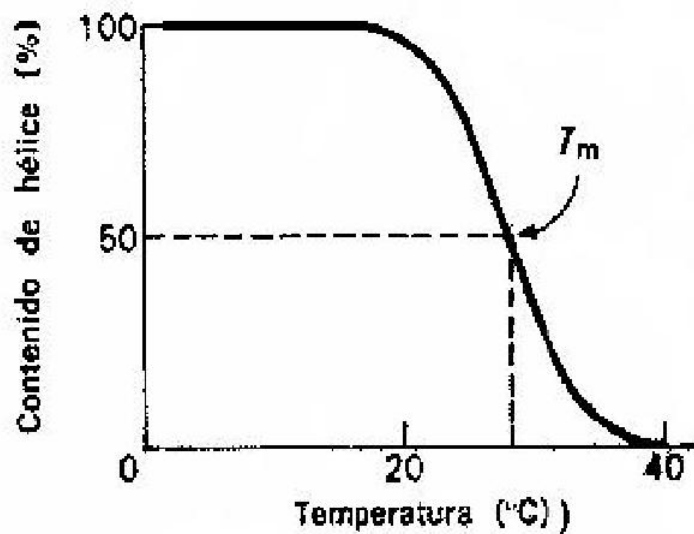
Como resultado de la desnaturalización de las proteínas miofibrilares se produce la formación de un gel, causado principalmente por la desnaturalización de la miosina (Hermansson y Langton, 1988). La molécula de miosina está formada por dos cadenas enrolladas entre sí (cola) de un peso molecular aproximado de 500000, formando una fibrilla de 1,5 µm de longitud. Uno de sus extremos está constituido por una parte más voluminosa (cabeza) por donde interacciona con la molécula de actina. La formación del gel se produce en dos etapas dependiendo de la temperatura. La primera ocurre entre 30 y 50 °C e implica la agregación de las cabezas globulares de la miosina. La segunda, a temperaturas superiores a 50-60 °C, implica cambios en la estructura helicoidal de la cola de miosina, dando lugar a la formación de una red por interacciones entre los grupos hidrofóbicos

El colágeno en estado natural es opaco e insoluble en agua, sin embargo, durante el cocinado de la carne y el pescado, parte se solubiliza y da lugar a gelatina, de aspecto más transparente. El calentamiento del colágeno produce una desnaturalización (53-63 °C) (Martens y col. 1982), cuya primera consecuencia es un acortamiento de las fibras. En la primera fase del cocinado, cuando la temperatura no es excesivamente alta (40-60 °C según Hostetler y Landman, 1968; Bendall y Restall, 1983; Offer, 1984) se produce un primer acortamiento debido a la disociación de las fibrillas y la dislocación de las hélices, obteniéndose las cadenas de proteínas individuales, aunque conservan su estructura helicoidal. Si el calentamiento continúa y la temperatura asciende a 60-70 °C (Mohr y Bendall, 1969) se produce la pérdida de la estructura helicoidal y se obtiene una estructura orientada al azar en la que todas las cadenas interactúan dando lugar a lo que se denomina gelatina. La **Figura 9** muestra el descenso del contenido en

hélice conforme aumenta la temperatura. De esta forma, se define “melting temperature” ( $T_m$ ) como la temperatura a la que la mitad de las moléculas de colágeno disueltas han perdido su estructura helicoidal.

La temperatura de desnaturalización del colágeno depende del contenido en prolina e hidroxiprolina. Cuanto mayor es el contenido, mayor es la temperatura que se requiere para su gelatinización. En este sentido, existe una gran diferencia en el contenido de prolina y la temperatura de desnaturalización del colágeno procedente de animales de sangre caliente y peces, siendo bastante baja en estos últimos, llegando incluso a menos de 20 °C en algunos peces de agua fría. La **Tabla 12** muestra la dependencia del contenido en prolina e hidroxiprolina con la estabilidad térmica del colágeno.

**Figura 9.** Curva de fusión de la molécula de colágeno disuelto.



**Tabla 12.** Dependencia de la estabilidad térmica con respecto al contenido en prolina e hidroxiprolina (Cheftel y col., 1989).

Procedencia	P + H (residuos por 1000)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	T <sup>a</sup> corporal (°C)
Piel becerro	232	65	39	37
Piel tiburón	191	53	29	24-28
Piel bacalao	155	40	16	10-14

**P + H:** Prolina más hidroxiprolina; **T<sub>s</sub>:** “Shrinkage temperature” equivalente *in vivo* a T<sub>m</sub>.

El método *sous vide* se caracteriza por emplear bajas temperaturas y tiempos largos, oscilando entre 65-90 °C durante 2-8 h, dependiendo del tipo de alimento (Hrdina-Dubsky, 1989). Desde el punto de vista sensorial, la transformación del colágeno en gelatina gobierna la elección de la temperatura óptima de cocinado en carnes y pescado *sous vide*, siendo necesario temperaturas de 63 °C en carne (Tornberg, 2005) y algo más bajas, 35-50 °C, en pescado (Roca y Brugués, 2004). Al mismo tiempo, la cantidad de colágeno establece el tiempo de duración del tratamiento térmico. Las carnes y pescados de textura más dura, con mayor contenido en colágeno, necesitan tratamientos térmicos de varias horas para conseguir que todo el colágeno se transforme en gelatina. Por otra parte, las carnes y pescados blandos, con menor proporción de colágeno y mayor de proteínas miofibrilares, necesitan tiempos inferiores para evitar la pérdida de jugosidad.

Además de las citadas transformaciones se pueden producir otras específicas que dependen del sistema de calentamiento utilizado y de las temperaturas aplicadas. Cuando se realiza un calentamiento seco a temperaturas superiores a 150 °C se producen unas sustancias denominadas melanoidinas, que presentan un color marrón oscuro y contienen componentes característicos del sabor. La formación de estas sustancias está relacionada con la reacción de

Maillard y consiste en reacciones de los aminoácidos y péptidos con determinados hidratos de carbono para dar lugar a nuevos compuestos.

#### 2.4.2.2.c. Efecto del cocinado sobre la microflora.

Al mismo tiempo que el cocinado debe conseguir que la carne y el pescado tengan una textura tierna y jugosa, no hay que olvidar el principal objetivo que es proporcionar alimentos seguros y con una extensa vida comercial.

Las temperaturas necesarias para conseguir una textura adecuada pueden no ser capaces de asegurar la conservación de los platos cocinados durante largos periodos de almacenamiento. Por ello, resulta indispensable establecer una relación temperatura/tiempo óptima con el fin de alcanzar un equilibrio entre la seguridad y la calidad sensorial y nutricional de los platos cocinados. La temperatura empleada debe superar los 65 °C con el fin de inactivar células vegetativas y destruir la microflora inicialmente presente en el alimento (*pseudomonas* spp., *Enterobacteriaceae*, *lactobacillus* spp. y otras bacterias potencialmente patógenas no formadoras de esporas).

Al mismo tiempo, debe asegurar 6 reducciones decimales en los recuentos de esporas de la variedad no proteolítica de *Clostridium botulinum* y de los patógenos vegetativos *Listeria*, *Salmonella* y *Escherichia coli* (Schellenkens, 1996). El tratamiento mínimo recomendado para asegurar este hecho es de 90 °C/10 min (Anon, 1992<sup>a</sup>), sin embargo, estos tratamiento a temperaturas superiores a 70 °C pueden destruir vitaminas termolábiles y producir pérdida de jugosidad, afectando a la calidad nutricional y sensorial de los platos cocinados. Por esta razón, resulta muy importante establecer tratamientos equivalentes en relación a la efectividad antimicrobiana, que permitan trabajar a temperaturas cercanas a 70 °C durante periodos más largos. La **Tabla 13** muestra diferentes tratamientos térmicos equivalentes a 90 °C/10 min. Un cocinado a 70 °C durante

2545 min también es capaz de asegurar 6 reducciones decimales para *Clostridium botulinum* (Fernández y Peck, 1997).

De esta forma, los tratamiento térmicos empleados en la bibliografía revisada para la elaboración de platos *sous vide* con una base de carne o pescado quedan recogidos en la **Tabla 14**.

**Tabla 13.** Relación temperatura/tiempo equivalente a 90°C/10 min (Anon, 1992<sup>b</sup>).

Temperatura (°C)	Tiempo (min)
75	464
76	359
77	278
78	215
79	167
80	129
81	100
82	77
83	60
84	46
85	36
86	28
87	22
88	17
89	13
90	10

**Tabla 14.** Temperatura interna en el centro del producto y tiempo de cocinado para diferentes platos *sous vide* con una base de carne o pescado.

<b>Plato <i>sous vide</i></b>	<b>T/t</b>	<b>Referencia</b>
Salmón	50 °C/1 h	Roca y Brugués (2004)
Trucha	90 °C/ 10 min	García-Linares y col. (2004)
Salmón	90 °C/5 ó 15 min	González-Fandós y col. (2005)
Trucha	90 °C/3,3 min	González-Fandós y col. (2004)
Atún	90 °C/20 min	Fagan y Gormley (2005)
Mero	90 °C/20 min	Fagan y Gormley (2005)
Cochinillo	70 °C/12 h	Roca y Brugués (2004)
Pechuga de pichón	62 °C/ 25 min	Roca y Brugués (2004)
Papada de cerdo	70 °C/ 17 h	Roca y Brugués (2004)
Pichón	62 °C/ 2 h	Roca y Brugués (2004)
Salsa de tomate y carne	70 °C/900 min	Armstrong y McIlvee (2000)
Pollo con salsa	90 °C/45 min	Armstrong y McIlvee (2000)
Pechuga de pavo	70 °C/2 min	Nyati (2000)
Alas de pollo	75°C/24 min	Wang y col. (2004)
Pollo	80 °C/10 min	Church y Parsons (2000)
Ternera	50 °C/390 min	Grigioni y col. (2000)
Ternera	85 °C/2 h	Galimpin-Johan y col. (2007)

#### 2.4.2.2.d. Equipos de cocinado.

Los avances en los equipos de cocinado permiten un mejor control y distribución de la temperatura, mayor rapidez, menor gasto energético, operaciones más seguras, reducción de personal y mejores condiciones higiénicas (Rodgers, 2007). La cocción mediante vapor permite un rápido calentamiento y mejor distribución de la temperatura debido a la mayor conductividad térmica del



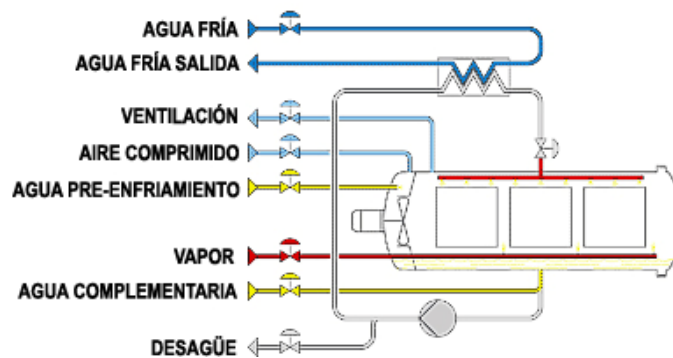
vapor. Los equipos que emplean vapor y están equipados con bomba de vacío, consiguen un calentamiento rápido y suave sin alcanzar temperaturas de 100 °C, muy importante en el cocinado de alimentos sensibles al calor. Otra de las funciones adicionales que puede presentar este tipo de equipos es la posibilidad de utilizarse para la restauración de platos cocinados mediante un suave recalentamiento. Otra forma de transmisión de calor, menos utilizada en la tecnología *sous vide*, es el calentamiento por inducción. Esta forma ofrece una alta relación energía/eficacia (95%) así como un rápido calentamiento del producto (Anon, 2004<sup>a</sup>).

En restaurantes, pequeñas industrias, cruceros, etc., donde la producción es temporal y a pequeña escala, es muy importante el ahorro de energía y espacio (Anon, 2004<sup>b</sup>). En estos casos, se requieren hornos capaces de trabajar con calor húmedo, seco y combinado, donde también existe la posibilidad de unidades combinadas de cocinado-refrigeración. Sin embargo, casinos, centros de convenciones, estadios, aerolíneas, hospitales, cárceles, industrias de platos cocinados “listos para comer” y otras grandes instituciones donde el nivel de producción es muy alto, la etapa de pasteurización tiene que llevarse a cabo mediante sistemas de pasteurización que emplean agua o vapor como medio conductor debido a su conductividad térmica, superior a la del aire. Muchos de estos sistemas presentan la función de enfriamiento incorporada para reducir el movimiento de los alimentos y evitar un descontrol de la temperatura que favorezca la proliferación microbiana entre las etapas de cocinado y enfriado. Entre ellos cabe destacar: sistema de pasteurización horizontal Lagarde®, sistema Armor Inox Thermix® y sistema Barriquand Steriflow®.

El sistema Lagarde® de pasteurización horizontal inyecta vapor directamente a la cámara donde se encuentra el alimento. Mediante un ventilador se crea una circulación de vapor para asegurar una temperatura homogénea en toda la cámara y mediante un panel de control se regula automáticamente la temperatura (inyección de vapor) y la presión (inyección de aire comprimido). Antes del enfriamiento, se distribuye agua potable a través de una bomba con el

fin de eliminar el agua condensada. Posteriormente, se rocía agua potable (temperatura ambiente) sobre el alimento para enfriarlo. Durante este proceso, el agua se enfría con la adición de agua fría o mediante intercambiadores de calor. En el segundo caso, se pueden emplear agua de diferente calidad y evitar el riesgo de que se mezcle con el agua del proceso. La **Figura 10** muestra el diagrama de funcionamiento de un sistema de pasteurización horizontal Lagarde®. Este sistema es capaz de alcanzar 121 °C y ser utilizado en procesos de esterilización de alimentos. Las ventajas que presenta este sistema son: consumo óptimo gracias a la inyección de vapor, no necesita de un fluido intermedio para calentar el producto, exactitud en la temperatura alcanzada independientemente de la forma del envase gracias a su ventilación forzada, ideal para alimentos pasteurizados, detiene el crecimiento de microorganismos al no haber agua residual en el fondo de la cámara y al mismo tiempo es útil para el cocinado de alimentos sin envasar, si se emplea vapor de agua de alta calidad.

**Figura 10.** Diagrama de funcionamiento del sistema de pasteurización horizontal Lagarde®.

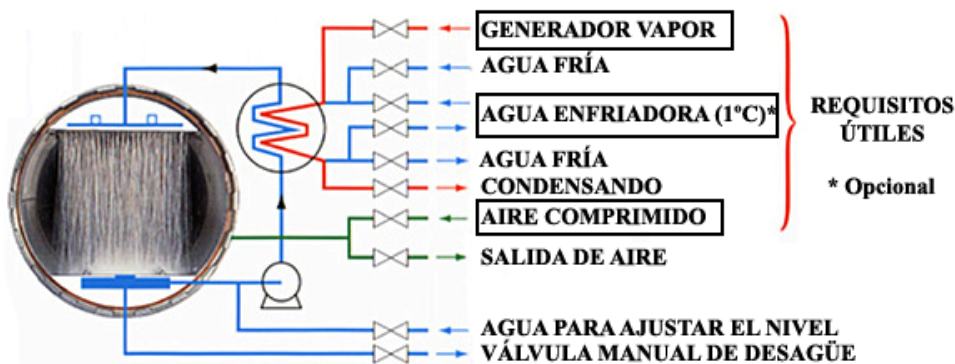


El sistema Armor Inox Thermix® es un método de cocinado-refrigeración por inmersión en el mismo tanque que asegura una rápida transmisión de calor al producto. Presenta un sistema de circulación continuo de agua y de reciclaje de los fluidos sobrecalentados y refrigerados que permite ahorrar energía y agua. La curva de temperatura se monitoriza mediante un ordenador para controlar los

diferentes ciclos, consiguiendo una cocción homogénea y precisa para todos los productos. Empresas europeas productoras de alimentos cocinados-refrigerados como Cuisine Solutions (Francia), Northern Foods (Reino Unido) y So.Vite (Italia) utilizan este sistema de pasteurización.

El sistema Barriquand Steriflow® usa una cascada de agua para calentar cualquier tipo de envase. La **Figura 11** muestra el diagrama de funcionamiento del sistema de pasteurización Barriquand Steriflow®. También es empleado en el cocinado de alimentos delicados como pescados y patés y es utilizado también para alimentos *sous vide*. El agua circula en un circuito cerrado para minimizar el riesgo de contaminación y emplea intercambiadores de calor para realizar una eficiente transferencia de calor.

**Figura 11.** Diagrama de funcionamiento del sistema de pasteurización Barriquand Steriflow®.



#### 2.4.2.3. Abatimiento de temperatura.

Una vez finalizado el cocinado del alimento, la temperatura en el centro del producto es aproximadamente de 70 °C, dependiendo de la temperatura y tiempo del tratamiento. La forma tradicional de conservación de los platos cocinados consistía en enfriar, a temperatura ambiente, antes de su

almacenamiento en refrigeración o congelación. Estas condiciones de temperatura y humedad, favorecían la rápida multiplicación de microorganismos en los alimentos cocinados. El intervalo de temperaturas comprendido entre +50 y +12 °C es el más peligroso durante el enfriamiento debido a la germinación y crecimiento de bacterias formadoras de esporas resistentes al tratamiento térmico (Gaze y col., 1998), principal riesgo de los alimentos *sous vide*. Para evitar este hecho, el enfriamiento debe efectuarse lo antes posible tras la finalización del cocinado. No debe de transcurrir más de 30 min y alcanzar una temperatura interna de 0 a +3 °C en un máximo de 90 min (Anon, 1989).

Los sistemas de enfriamiento más utilizados en la industria de catering emplean aire, agua, placas o cámaras frigoríficas (Zhang y Sun, 2006<sup>a</sup>), aunque actualmente se están introduciendo nuevos métodos como el enfriamiento a vacío (Sun y Wang, 2001). Estudios comparativos realizados por Zhang y Sun (2006<sup>b</sup>) han mostrado una reducción considerable del tiempo de enfriamiento en arroz, brócoli y zanahoria cocinada empleando un enfriamiento a vacío. Este tipo de enfriamiento no afectó a la calidad de brócoli y zanahoria cocinada, sin embargo, se observó una mayor pérdida de peso en arroz cocinado. Para utilizar este método se requiere sacar el alimento cocinado de la bolsa (McDonald y Sun, 2001) para que el agua pueda escapar y producir el enfriamiento, aumentando la probabilidad de contaminación microbiológica durante su manipulación.

La tecnología *sous vide* emplea abatidores de aire capaces de descender la temperatura desde +70 °C a +3 °C en 90 min o desde +70 °C a -18 °C en 240 min según sea destinado a refrigeración o congelación, respectivamente. La velocidad de enfriamiento depende de la densidad, humedad, calor específico y envasado del alimento. La **Figura 12** muestra el diagrama del circuito de un abatidor de aire. El descenso de temperatura puede ser suave o fuerte en función del tipo de alimento. Un descenso suave se realiza en productos delicados o con un espesor máximo de 20 mm y, en este caso, la temperatura del aire se mantiene a 0 °C hasta alcanzar +3 °C en el centro del alimento. Un descenso fuerte de la temperatura suele realizarse en alimentos con un espesor superior a 20 mm, la temperatura del aire

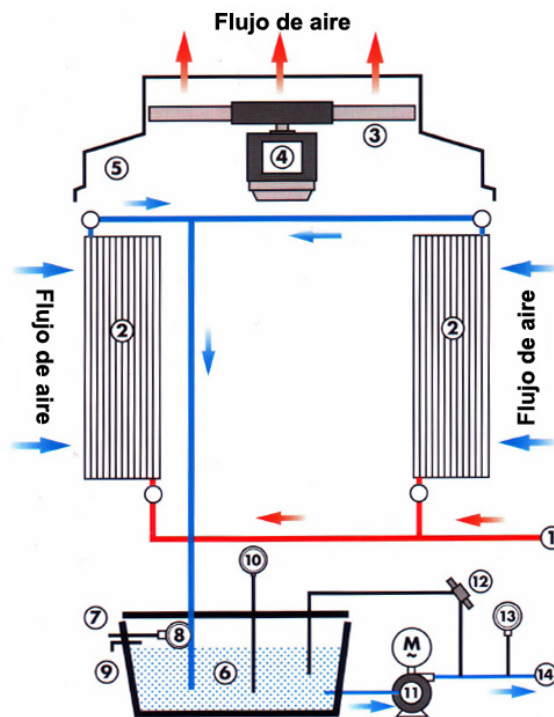
desciende hasta -15 °C manteniéndose constante hasta alcanzar +10 °C en el núcleo. A continuación, la temperatura asciende a 0 °C para evitar la congelación de los bordes del producto hasta conseguir +3 °C en el centro.

La congelación de los alimentos después de ser cocinados presenta dos ventajas con respecto a la refrigeración. Primero, minimiza el riesgo de crecimiento de *Clostridium botulinum* y segundo, permite obtener platos con una mayor vida comercial (Tansey y col., 2003). El método *sous vide* surge como forma de cocinado capaz de obtener platos de una calidad sensorial superior a los cocinados de forma tradicional (Glew, 1990; Church y Parsons, 1993; Creed, 1995). Por ello, la industria de catering emplea abatidores de refrigeración y no de congelación (-18 °C) con el fin de minimizar el efecto negativo sobre la textura de los alimentos producido por un brusco descenso térmico. A nivel industrial, se emplean abatidores de gran capacidad (115 Kg) con separación de entrada y salida para facilitar el flujo de producción a la fase de almacenamiento refrigerado. La **Figura 13** muestra el diseño de un abatidor de temperatura utilizado normalmente en la industria de catering con separación de entrada y salida del alimento.

El enfriamiento rápido es esencial para controlar el crecimiento de bacterias formadoras de esporas que puedan sobrevivir al tratamiento térmico, principalmente, la variedad psicrófila de *Clostridium botulinum* que puede crecer a temperaturas inferiores a 3,3 °C (Bremner y col., 2003). Al mismo tiempo, los alimentos enfriados conservan mejor las propiedades organolépticas, manteniendo el 85% de humedad y evitando la formación de macrocristales intercelulares durante la congelación. La congelación convencional se produce lentamente (8 horas) favoreciendo la formación de microcristales causantes de la ruptura de las membranas intercelulares que conllevan la pérdida de líquidos y vitaminas en el alimento. Sin embargo, la congelación rápida (240 min) favorece la formación de microcristales, manteniendo las características de textura, humedad, compactabilidad, sabor y frescura durante un largo periodo de tiempo.

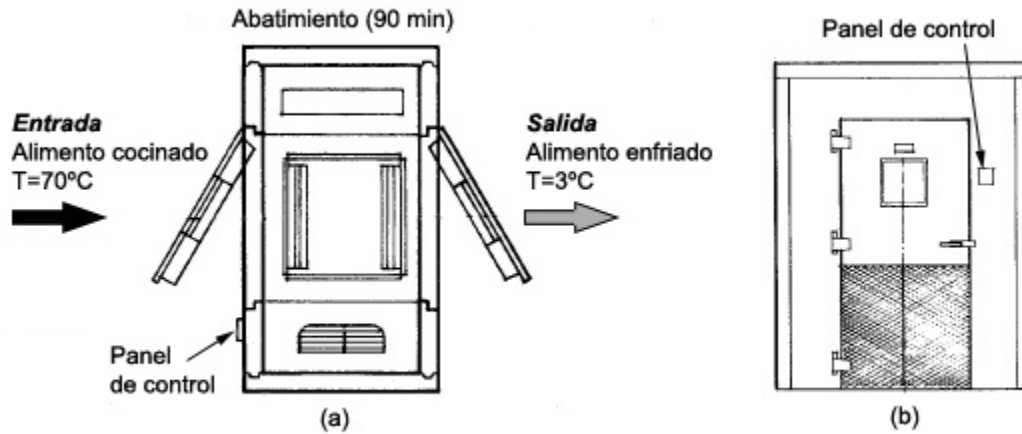
La etapa de abatimiento en el cocinado *sous vide* también permite realizar una mejor planificación de la producción con la preparación adelantada de gran variedad de platos. Con el empleo de abatidores no se requiere un control exhaustivo de la producción, ahorrando costes en energía y personal. Al mismo tiempo, permite efectuar acopio de materias primas de forma económica y organizada.

**Figura 12.** Diagrama del circuito de un abatidor de aire.



(1) Unidad de entrada; (2) intercambiadores de calor; (3) ventilador; (4) motor; (5) capucha del ventilador ; (6) depósito; (7) entrada de agua; (8) válvula de bola; (9) sobre flujo; (10) medida de temperatura; (11) bomba; (12) válvula de seguridad; (13) medida de presión; (14) unidad de salida.

**Figura 13.** Abatidor de temperatura empleado en la industria de catering con entrada y salida del alimento.



(a) Vista planta; (b) vista perfil izquierdo.

#### 2.4.2.4. Almacenamiento en refrigeración.

La refrigeración es el método de conservación idóneo para platos *sous vide* de alta calidad sensorial cuya textura y otras cualidades sensoriales empeoran al aplicar tratamientos de congelación. Sin embargo, resulta menos efectivo para prevenir el deterioro de los alimentos. El principal riesgo asociado al almacenamiento refrigerado de los alimentos cocinados *sous vide* es la germinación y crecimiento de las posibles esporas supervivientes al tratamiento térmico. Teniendo en cuenta la capacidad de crecimiento a temperaturas de refrigeración de la variedad no proteolítica de *Clostridium Botulinum* ( $2,9^{\circ}\text{C}$ ), la temperatura de almacenamiento para los alimentos *sous vide* se marca en valores comprendidos entre  $0-2^{\circ}\text{C}$  (Hansen y col., 1995; Armstrong y McIlveen, 2000; Nyati, 2000; Vaudagna y col., 2002; Wang y col., 2004; Cobos y Díaz, 2007). Durante el almacenamiento en refrigeración es importante monitorizar con exactitud ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ) la temperatura del aire de la cámara durante el periodo de vida comercial del producto para asegurar temperaturas comprendidas entre  $-1$  y  $+5^{\circ}\text{C}$ . De esta forma, es posible detectar grandes variaciones que puedan repercutir en la seguridad de los alimentos cocinados. Al mismo tiempo, el área de

almacenamiento debe estar localizada lo más cerca posible del abatidor para evitar los riesgos de contaminación y las fluctuaciones de temperatura por la frecuente salida y entrada de alimentos a la cámara. También debe estar diseñada para permitir una eficiente limpieza y los sistemas de refrigeración tienen que ser capaces de mantener la temperatura en condiciones de máxima capacidad.

#### 2.4.2.5. Regeneración del producto.

Los platos cocinados *sous vide* deben ser regenerados en un máximo de 30 min después de refrigeración con el fin de evitar el crecimiento de posibles microorganismo patógenos. El tratamiento de regeneración debe asegurar temperaturas superiores o iguales a 70 °C en el centro del producto (NSAI, 1994). Sin embargo, si los alimentos van a ser consumidos inmediatamente después de la regeneración, entonces es suficiente alcanzar temperaturas superiores o iguales a 63 °C.

La regeneración a temperaturas superiores a 70 °C, en el centro del producto, es capaz de destruir los posibles microorganismos patógenos presentes en el alimento. Sin embargo, no es suficiente para eliminar las toxinas de bacterias como *Clostridium perfringens*, *Clostridium botulinum*, *Staphylococcus aureus* o *Bacillus cereus* (Doyle, 2002). La etapa de regeneración nunca debe utilizarse como sustituto de un mal cocinado, enfriado o pobres condiciones higiénicas. Los equipos de regeneración de alimentos cocinados-refrigerados más empleados en la industria utilizn microondas, aire forzado o convección de vapor.

#### 2.4.3. Ventajas del cocinado *sous vide*.

El método *sous vide* ha surgido, en los últimos 30 años, con el fin de solucionar los problemas asociados a los cambios en el estilo de vida actual, aumento en la demanda de platos de calidad, la escasez de mano de obra



cualificada y la reducción de costes (Loiseau y Aznar, 1988; Light y Walter, 1990). La introducción de tecnología en el procesado de alimentos ha permitido desarrollar una producción centralizada, equipos a gran escala, tratamientos térmicos consistentes y sistemas sofisticados de envasado, facilitando el desarrollo de sistemas de cocinado como el *sous vide*. Las ventajas de la tecnología *sous vide* han permitido su empleo en diferentes tipos de instituciones (Creed, 2001).

#### *2.4.3.1. Industria del catering.*

El sector de la restauración y catering español se encuentra en una fase de profunda transformación. La innovación empresarial se está imponiendo progresivamente en todo el sector, con una presencia creciente y significativa de grandes empresas y cadenas de establecimientos que, junto con la introducción de nuevas tecnologías y nuevos métodos de producción y gestión, están abriendo el camino a un nuevo concepto de la actividad y servicio. La tendencia es crear grandes cocinas centralizadas y aplicar tecnologías que permitan producir grandes cantidades de alimentos, longevos y de calidad, destinados a la neo-restauración (autoservicios, restaurantes telemáticos, franquicias, etc.), la restauración complementaria (comedores de hoteles, salones de banquetes, servicios de comida en redes de transporte y centros comerciales, etc.) y la restauración institucional (comedores de empresa, hospitales, colegios, dependencias militares, instituciones penitenciarias, etc.) (Martín, 2003).

La aplicación de la tecnología *sous vide* en la industria del catering permite la reducción de costes, aumento de la productividad, empleo de personal menos cualificado y mayor variedad y disponibilidad de platos cocinados (Creed, 2001). Las características del método *sous vide* permiten planificar la producción con suficiente antelación y trabajar así de forma más eficiente. Al mismo tiempo, se reducen costes en la adquisición de materias primas cuyo precio varía considerablemente de forma estacionaria, la elaboración de platos se realiza según la demanda establecida y la disponibilidad es absoluta cuando son requeridos. A

diferencia de la cocina tradicional donde la producción se realiza de forma ininterrumpida, el cocinado *sous vide* permite trabajar en horas fijas sin tener picos de actividad entre comidas, utilizando menos equipos durante periodos más largos. El gran interés reside en la posibilidad de tener una producción centralizada y evitar así la duplicación de equipos y el reparto de mano de obra cualificada por pequeñas cocinas adyacentes.

#### 2.4.3.2. Nutricionales.

Los suaves tratamientos térmicos y el envasado a vacío, hacen de la tecnología *sous vide* un método de cocinado capaz de obtener alimentos con alta calidad nutricional (Schellenkens, 1996). La principal diferencia nutricional de los alimentos *sous vide* con respecto a los cocinados mediante otros sistemas de cocinado-refrigeración reside en el contenido de vitaminas, mientras que el de proteínas, grasas, carbohidratos o minerales no se han observado diferencias (Bognar y col., 1990).

El empleo de bajas temperaturas también favorece la retención de ácidos grasos insaturados (Ghazala y col., 1996), pero la principal ventaja reside en el envasado a vacío que minimiza la oxidación de lípidos y reduce la formación de compuestos secundarios mejorando la calidad y aceptabilidad de los alimentos con alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados como el pescado (Schellenkens, 1996). Schellenkens (1996) observó que la retención de ácidos grasos insaturados no oxidados en productos *sous vide* cocinados a 65 °C fue mayor que en los cocinados de forma tradicional empleando temperatura altas (por encima de 85 °C), mientras que la diferencia en los ácidos grasos saturados entre el cocinado *sous vide* y tradicional fue mínima.

También se han observado diferencias en el contenido de minerales entre los alimentos cocinados por el método *sous vide* y métodos tradicionales. En este caso, la pérdida de minerales no es debida al tratamiento térmico sino al proceso

de lixiviación durante el cocinado, ya que los alimentos *sous vide* son cocinados dentro de un envase hermético y mantienen su contenido de minerales prácticamente igual al de los alimentos frescos. El envasado también permite que los aromas no se pierdan durante el cocinado, reduciendo así el empleo de potenciadores y favoreciendo la elaboración de platos más saludables.

Las vitaminas son compuestos orgánicos indispensables para la vida y se encuentran en pequeñas cantidades en la dieta. Las vitaminas se encargan de regular los procesos metabólicos, controlar las funciones celulares y prevenir enfermedades como el escorbuto y raquitismo. Se clasifican en dos grupos: liposolubles (4) e hidrosolubles (9). La **Tabla 15** muestra la clasificación de vitaminas.

Las vitaminas hidrosolubles son las más inestables y se producen pérdidas según las condiciones de procesado y cocinado al que se someten los alimentos debido principalmente a su solubilidad en agua que facilita el paso del alimento al jugo de cocción. La temperatura de cocinado, cantidad de oxígeno, luz, humedad y pH son algunos de los factores que afectan a la degradación de las vitaminas durante el proceso culinario de los alimentos. El ácido ascórbico (C), tiamina (B<sub>1</sub>) y riboflavina (B<sub>2</sub>) son las más sensibles al tratamiento térmico durante el cocinado.

**Tabla 15.** Clasificación de vitaminas (Lesková y col. 2006).

	<b>Grupo de vitaminas</b>	<b>Vitaminas</b>
Liposolubles	Vitamina A	Retinol Retinal Ácido retinoico Vitamina A <sub>2</sub> Provitamina A
	Vitamina D	Ergocalciferol (D <sub>2</sub> ) Colecalciferol (D <sub>3</sub> ) Provitamina D <sub>3</sub> Provitamina D <sub>2</sub>
	Vitamina E	Tocoferoles Tocotrienoles
	Vitamina K	Filoquinona Menaquinona Menadiona
Hidrosolubles	Complejos-B	Tiamina (B <sub>1</sub> ) Riboflavina (B <sub>2</sub> ) Folatos (B <sub>C</sub> ) Ácido pantoténico (B <sub>5</sub> ) Niacina (B <sub>3</sub> ) Piridoxina (B <sub>6</sub> ) Cobalamina (B <sub>12</sub> ) Biotina (H)
	Vitamina C	

La pérdida de vitaminas se produce durante las distintas etapas del cocinado *sous vide*. Durante el tratamiento térmico es donde se produce la mayor destrucción de vitaminas por acción del calor. La vitamina C se utiliza con frecuencia como indicador para estudiar la retención de vitaminas ya que su degradación se produce en un rango similar al de muchas otras vitaminas (Bognar y col., 1990). Varios autores han estudiado el contenido de vitamina C en diferentes vegetales, observando diferencias según el método de cocinado (Eheart y Gott, 1965; Ilow y col., 1995; Marsrizal y col., 1997; Sungpuag y col., 1999; Vallejo y col., 2002)

La oxidación de la vitamina C es la principal causa de pérdida durante el procesado, cocinado y almacenamiento de los alimentos. Estas reacciones dependen del grado de calentamiento, oxígeno disponible, lixiviación en el medio de cocción, superficie de contacto con el agua y el oxígeno, pH, presencia de metales de transición y otros factores que favorecen la oxidación (Eitenmiller y Laden, 1999). Laing y col. (1978) también demostraron que el contenido en humedad de los alimentos favorece la degradación de la vitamina C, produciéndose una mayor pérdida en aquellos alimentos con mayor actividad de agua. El cocinado en horno implica largos tiempos y por lo tanto, una mayor pérdida de vitamina C debido a la presencia de oxígeno, sin embargo, en el cocinado doméstico la degradación es debido principalmente a una destrucción enzimática y a reacciones de desactivación térmica (Burg y Fraile, 1995). El cocinado *sous vide* implica tiempos de cocción más extensos que en el cocinado tradicional. Gracias al envasado a vacío se consigue minimizar los riesgos de oxidación y pérdida de vitaminas.

Las diferentes formas de vitamina B son, junto con la vitamina C, las más sensibles en las distintas fases del cocinado. La pérdida durante el tratamiento térmico supera el 40% en el caso de biotina, niacina (B<sub>3</sub>), piridoxina (B<sub>6</sub>) y ácido pantoténico (B<sub>5</sub>) (Harris, 1975). La tiamina (B<sub>1</sub>) es muy abundante en alimentos de origen animal y es la más sensible de todas. Es inestable a pH alcalinos y su estabilidad depende del tratamiento térmico y de las características físicas y químicas del alimento. Es tan inestable, que la degradación térmica se puede producir incluso en alimentos ligeramente ácidos (Eitenmiller y Laden, 1999). La pérdida de tiamina durante el proceso culinario de los alimentos puede oscilar entre 20-85% (Ang y col., 1978; Hall y Lin, 1981; Barbeau y Schnepf, 1989), aunque según Bognár (1984) puede haber pérdidas menores comprendidas entre 9-70% en carne sometida a varios tratamientos térmicos. La pérdida de tiamina en carnes cocinadas depende del tipo, parte, contenido en grasa y humedad de la carne. La carne de cerdo tiene un mayor contenido en tiamina que otras carnes y es más estable. Fillon y Henry (1998) compararon la pérdida de tiamina en carne frita de pollo y cerdo, observando pérdidas de 70% y 30%, respectivamente. La

grasa de la carne tiene un efecto protector que impide pérdidas muy elevadas de tiamina. Varios autores, han estudiado el efecto del tipo de cocinado sobre el contenido en tiamina. Kimura y col. (1990), observaron una mayor pérdida en carne hervida (70%), seguido por el cocinado a vapor (40%), carne sometida a un proceso de secado (35%) y frita (30%). Por otra parte, Batenhorst y col. (1995) observaron una mayor pérdida en lomo de cerdo asado que cocinado en bolsa.

La vitamina C y tiamina son las vitaminas que sufren una mayor pérdida cuando se cocinan los alimentos con grandes cantidades de agua, como ocurre en el proceso tradicional de hervir los alimentos. Esto es debido al carácter hidrosoluble de estas vitaminas. En relación a esto, también hay que tener en cuenta la retención de agua del alimento. En el caso de carnes, el músculo oscuro muestra diferencias en la retención de tiamina de hasta un 20% con respecto al músculo blanco, debido a la menor pérdida de agua durante el cocinado (Lesková y col., 2006). Estos fenómenos también son minimizados mediante el cocinado *sous vide* debido el envasado a vacío. Lassen y col. (2002), mostraron que el 26% de tiamina quedaba retenida en el jugo al cocinar carne de cerdo con el método *sous vide*. Los alimentos *sous vide* son cocinados en su propio jugo sin la necesidad de un contenido extra de agua. De esta forma, se produce una mayor retención de vitaminas al mismo tiempo que se reducen las mermas por cocinado.

La temperatura es uno de los factores más importantes que influye directamente en la pérdida de vitaminas. Los diferentes métodos de cocinados emplean temperaturas muy variadas. Driskell y col. (1998) realizaron un estudio en chuletas de cerdo cocinadas a la parrilla, observando una retención de tiamina menor cuando fueron cocinadas a altas temperaturas (204 °C). Por otra parte, Oseredczuk y col. (2003) demostraron que la pasteurización del pescado resulta muy agresiva sobre tiamina por las temperaturas empleadas. Los tratamientos térmicos en el cocinado *sous vide* se basan en temperaturas comprendidas entre 60 °C y 90 °C y tiempos largos (horas). Una temperatura interna máxima de cocinado de 71 °C mostró niveles de retención de tiamina superiores a temperaturas internas de 82 °C en lomo de cerdo asado (Batenhorst, y col. 1995; Driskell y col. 1995).

Los estudios sobre retención de tiamina en productos *sous vide* muestran porcentajes muy altos. Poulsen (1978), observó una retención de 94% en patatas cocinadas mediante un procedimiento similar a *sous vide*, Cooksey y col. (1988) entre 70% y 80% en carne de ternera, Shamsuzzaman y col. (1992) un 98% en pechuga de pollo y Lassen y col. (2002) no observaron daño térmico en tiamina cuando se cocinó carne de cerdo a una temperatura interna de 72 °C.

De las tres vitaminas más sensibles al tratamiento culinario, la riboflavina (B<sub>2</sub>) es la más estable a la oxidación y tratamiento térmico, sin embargo, es sensible a la luz, especialmente a altas temperaturas y pH (Roche, 1976). Al-Khalifa y Dawood (1993), compararon la pérdida de riboflavina en carne de pollo cocinada mediante varios métodos. Observaron pérdidas más altas cuando la carne fue asada o frita (por inmersión) que cuando se cocinó empleando brasas o microondas.

La descomposición térmica de la riboflavina ocurre a temperaturas muy superiores a 90 °C (Hashmi, 1972), siendo mínimas las pérdidas en alimentos *sous vide* donde pocas veces se alcanzan esas temperaturas. Lassen y col. (2002), observaron, igual que para tiamina, retención de riboflavina en el jugo cuando los alimentos fueron cocinados mediante el método *sous vide*, en concreto, un 13% de riboflavina en carne de cerdo *sous vide* cocinada a 72 °C.

Otras vitaminas más resistentes también han sido estudiadas en alimentos *sous vide*. Por ejemplo, Eriksen y Lassen (1996) estudiaron la retención de vitaminas B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> y C en pechuga de pavo cocinada por varios métodos, *sous vide*, atmósfera modificada, cocinado-refrigeración y cocinado tradicional, siendo los dos primeros los que mostraron una mayor retención de vitaminas.

Por otra parte, son pocos los estudios que aportan datos sobre las pérdidas de vitaminas durante el abatimiento de temperatura. Jansen y col. (1977), no observaron cambios en el contenido de tiamina durante el abatimiento de temperatura en salsa con carne picada de ternera, barra de carne y barritas de

pescado, sin embargo, sí que observaron una pérdida del 23% en carne de pollo. También mostraron que no hubo pérdida de riboflavina en 5 de 6 alimentos ensayados, sólo se observó una reducción de un 23% en carne de pollo. Al mismo tiempo, no se observó variaciones en el contenido de vitamina A en carne en barra.

La bibliografía revisada estableció las vitaminas tiamina, riboflavina, retinol y  $\beta$ -carotenos como las más estables durante el enfriamiento rápido, mientras que vitamina C y folatos fueron más sensibles. Debido a esto, el enfriamiento debe de ser lo más rápido posible para minimizar las pérdidas (máximo 2 horas).

El almacenamiento refrigerado del producto cocinado también afecta directamente a los niveles de vitaminas. Tiamina es más resistente al almacenamiento refrigerado que la vitamina C. Las pérdidas oscilan desde 0 hasta 6% en vegetales almacenados durante 24 horas (Kossovitsas y col. 1973; Bogнар, 1980; Augustin y col., 1980; Dahl-Sawyer y col., 1982), aunque también se han observado pérdidas del 22% (Wood y col. 1946). Las diferencias son mayores en carnes, presentando pérdidas comprendidas desde un 1% en hígado frito y 4% en hamburguesas y pollo asado (Bognar, 1980) hasta un 25% en guiso de ternera y 33% en ternera asada después 24 h a 2 °C (Nicholanco y Matthews, 1978; Nyary, 1983).

Finalmente, el recalentado es el último tratamiento que sufre el producto antes de ser consumido. Las pérdidas en esta fase dependen mucho del tiempo y el tamaño de la porción. Según los estudios sobre retención de vitaminas, el recalentado en microondas es la forma más saludable, mostrando un rango de pérdidas de vitamina C comprendidas entre el 4% y 17% en un tratamiento de 1 a 2 min (Dahl-Sawyer y col., 1982; Bognar y col., 1990). Otras formas de recalentar los alimentos cocinados-refrigerados pueden ser mediante infrarrojos, convección o conducción, empleando de 15 a 35 min cuando son porciones individuales y de 30 a 40 min cuando son varias porciones.



Las pérdidas de tiamina durante el recalentado suelen ser inferiores al 10%, siendo un 9% en carnes y 5% en vegetales, cuando se emplea microondas, conducción, convección o vapor (Augustin y col., 1980; Dahl y Matthews, 1980; Lee y col., 1981; Khan y col., 1982). La pérdida media de riboflavina en carne es del 9% siendo insignificante en vegetales (Ang y col., 1978; Augustin y col., 1980; Bognar y col., 1990).

En el cocinado *sous vide*, la oxidación y destrucción térmica de vitaminas es inferior al cocinado tradicional, siendo una gran ventaja en platos cocinados “listos para servir”, donde no es necesario un abatimiento rápido, un almacenamiento refrigerado y un posterior recalentado que minimicen el efecto positivo sobre la retención de vitaminas. Watier (1988) y posteriormente Watier y Belliot (1991), estudiaron la retención de vitaminas B en productos basados en carne de res, ternera, cordero, cerdo, salmón y bacalao *sous vide*. La **Tabla 16** muestra los porcentajes de retención de vitaminas en platos basados en carne y pescado *sous vide* después del cocinado, almacenamiento refrigerado durante 21 días y recalentado. El método *sous vide* evitó en mayor proporción la oxidación de vitaminas con respecto al cocinado tradicional, aunque esta ventaja desapareció debido al almacenamiento y posterior recalentado (Creed, 1998). Idéntico resultado observó Metayer (1991) en los niveles de vitamina B<sub>1</sub>, B<sub>12</sub> y niacina en platos basados en carne y pescado *sous vide*, almacenados a 3 °C y recalentados.

El procesado *sous vide* destinado a la obtención de platos con una larga vida comercial implica una pérdida global de vitaminas similar a las obtenidas por un cocinado tradicional.

**Tabla 16.** Porcentajes de retención de vitaminas A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, ácido pantoténico y biotina en platos basados en carne y pescado *sous vide* después del cocinado, almacenamiento refrigerado durante 21 días y recalentado (Watier, 1988).

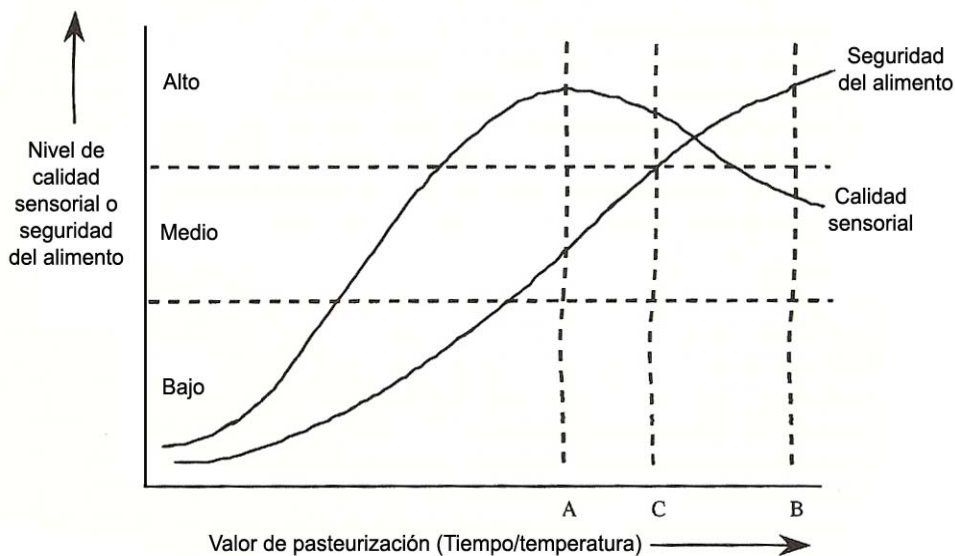
Vitamina	Porcentaje de retención					
	Res	Ternera	Cordero	Cerdo	Salmón	Bacalao
B <sub>1</sub>	70	91	77	90	90	85
B <sub>2</sub>	100	52	100	100	100	63
B <sub>6</sub>	100	100	100	100	85	100
Ácido pantoténico	100	100	100	100	96	89
B <sub>12</sub>	87	100	100	100	92	72
Biotina	100	100	93	100	95	95
A	-	-	-	-	78	67

#### 2.4.3.3. Sensoriales.

Las investigaciones en alimentos *sous vide* están centradas principalmente en los riesgos microbiológicos. Son pocos los autores que han dedicado su tiempo al estudio de la calidad sensorial y su comparación con otros métodos de cocinado. La temperatura de cocinado afecta directamente a la calidad sensorial de los alimentos *sous vide* (Goussault, 1993) pero es importante no descuidar los riesgos microbiológicos. Para alcanzar un equilibrio, Tjomb (1990) estableció un intervalo de temperaturas comprendidas entre 68 °C y 80 °C donde es posible obtener platos seguros, minimizando la pérdida de calidad sensorial. Con idéntico objetivo, Langley-Danysz (1992) optimizó el tratamiento térmico *sous vide* para obtener alimentos seguros con las mejores propiedades organolépticas posibles. La **Figura 14** representa el efecto del tratamiento térmico sobre la calidad sensorial y los niveles de seguridad alimentaria. Cuando la calidad sensorial es máxima (A) el nivel de seguridad es intermedio, existiendo riesgo microbiológico. Por otra parte, si el nivel de seguridad es máximo (B) la calidad sensorial disminuye hasta valores intermedios. Para conseguir niveles de seguridad y calidad sensorial situados en la zona alta del diagrama es necesario un tratamiento

térmico como el descrito en el punto C. Este diagrama depende del tipo de alimento, siendo necesario una gran cantidad de estudios para optimizar cada plato individualmente.

**Figura 14.** Optimización del tratamiento térmico en función de la calidad sensorial y seguridad de alimentos *sous vide* (A, calidad sensorial alta/seguridad media; B, calidad sensorial media/seguridad alta; C, punto óptimo, calidad sensorial alta/seguridad alta). Adaptada de Langley-Danysz (1992).



Las temperaturas bajas y los tiempos largos empleados en el cocinado *sous vide* evitan el daño térmico, obteniendo alimentos con una textura mejorada con respecto a otros métodos de cocinado convencionales (Unger, 1985). Al mismo tiempo, el cocinado de los alimentos en un envase estanco evita la pérdida de compuestos volátiles que intervienen en la percepción del olor y sabor (Pring, 1986; Sessions, 1987; Bacon, 1990) y evita la aparición de olores y sabores desagradables causados por la oxidación de grasas (Schafheitle, 1990; Church, 1996; Wang y col., 2004). Las características del cocinado *sous vide* disminuyen los coeficientes de difusión de los compuestos causantes del sabor (cloruro sódico,

aminoácidos libres, ácidos orgánicos y ácidos nucleicos) durante el cocinado, produciendo una liberación más lenta y mejorando así el sabor con respecto a otros métodos de cocinado (Otake, 1996).

Estos hechos son la principal causa de la mejora en las características sensoriales de los alimentos *sous vide*. Esta tecnología permite obtener alimentos con mejor sabor, color, textura y retención de nutrientes que si hubieran sido cocinados de forma tradicional (Petersen, 1993). Aun así, son pocas las evidencias científicas disponibles que muestran las ventajas sensoriales del método *sous vide* sobre otras técnicas de cocinado (Creed, 1995).

Buck y col. (1979), observaron que carne de ternera cocinada a 60 °C en un baño de agua (60-61 °C) mejoraba significativamente ( $P < 0,01$ ) la terneza con respecto al cocinado en horno a 94 °C, recibiendo puntuaciones de 6,1 y 4,4, respectivamente, en una escala de 9 puntos. Sin embargo, otro trabajo realizado sobre carne de ternera envasada a vacío y cocinada a 65 °C en un baño de agua a 71 °C, no mostró diferencias estadísticamente significativas en las pérdidas por cocinado, terneza, jugosidad, valores de Warner-Bratzler e intensidad de sabor y sabor desagradable con respecto a un cocinado (asado) convencional (Stites y col. 1989).

Choain y Noel (1989), compararon el cocinado *sous vide* con el tradicional en diferentes tipos de alimentos. Observaron que la carne de ternera *sous vide* fue más jugosa, pálida en apariencia pero con un consistente color en la superficie de corte y con mayor olor y sabor que la carne cocinada de forma tradicional. En el caso del pescado, el tratamiento *sous vide* potenció el aroma y sabor de la trucha con respecto al cocinado tradicional.

Church (1990), comparó la calidad sensorial de platos elaborados con carne de pollo, vegetales, arroz o patatas empleando el método *sous vide* y el cocinado tradicional. Para ello, se realizaron pruebas comparativas, donde se observó una amplia proporción de jueces capaz de distinguir los alimentos *sous*

*vide* de los cocinados de forma tradicional. Mediante un análisis descriptivo cuantitativo (QDA). Se observaron diferencias en la jugosidad de la carne de pollo, humedad del relleno, sabor inicial y en la profundidad del aroma.

Goto y col. (1995), compararon el método *sous vide* con un cocinado normal (horno de gas a 200 °C) para un amplio número de platos. Los valores de dureza, elasticidad, gomosidad y masticabilidad (medidas instrumentales) fueron significativamente más bajos ( $P < 0,001$ ) para pechuga de pollo y filetes de carne de cerdo cocinados mediante la tecnología *sous vide*. Sin embargo, para otra clase de alimentos de tipo vegetal como arroz cocinado con otros ingredientes no observaron diferencias significativas entre ambos métodos de cocinado.

Bertelsen y Juncher (1996), se centraron en la estabilidad oxidativa y calidad sensorial de los productos *sous vide*. En productos cárnicos precocinados, el sabor a recalentado aparece en pocas horas como resultado de la oxidación de los fosfolípidos de la carne. Las reacciones de oxidación en los productos cárnicos *sous vide* son inhibidas durante el tiempo que permanecen envasados, formándose olores y sabores a recalentado más lentamente que en productos cárnicos cocinados mediante técnicas tradicionales.

Con respecto a otros métodos similares al *sous vide*, se han observado diferencias no significativas en el aroma, la apariencia, el sabor y la ternura de la carne de pollo cocinada mediante métodos de cocinado-refrigeración y cocinado-congelación y almacenada durante 1, 3 y 6 días a 4 °C y -14 °C, respectivamente (Smith y Fullum-Bouchard, 1990).

#### 2.4.3.4. *Vida comercial más extensa.*

Se denomina vida comercial de un producto al tiempo máximo que puede permanecer almacenado hasta su deterioro. Un alimento se considera deteriorado cuando la población bacteriana supera los límites máximos establecidos que

resultan perjudiciales para la salud o aparecen atributos desagradables (olor, sabor y apariencia) que hacen inaceptable su consumo.

El cocinado *sous vide* es capaz de incrementar la vida útil de algunos productos con respecto a otros métodos más tradicionales (Mason y col., 1990). La baja tensión de oxígeno presente en el envase inhibe el crecimiento de microorganismo aerobios causantes del deterioro, así como la oxidación de lípidos que pueden generar olores y sabores desagradables durante el almacenamiento (Church y Parsons, 1993). En productos cárnicos es destacable el desarrollo de olores y sabores WOF (warmed over flavors) que limitan su aceptabilidad (Mason y col. 1990; Bertelsen y Juncher, 1996).

La vida comercial de los platos cocinados *sous vide* es difícil de fijar y depende del tratamiento térmico, composición y temperatura de almacenamiento. La **Tabla 17** muestra la vida útil de distintos alimentos cocinados *sous vide* almacenados a temperaturas de refrigeración según diferentes autores. El crecimiento de ciertos microorganismos implica alteraciones físicas y químicas que conllevan cambios sensoriales. Los indicadores microbiológicos son utilizados, en estudios de vida comercial, para establecer el grado de deterioro de los alimentos y su aptitud para el consumo. En ocasiones, el empleo únicamente de estos indicadores puede conllevar una sobreestimación del periodo de caducidad y es importante utilizar indicadores físico-químicos y sensoriales para apoyar los resultados. La tecnología *sous vide* es capaz de retrasar el crecimiento de la microflora alterante, produciéndose un deterioro sensorial asociado, en este caso, a reacciones químicas y enzimáticas que prevalecen sobre los criterios microbiológicos y determina la aceptabilidad del producto. Por ejemplo, Light y col. (1988) estudiaron la vida comercial de carne de pollo con salsa de vegetales cocinada con el método *sous vide* y observaron que después de 21 días de almacenamiento a 1-3 °C el producto fue estable microbiológicamente, sin embargo, resultó inaceptable sensorialmente después de 14 días. Por otra parte, Schaftheitle y Light (1989) observaron que, según criterios microbiológicos y

sensoriales, la carne de pollo cocinada fue aceptable después de 21 días de almacenamiento (1-3 °C).

**Tabla 17.** Vida comercial de distintos alimentos cocinados *sous vide* y almacenados a temperatura de refrigeración.

<b>Alimento</b>	<b>Vida útil (días)</b>	<b>Referencia</b>
Carne de pollo	20-30	Schafheitle y Light (1989)
Varios	28	Swientet (1989); Rhodes (1991)
Pescado	21-42	Beachemin (1990)
Varios	28	Anon (1992 <sup>c</sup> ); Betts (1992)
Espaguetis con carne	35	Simpson y col. (1994)
Carne de ternera	35	Hansen y col. (1995)
Varios	6-42	Schellenkens (1996)
Varios	7-45	Carlin (2000)
Carne y pescado	28-35	Nyati (2000)
Carne de ternera	21	Vaudagna y col. (2002)
Trucha	45	González-Fandos y col. (2004)
Salmón	45	González-Fandos y col. (2005)
Carne de pollo	49	Wang y col. (2004)
Lacón gallego	28	Cobos y Díaz (2007)

#### 2.4.4. Inconvenientes del cocinado *sous vide*.

##### 2.4.4.1. Riesgos microbiológicos.

Existe un rechazo a la implantación de la tecnología *sous vide* en la industria de catering por riesgo de listeriosis y botulismo (Sheard y Rodger,

1995). Los tratamientos térmicos empleados en el cocinado *sous vide* son capaces de eliminar bacterias patógenas que pueden crecer durante el almacenamiento en anaerobiosis y refrigeración (Kramer, 1988; Schafheitle y Light, 1989). Sin embargo, el principal problema reside en los microorganismos patógenos formadores de esporas capaces de soportar los suaves tratamientos térmicos y germinar durante el almacenamiento refrigerado, llegando a producir toxoinfecciones alimentarias. La **Tabla 18** recoge los microorganismos patógenos formadores de esporas que pueden sobrevivir al tratamiento *sous vide*, sus valores *D* y *z* y temperatura de crecimiento. Por su resistencia al cocinado y temperaturas de crecimiento, muy cercanas a las de refrigeración, los más importantes son *Bacillus cereus* (Johnson, 1990), la variedad no proteolítica de *Clostridium botulinum* (Meng y Genigeorgis, 1994) y *Clostridium perfringes* (Juneja y Majka, 1995). También son importantes otros microorganismos patógenos capaces de proliferar en condiciones de refrigeración como: *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* y *Aeromonas hydrophila*.

**Tabla 18.** Microorganismos patógenos formadores de esporas capaces de sobrevivir al tratamiento *sous vide*, valores *D* y *z* y temperatura de crecimiento (Rybka-Rodgers, 2001).

Microorganismo	Valor <i>D</i> y <i>z</i>	T <sup>a</sup> crecimiento
<i>Clostridium botulinum</i> No proteolítica	$D_{80^{\circ}\text{C}} = 21,6 \text{ min}$ $z = 7^{\circ}\text{C}$	3 °C
<i>Clostridium botulinum</i> Proteolítica	$D_{121^{\circ}\text{C}} = 0,3-0,23 \text{ min}$ $z = 10^{\circ}\text{C}$	>10 °C
<i>Bacillus cereus</i>	$D_{100^{\circ}\text{C}} = 2,7-3,1 \text{ min}$ $z = 6,1^{\circ}\text{C}$	>4 °C
<i>Clostridium perfringes</i>	$D_{98^{\circ}\text{C}} = 21,31 \text{ min}$ $z = 3,8^{\circ}\text{C}$	>15 °C



2.4.4.1.a. *Clostridium botulinum*.

El crecimiento de *Clostridium botulinum* está considerado el principal riesgo potencial en los alimentos pasteurizados almacenados en refrigeración (Simunovic y col., 1985; Notermans y col., 1990; Mossel y col., 1991). La mayoría de las técnicas diseñadas para minimizar los riesgos microbiológicos en los alimentos *sous vide* van encaminadas a inhibir o destruir sus formas vegetativas para evitar la formación de esporas. Las esporas de *Clostridium botulinum* son capaces de resistir los tratamientos térmicos empleados en el cocinado *sous vide*. Si las esporas sobreviven al cocinado, pueden germinar durante el almacenamiento refrigerado y producir la toxina botulínica convirtiéndose en un riesgo importante para el consumidor. Existe un gran número de estudios que demuestran su habilidad de producir la toxina en alimentos *sous vide* (Brown y col., 1991; Betts y Gaze, 1995; Simpson y col., 1995).

Desde 1953, se define la especie *Clostridium botulinum* como todos los organismos capaces de producir los diferentes tipos de neurotóxina botulínica (tipo A-G). Sin embargo, esta especie es muy heterogénea y se clasifica en cuatro grupos, siendo los grupos I y II los asociados con el botulismo en humanos (Hoeldeman y Brooks, 1970; Smith y Hobbs, 1974). La **Tabla 19** muestra las principales propiedades de los cuatro grupos de *Clostridium botulinum*. Las diferencias en los parámetros de crecimiento y resistencia térmica son mínimas. La importancia de *Clostridium botulinum* en los alimentos *sous vide* reside en su naturaleza anaeróbica (estricta) y habilidad no proteolítica capaz de crecer a temperaturas de refrigeración y formar esporas resistentes al cocinado.

Los tratamientos térmicos empleados en el cocinado *sous vide* son suficientes para destruir las células vegetativas de *Clostridium botulinum*. Un procesado de 70 °C/2 min en el centro del producto permite la destrucción total (AQIS, 1992). Sin embargo, en el caso de la presencia de esporas, este tratamiento no asegura su destrucción. Los valores *D* para las esporas difieren según la

variedad, método de producción de la spora, mecanismo de recuperación y medio de calentamiento. Las esporas de la variedad proteolítica son más resistentes al calor que las no proteolítica. La resistencia térmica de las esporas de la variedad proteolítica tipo A y B se caracterizan por tener valores de  $D_{121^{\circ}\text{C}}$  comprendido entre 0,10-0,20 min (Stumbo, 1973). Si las esporas de la variedad proteolítica sobrevivieran al cocinado *sous vide*, el riesgo sería menor ya que su temperatura de crecimiento mínima es de 10 °C y los alimentos *sous vide* son almacenados en refrigeración a temperaturas inferiores a 2 °C.

**Tabla 19.** Diferentes grupos de *Clostridium botulinum*.

Propiedades	Grupos			
	I	II	III	IV
Tipo de toxina	A, B, F	B, E, F	C, D	G
Proteolisis	SI	NO	Débil	NO
Mínimo pH	4,6	5,0	5,1	-
Máximo pH	9,0	9,0	-	-
Mínima $a_w$	0,93	0,93		
Mín. temperatura	10 °C	2,9 °C	12,8	-
Máx. temperatura	40-50	40-45	-	-
Máxima [NaCl]	10%	4,5-6%		
$D_{100^{\circ}\text{C}}$	25 min	<0.1 min	0,06-2,58	1.34-1,7
Hospedador	Humano	Humano	Animal	?

La variedad no proteolítica tiene una resistencia térmica mucho más baja. A pesar de esto, las esporas podrían sobrevivir a los suaves tratamientos térmicos del cocinado *sous vide* (70-85 °C) y germinar durante el almacenamiento refrigerado. En alimentos con pH 7,0 la resistencia térmica de las esporas de la variedad no proteolítica tipo E y F son similares, con un valor de  $D_{82,2^{\circ}\text{C}}$  de 0,33 y

0,25-0,84, respectivamente (Scott y Bernard, 1982; Lynt y col., 1979). En el caso de las esporas de la variedad no proteolítica de tipo B, existen varias opiniones sobre la resistencia térmica. Algunos autores han establecido una resistencia similar a la variedad no proteolítica de tipo E y F (Moir y Szabo, 1998) y otros mucho más alta, con valores de  $D_{82,2^{\circ}\text{C}}$  de 32,3 min (Scott y Bernard, 1982). Estas diferencias podrían deberse a los diferentes métodos de producción de las esporas y la elección del medio de recuperación. La variedad no proteolítica es el principal peligro microbiológico de los alimentos *sous vide*, por ello la temperatura de almacenamiento recomendada es inferior a 3,3 °C. Aun así, la variedad no proteolítica es capaz de producir la toxina botulínica a partir de 31 días a 3,3 °C (Schmidt y col., 1961). Debido a esto, el código australiano (NSW Health Department, 1998<sup>a, b</sup>) establece la vida comercial de los alimentos *sous vide* en un máximo de 28 días.

El pH, concentración de NaCl y nitritos, presencia de lisozimas y actividad de agua son factores que afectan a la resistencia térmica de las esporas. La resistencia térmica de las esporas de la variedad no proteolítica desciende al aumentar la concentración de NaCl o disminuir el pH (Juneja y col. 1995; Juneja y Eblen, 1995). Por esto, se recomienda niveles adecuados de sal en los platos cocinados mediante la tecnología *sous vide*, ya que las esporas dañadas térmicamente son incapaces de recuperarse a concentraciones de NaCl de 2-3% (w/v) (Juneja y Eblen, 1995). Algunos estudios muestran un incremento en la resistencia térmica de las esporas del grupo II tras la adición de lisozimas (Kralovic, 1973). Este hecho puede ser debido a la habilidad de las lisozimas para inducir la germinación de las esporas dañadas térmicamente (Scott y Bernard, 1985; Peck y col., 1992).

#### 2.4.4.1.b. *Listeria monocytogenes*.

*Listeria monocytogenes* es el principal microorganismo a tener en cuenta en la producción de alimentos cocinados-refrigerados debido a su alta resistencia

térmica, capacidad de crecimiento a bajas temperaturas, amplia extensión en la naturaleza y gravedad de sus enfermedades (Sofos, 1993). Las características de los platos cocinados *sous vide* son idóneas para el crecimiento de este patógeno (Embarek y Huss, 1993). Además, la temperatura y envasado a vacío empleados en el cocinado *sous vide* pueden favorecer la termotolerancia de la bacteria haciéndola más resistente al cocinado (Kim y col., 1994; George y col., 1998; Sergelidis y Abraham, 2008). Una interrupción del cocinado por un fallo mecánico puede también ser suficiente para favorecer su resistencia (Juneja y col., 1998). En estos casos, el cocinado puede ser insuficiente y solamente dañar a la bacteria, permitiendo su recuperación y crecimiento en condiciones de almacenamiento (Knabel y col., 1990). La respuesta del microorganismo al tratamiento térmico depende de varios factores: variedad, tipo de tratamiento térmico y estrés provocado (Lin y Chou, 2004).

Novak y Juneja (2003), registraron en carne picada de ternera, valores de  $D_{60}$  dos veces superior en *Listeria monocytogenes* Scott A en estado de “shock” térmico (45 °C/60 min). También observaron un aumento de la termotolerancia cuando las células fueron enfriadas (4 °C) o congeladas (-20 °C) después del tratamiento térmico y no antes.

La resistencia térmica de *Listeria monocytogenes* es superior a la de cualquier otro patógeno encontrado en los alimentos en su forma vegetativa y ha sido estudiada en diferentes platos cocinados (Ollinger-Snyder y col. 1995; Carlier y col. 1996; Grant y Patterson, 1995; Hansen y Knöchel, 1996; Embarek y Huss, 1993, Bremer y Osborne, 1995). La **Tabla 20** recoge diferentes alimentos donde han sido estudiados la resistencia térmica de *Listeria monocytogenes*, temperatura de cocinado y valor  $D$ . Gaze y col. (1989), estudiaron la resistencia térmica de *Listeria monocytogenes* Scott A y NCTC 11994 en pollo, zanahoria y bistec en un rango de temperatura de horno comprendido entre 60 y 70 °C. NCTC 11994 mostró la mayor resistencia térmica con un valor de 0,27 min en zanahoria a 70 °C. De esta forma, se concluyó un tratamiento de 2 min a 70 °C para alcanzar 6 reducciones decimales.

El tratamiento térmico empleado en el cocinado *sous vide* debe asegurar niveles de *Listeria monocytogenes* inferiores a 100 ufc/g con el fin de garantizar la seguridad de los platos cocinados (SCVPH, 1999). El mínimo tratamiento térmico que asegura la destrucción de *Listeria monocytogenes* en alimentos *sous vide* es de 70 °C durante 2 min (Gaze y col., 1989; Mackey y col. 1990; Mossel y Struijk, 1991; Embarek y Huss, 1993)

**Tabla 20.** Resistencia térmica de *Listeria monocytogenes* en platos cocinados.

Alimento	T <sup>a</sup> cocinado (°C)	D (min)
Carne de cerdo picada	60	1,14-1,7
Jamón cocido	60	0,97-3,48
Carne de ternera cocinada-refrigerada con salsa	65 carne 70 salsa	0,56-0,88 carne 0,37 salsa
Ternera <i>sous vide</i>	64	1,40-1,7
Bacalao <i>sous vide</i>	65	0,27
Salmón <i>sous vide</i>	65	1,18
Mejillones	62	1,85

Otra de las preocupaciones en alimentos *sous vide* es la capacidad de crecimiento de *Listeria monocytogenes* en condiciones de refrigeración, siendo el intervalo de temperaturas más bajo de -0.1 °C a 0,4 °C (Walker y col., 1990). Bell y col. (1995), observaron crecimiento de *Listeria monocytogenes* a 3 °C en bacalao ahumado envasado a vacío o 100% de CO<sub>2</sub>, mientras que a -1,5 °C no fue capaz de crecer en ningún de las dos formas en un máximo de 42 días. También se ha observado un crecimiento a bajas temperaturas en productos vegetales mínimamente procesados. Carlin y col. (1996), observaron crecimiento de *Listeria monocytogenes* en endivias frescas mínimamente procesadas y almacenadas a 3 y 10 °C con un 10 y 50% de CO<sub>2</sub>. El crecimiento se produjo a las dos temperaturas

y concentraciones de CO<sub>2</sub> estudiadas, aunque el crecimiento más rápido se dio a 10 °C y 50% de CO<sub>2</sub> en 7 días.

El envasado a vacío empleado en la tecnología *sous vide* también favorece la termotolerancia de *Listeria monocytogenes* y no es suficiente para inhibir su crecimiento.

#### 2.4.4.1.c. *Bacillus cereus*.

*Bacillus cereus* se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza y es capaz de sobrevivir al procesado de alimentos cocinados debido a la resistencia de sus esporas. Los alimentos *sous vide* y en general los cocinados-refrigerados son sometidos a tratamientos térmico suaves insuficientes para eliminar las esporas de los microorganismos formadores. Mientras la temperatura óptima de crecimiento está comprendida entre 28 y 35 °C (Gilbert, 1979), las variedades psicrófilas de *Bacillus cereus* son capaces de crecer a temperaturas por debajo de 4 °C (van Netten y col., 1990). Por estos motivos, *Bacillus cereus* ha sido aislado en gran variedad de alimentos preparados “listos para comer” (Harmon y Kautter, 1991) y cocinados-refrigerados (van Netten y col., 1990). *Bacillus cereus* puede producir dos tipos de enfermedades: el síndrome emético y diarreico. El primero es debido a la producción de una toxina cíclica cereulida de bajo peso molecular (Agata y col., 1995). El síndrome diarreico es causa de las enterotoxinas producidas durante el crecimiento vegetativo en el intestino delgado (Granum y Lund, 1997). El valor *D* es 18-27 min en un medio nutritivo y a temperatura óptima. El valor de pH límite para que exista crecimiento está comprendido entre 4,9-9,3 y la actividad de agua de 0,95 (Johnson, 1990).

La resistencia térmica de las esporas de *Bacillus cereus* es la principal preocupación de las industrias que emplea la tecnología *sous vide* en la elaboración de sus platos. En líneas generales, la resistencia térmica es similar a la de otros mesófilos formadores de esporas, sin embargo, las cepas son más

resistentes y pueden soportar de 15 a 20 veces más el tratamiento térmico de las más sensibles. Las variedades de *Bacillus cereus* implicadas en toxiinfecciones alimentarias presentan valores de *D* comprendidos entre 1,5 y 36 min (Johnson, 1990). Los factores que afecta la resistencia térmica son el tipo de cepa y la composición físico-química del alimento. De esta forma, alimentos con mayor contenido en grasas o aceites favorecen la resistencia térmica debido al efecto protector. Por otra parte, los alimentos con baja actividad de agua favorecen la resistencia térmica de *Bacillus cereus*, sin embargo, sus esporas son más resistentes a los tratamientos térmicos con calor seco que con calor húmedo. Un estudio realizado en Dinamarca durante el periodo 2000-2003 en un total de 48901 platos precocinados mostró recuentos de *Bacillus cereus* en forma vegetativa por debajo de  $10^3$  ufc/g en un 98,7% de las muestras, el 0,7% estuvo comprendido entre  $10^3$ - $10^4$  ufc/g y el 0,5% superó  $10^4$  ufc/g (Rosenquist y col., 2005).

En la conservación de los platos cocinados *sous vide* también es muy importante tener en cuenta la posibilidad de crecimiento de las variedades psicrófilas de *Bacillus cereus*. El crecimiento y producción de enterotoxinas se ha observado en alimentos refrigerados como leche a 6 °C (Griffiths, 1990), carne picada, lasaña y arroz después de 11-12 días y 24 días a 7 y 4 °C, respectivamente (van Netten y col., 1990).

#### 2.4.4.1.d. *Yersinia enterocolitica*.

*Yersinia enterocolitica* resulta menos preocupante en alimentos *sous vide* ya que se trata de un microorganismo sensible al calor (Lovett y col., 1982) y puede ser destruido efectuando una adecuada pasteurización. Sin embargo, su naturaleza psicrófila y anaerobia facultativa le permite crecer durante el almacenamiento refrigerado. Es importante tener especial cuidado con los alimentos envasados después del cocinado, ya que pueden ser contaminados con *Yersinia enterocolitica* y sufrir un crecimiento durante el almacenamiento. La

contaminación post-cocinado resulta muy difícil en el método *sous vide* puesto que el envase permanece cerrado desde el cocinado hasta el almacenamiento. Aun así, en caso de contaminación, las condiciones de anaerobiosis empleadas en la tecnología *sous vide* tampoco son suficientes para impedir el crecimiento de *Yersinia enterocolitica* durante refrigeración.

Kleinlein y Untermann (1990), estudiaron el crecimiento de *Yersinia enterocolitica* O:3 y O:9 en carne picada de ternera con y sin atmósfera protectora y/o con microflora competitiva. Cuando las muestras fueron envasadas en aerobiosis y con bajos niveles de microflora competitiva ( $<10^2$  ufc/g), *Yersinia enterocolitica* fue capaz de crecer a niveles altos ( $10^7$  ufc/g) en 2, 4 y 14 días a 15, 10 y 4 °C, respectivamente. En estas mismas condiciones pero en presencia de niveles altos de microflora competitiva ( $10^5$  ufc/g), el crecimiento se redujo considerablemente. Por otra parte, una atmósfera de 20% CO<sub>2</sub>/80% O<sub>2</sub> consiguió inhibir el crecimiento durante 14 días a 1 y 4 °C, sin embargo, a 10 y 15 °C no fue capaz.

Hudson y col. (1994), observaron crecimiento en altos niveles ( $>10^7$  ufc/g) de *Yersinia enterocolitica* durante la vida comercial de carne de ternera cocinada y envasada a vacío a -1,5 °C (8 semanas) y 3 °C (3 semanas). También observaron que atmósferas saturadas de CO<sub>2</sub> fueron capaces de inhibir el crecimiento durante el almacenamiento a -1,5 °C.

#### 2.4.4.1.e. Aeromonas.

Se han descrito 14 especies diferentes de *Aeromonas*, muchas de las cuales están asociadas con enfermedades en el hombre. Algunas especies como *A. hydrophila*, *A. caviae*, *A. veronii*, *A. jandaii*, *A. schubertii* y *A. trout* son capaces de producir infecciones gastrointestinales en humanos, aunque las dosis no se conocen (Kirov, 1997). Igual que ocurría en *Yersinia enterocolitica*, las diferentes aeromonas son fácilmente destruidas durante el cocinado. Tratamientos térmicos



con valores  $D_{51}$  de 1,2-2,3 min (ICMSF, 1996) son suficientes para inactivar las distintas especies. Las aeromonas son organismos principalmente acuáticos y han sido detectados en aguas residuales e incluso cloradas. La presencia en la industria de zonas contaminadas, con alto contenido en humedad, pueden ser un lugar idóneo para su proliferación.

Hudson y Mott (1993), registraron un aumento de 4,5 log en *A. hydrophila* desde una población inicial de  $10^2$  ufc/g en carne de ternera cocinada y almacenada a vacío 12 días a 5 °C. Existen evidencias de que atmósferas saturadas de CO<sub>2</sub> producen una reducción en los tiempos de generación en el caso de *A. hydrophila* (Hudson y col. 1994).

#### 2.4.4.2. Estrategias para evitar riesgos microbiológicos.

Los tres factores que determinan la seguridad microbiológica de los alimentos cocinados al vacío son: la intensidad del tratamiento térmico, la rapidez de enfriamiento y las condiciones de almacenamiento (temperatura y tiempo). La estabilidad y seguridad de los alimentos *sous vide* se basa fundamentalmente en la refrigeración. Sin embargo, frecuentemente se observan fluctuaciones de temperatura en cámaras frigoríficas comerciales (ICMSF, 1998), así como, en frigoríficos domésticos (Torrey y Marth, 1977). Estudios realizados en Reino Unido indican una variación de temperatura comprendida entre 4,5 y 30,5 °C en frigoríficos domésticos (James y Evans, 1992) y estudios similares realizados en China han registrado temperaturas superiores a 14 °C (Shixiong y Jing, 1990). Por esta razón, la Federación Europea de Alimentos Refrigerados “Botulism Working Party” ha establecido la necesidad de métodos adicionales para asegurar 6 reducciones decimales en la variedad no proteolítica de *Clostridium botulinum* en los alimentos *sous vide* (Gould, 1999). Varias son las estrategias desarrolladas (físicas, químicas y biológicas) con el objetivo de mejorar la seguridad y ampliar así la vida comercial de los alimentos *sous vide* (ver **Tabla 21**).

**Tabla 21.** Elementos barrera adicionales para asegurar la inocuidad y ampliar la vida comercial de los alimentos *sous vide*.

<b>Barrera</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Desventaja</b>
<b><i>Física</i></b>		
Calentamiento adicional	Efectividad similar a la esterilidad.	Inferior calidad.
Irradiación	Posibilidad de realizarlo en el envase. Escasa pérdida de nutrientes.	Rechazo del consumidor. Elevado coste. Envasado especial. Prohibido en España.
Atmósfera modificada	Inhibe la oxidación y el deterioro microbiológico.	Poco eficaz frente a patógenos.
Presión hidrostática	Posibilidad de realizarlo en el alimento envasado.	Resistencia de esporas. Posible efecto en la estructura del alimento.
<b><i>Química</i></b>		
pH, NaCl y especias	Bajo coste.	Afecta a la características sensoriales y a los requerimientos nutricionales.
Lactato	Estable al calor. Efectividad contra microorganismos formadores de esporas.	Afecta a la calidad sensorial. No inhibe <i>Bacillus cereus</i> .
<b><i>Biológica</i></b>		
Bacteriocinas	Muchas son estables al calor. Efectividad contra microorganismos formadores de esporas.	Resistencia adquirida por patógenos. Descomposición durante el almacenamiento. Efecto inhibitor poco consistente.
Cultivos protectores	Sensible a cambios de temperatura. Efectividad contra microorganismos formadores de esporas. Potencial efecto prebiótico	Sensibilidad térmica. Pérdida de la habilidad para producir bacteriocinas. Elevado coste de cultivos protectores

#### 2.4.4.2.a. Irradiación.

Desde el punto de vista nutricional, la irradiación es un método de conservación equivalente o superior al tratamiento térmico (Shamsuzzaman y col., 1995; Thayer y col., 1998). En la industria alimentaria, la irradiación puede emplearse como pasteurización (radurización) o esterilización (radapertización). En el primero caso, el empleo de dosis bajas (1-10 KGy) permite la inactivación de bacterias pero no de sus esporas y en el segundo caso, se consigue asegurar la eliminación de *Clostridium botulinum*. Dosis máximas de 10 KGy representan una cantidad pequeña de energía, equivalente a la necesaria para aumentar 2,4 °C la temperatura del agua, por ello, no se considera una tecnología térmica (Ahn y col., 2006).

Las radiaciones ionizantes empleadas son capaces de romper los enlaces en la molécula de ADN microbiano, aunque también puede afectar a la síntesis de ADN y ARN, al mismo tiempo, que producen desnaturalización de enzimas y alteraciones en la membrana celular. La eficacia del tratamiento depende de la sensibilidad de los microorganismos, características extrínsecas (pH, temperatura, etc.) e intrínsecas del alimento (contenido en grasa, sal, aditivos, etc.). Condiciones de baja actividad de agua y temperatura favorecen la resistencia, mientras que la presencia de oxígeno fortalece la acción de la irradiación.

La eficacia de la irradiación de platos preparados ha sido estudiada por numerosos autores (Farkas, 1998; Sommers y col., 2004) debido a que la irradiación previa al cocinado puede aumentar la sensibilidad de los microorganismos patógenos al tratamiento térmico (Grant y Patterson, 1995). Kim y Foegeding (1992), mostraron una resistencia a la irradiación ligeramente menor en *Clostridium botulinum* no proteolítica con respecto a la variedad proteolítica. Por otra parte, Grant y Patterson (1992), mostraron que *Bacillus cereus* fue sensible a la radiación ( $D_{10} = 0,126-0,288$  KGy) en alimentos cocinados a base de carne de ternera. En *Listeria monocytogenes*, Thayer y col. (1998), observaron diferencias en la efectividad de la irradiación en función del estado del alimento.

En concreto, el estudio se realizó en carne de pavo y los resultados fueron diferentes según estuviera cocinada o cruda y en forma de pechuga o carne picada. Niveles de irradiación de 2-3 KGy pueden prevenir el deterioro de alimentos cocinados-refrigerados y almacenados durante 15 días a 2-3 °C, pero al mismo tiempo, afectan al color, apariencia y textura de los alimentos de origen vegetal (McAteer y col., 1995).

El efecto negativo sobre la calidad sensorial, elevado coste de las instalaciones, necesidad de diseñar un material de envasado especial y el fuerte rechazo de los consumidores a los alimentos irradiados, hacen poco viable esta estrategia. En España, según el Real Decreto 348/2001 que regula la elaboración, comercialización e importación de productos alimenticios e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes, sólo se permite la irradiación en hierbas aromáticas secas, especias y condimentos vegetales en dosis media de 10 KGy.

#### 2.4.4.2.b. Empleo de altas presiones hidrostáticas.

El empleo de altas presiones hidrostáticas en los alimentos permite inactivar microorganismos y mejorar la seguridad de los mismos. Los alimentos son sometidos a presiones (100-900 MPa) mediante agua, transmitiéndose hasta el centro del producto de forma isostática, sin depender del tamaño y geometría del producto. El tratamiento no se considera un proceso térmico, produciendo un aumento de sólo 3 °C cada 100 MPa. La presión aplicada produce daño en las membranas celulares de los microorganismos produciendo cambios en la permeabilidad, en los sistemas de transporte, pérdida de respuesta osmótica y desequilibrio de pH. La inactivación depende del tipo de microorganismo y de su fase de crecimiento, presión aplicada, tiempo, composición del alimento, temperatura, pH y actividad de agua (Tewari y col., 1999). También puede producir inactivación de enzimas y cambios en la interacción sustrato-enzima (Butz y Tauscher, 2002). Este tratamiento es respetuoso con las vitaminas y la

mayoría de compuestos responsables del sabor, produciendo mínimas modificaciones sensoriales (Aymerich y col., 2008).

Carpi y col. (1995), observaron un aumento en la vida comercial (de 60 a 180 días) de crema de salmón ahumado inoculada con patógenos y almacenada a 3 u 8 °C al aplicar presiones de 700 MPa durante 3 min.

El intervalo de presiones empleado en la conservación de alimentos es efectivo frente a microorganismos en su forma vegetativa, pero requiere mayores presiones (> 1000 MPa) para destruir sus esporas, necesitando la combinación con otros métodos como suaves tratamientos térmicos o irradiación (Gould y Jones, 1989). De esta forma, Mayer (2000), observó que combinando tratamientos térmicos de 70 °C con el empleo de altas presiones hidrostáticas superiores a 530 MPa con pausas entre dos o más ciclos, se conseguía alcanzar valores 12D para *Clostridium botulinum*.

Esta tecnología es bien recibida entre los consumidores de la Unión Europea con más de un 67% de aceptabilidad en Francia, Alemania y Reino Unido (Baron y col., 1999) pero su elevado coste (14 €/Kg) (Anon, 2002) lo hace inviable para ayudar a la tecnología *sous vide* a obtener productos más seguros.

#### 2.4.4.2.c. Adición de ácidos, sal y especias.

Los ingredientes que conforman los platos *sous vide* pueden ayudar a mejorar su conservación. Wong y Chen (1988), clasificaron sales de ácidos orgánicos según su eficacia para inhibir la germinación de esporas de *Bacillus cereus* llegando a la conclusión: formato > lactato > acetato. En la inhibición de la variedad no proteolítica de *Clostridium botulinum*, ácido acético y láctico fueron menos efectivos que el ácido cítrico y el sorbato (Stringer y Peck, 1999).

Actualmente, los consumidores demandan productos más naturales sin aditivos químicos. Aceites obtenidos de especias, son aditivos naturales con actividad antibacteriana, capaces de inhibir el crecimiento de *Clostridium botulinum* (Ismael y Pierson, 1990<sup>a</sup>). Clavo, canela y aceite de orégano (150-200 ppm) fueron los más efectivos y ajo y cebolla los que menos (De Witt y col., 1979; Ismael y Pierson, 1990<sup>b</sup>). El efecto fue reversible después de eliminar el aceite de especias, mostrando así un efecto esporoestático. El carvacrol, presente en orégano y tomillo, es capaz de inhibir las células vegetativas de *Bacillus cereus* (Ultee y col., 1999). Concentraciones superiores a 1 mM pueden emplearse en productos contaminados con *Bacillus cereus* como arroz, pasta, sopas, etc. El destilado de rábano picante puede ser utilizado a nivel superficial en carnes cocinadas para controlar la contaminación post cocinado. Este destilado empleado a determinadas concentraciones es capaz de inhibir *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Serratia grimesii* y *Lactobacillus sake* en ternera cocinada y almacenada a 12 °C (Ward y col., 1998).

El empleo de este tipo de sustancias resulta económico y fácil de combinar con el cocinado *sous vide*, siendo una estrategia interesante cuando se utiliza en concentraciones inferiores al umbral de detección sensorial.

#### 2.4.4.2.d. Adición de lactato sódico.

El lactato sódico es uno de los aditivos químicos más estudiados en platos cocinados *sous vide* por su efectividad frente a microorganismos formadores de esporas, siendo capaz de retrasar la formación de la toxina botulínica (Rybka-Rodgers, 2001). La adición de lactato sódico en concentraciones de 1,8-4,8% retrasó la formación de la toxina botulínica a 12-16 °C en ternera, pollo y salmón *sous vide*, aumentando su efecto inhibitor y reduciendo a 4 °C la temperatura de almacenamiento (Meng y Genigeorgis, 1994). Simpson (1994), también observó un efecto inhibitor de lactato sódico, en este caso sobre la esporas de *Clostridium*

*botulinum* tipo E, pero en menor grado que NaCl. Por otra parte, Turner y col. (1996), no encontraron efecto inhibitor del lactato sódico sobre el crecimiento de *Bacillus cereus* a 10 °C en pechuga de pollo *sous vide* inoculada con esporas de *Bacillus cereus* previamente al tratamiento térmico.

El principal inconveniente del empleo de lactato sódico en productos *sous vide* reside en los cambios producidos en las características sensoriales del alimento. Turner y Larick (1996), observaron cambios en el color, dando lugar a la aparición de un color amarillo, en la adición de lactato sódico en pechuga de pollo *sous vide*.

#### 2.4.4.2.e. Bioconservantes.

El empleo de bioconservantes en alimentos *sous vide* implica el uso de agentes naturales con el objetivo de ampliar la vida comercial y minimizar los riesgos microbiológicos de los platos cocinados. Bacteriocinas y cultivos protectores son los bioconservantes más estudiados. Bacteriocinas son péptidos sintetizados ribosómicamente o proteínas con actividad antimicrobiana, producidas por diferentes grupos de bacterias (Jack y col., 1995). Las bacteriocinas pueden adicionarse mediante preparados concentrados o inoculando variedades productoras en condiciones favorables (Schillinger y col., 1996; Stiles, 1996). Nisina es la única bacteriocina de adición exógena reconocida por la legislación como conservante alimenticio (E-234). Por otra parte, la adición de cultivos productores de bacteriocinas está más extendida en productos fermentados, aunque también puede ser empleados en alimentos no fermentados, como los productos *sous vide*, actuando como cultivos protectores. Estos podrían crecer durante el almacenamiento refrigerado y producir bacteriocinas y/o durante condiciones de temperaturas abusivas. En el primer caso, el crecimiento de los cultivos protectores no tendría un impacto negativo sobre las características físico-químicas y organolépticas del producto, mientras que en el segundo caso, se convertirían en la principal microflora alterante dando lugar a alimentos no aptos

para el consumo (Holzapfel y col., 1995). La eficacia de las bacteriocinas depende de factores como pH, temperatura, composición, estructura y microflora del alimento (Gálvez y col., 2007).

Scott y Taylor (1981), mostraron la sensibilidad a nisina de diferentes variedades de *Clostridium botulinum* (56A < 69A < 113B + 213B < Beluga E < Minnesota E), efecto del pH (a pH 6 fue más efectivo que a pH 7 y 8) y la carga de esporas (máyor efecto inhibitor a  $10^2$  que a  $10^3$  o  $10^4$  ufc/ml). Otras bacteriocinas, como Periocina AcH, son capaces de inhibir *Clostridium botulinum* tipo E pero no tipo A y B (Ray, 1994) y también *Listeria monocytogenes* a 2400 AU/g en carne de pollo cruda y cocinada (Goff y col., 1996). Farkas y col. (2002), estudiaron el efecto combinado de nisina con tratamiento térmico (90 °C, 10 min) e irradiación gamma (5 KGy) en alimentos *sous vide* inoculados con esporas de *Bacillus cereus* observando una reducción notable en el número de supervivientes en 42 días de almacenamiento a temperatura elevada (10 °C).

Los cultivos protectores empleados en la conservación de alimentos son capaces de producir sustancias con carácter antibacteriano cuando se producen temperaturas elevadas durante el almacenamiento. Por ejemplo, *Lactobacillus bavaricus* y *Enterococcus faecium* inhiben *Listeria monocytogenes* en ternera *sous vide* (Winkowski y col., 1993) y *Clostridium botulinum* en pescado *sous vide* (Embarek y col., 1994). El mecanismo de acción de los diferentes cultivos protectores puede ser muy diferente. Por ejemplo, *Lactococcus lactis* inhibe *Clostridium botulinum* por producción de bacteriocinas, mientras que *Lactobacillus delbrueckii* de la subespecie *bulgaricus* mediante la generación de peróxido de hidrógeno (estudiado en carne de pollo) (Saleh y Ordal, 1955), por otra parte, el poder antibacteriano de *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 es debido a la reducción de pH (estudiado en sopa de guisantes refrigerada) (Skinner y col., 1999).

La composición y estructura del alimento puede afectar a la producción de sustancias inhibitoras y su actividad biológica. La mayoría de cultivos protectores



son bacterias ácido lácticas procedentes de productos fermentados. El principal problema del empleo de cultivos protectores es la variabilidad del poder inhibidor y la sensibilidad de los microorganismos protectores a los tratamientos térmicos, además de su elevado coste.

Como conclusión, la posibilidad de realizar un doble tratamiento térmico, irradiación, adición de lactato, sal y agentes acidificantes afectan a la calidad sensorial, estructural o nutricional de los alimentos o son considerados no naturales por los consumidores. Por otra parte, el envasado en atmósfera modificada y el empleo de altas presiones hidrostáticas no resultan efectivos contra microorganismos formadores de esporas. También, el efecto antimicrobiano de determinadas sustancias naturales depende específicamente del tipo de alimento y su empleo resulta muy limitado. Por último, bacteriocinas y cultivos protectores no tienen los inconvenientes mencionados anteriormente, sin embargo, la pérdida del efecto inhibidor y la carencia de aplicaciones prácticas implica la necesidad de nuevas investigaciones que permitan desarrollar estrategias con el fin de mejorar la seguridad de los platos cocinados *sous vide*.

#### 2.4.5. Deterioro de los productos *sous vide*.

##### 2.4.5.1. Microbiológico.

El deterioro microbiológico es uno de los factores limitantes en la vida comercial de carnes y pescados cocinados *sous vide* (Simpson y col., 1994; Hansen y col., 1995; Nyati, 2000; Wang y col., 2004). El número y tipo de microorganismos, principalmente bacterias, presentes y su posterior crecimiento durante el almacenamiento, determinan el deterioro y vida comercial del producto cocinado.

La población inicial de bacterias mesófilas en carne y producto cárnicos se encuentra entre  $10^2$  y  $10^3$  ufc/g y está formada por una gran variedad de especies

(Jackson y col., 1992). Sólo el 10% de la población inicial de bacterias son capaces de crecer a temperaturas de refrigeración y un porcentaje muy pequeño son las causantes del deterioro. El cocinado es capaz de destruir la mayor parte de células vegetativas pero una posible recontaminación del producto tras el tratamiento térmico puede afectar al deterioro microbiológico y, por tanto, a su vida comercial. Mäkelä y Korkeala (1987) y Dykes y col. (1991), mostraron una destrucción total de lactobacilos con el tratamiento térmico empleado en la fabricación de salchichas, sin embargo, el producto se deterioró durante el almacenamiento debido a la recontaminación posterior. La superficie de corte en carnes y pescado es la zona más propensa a contaminaciones, sin embargo, los productos *sous vide* permanecen envasados desde el cocinado hasta su almacenamiento impidiendo así una posible recontaminación.

Durante el almacenamiento, la temperatura, atmósfera gaseosa y composición del producto seleccionan el crecimiento de diferentes bacterias, su actividad y velocidad de crecimiento.

El procesado de los alimentos *sous vide* se caracteriza por un envasado a vacío o atmósferas modificadas (20% CO<sub>2</sub> y 80% N<sub>2</sub>) que impide el deterioro causado por microorganismos aerobios como *Pseudomonas* spp. (Gil y Molin, 1991). Varios autores muestran resultados contradictorios sobre la extensión de la vida comercial de los productos cárnicos cocinados envasados en atmósfera modificada con respecto a los envasados a vacío. Mientras que algunas investigaciones indican que el envasado en atmósfera modificada es capaz de ampliar la vida útil (Simard y col., 1983; Boerema y col., 1993), otros muestran resultados contrarios (Blickstad y Molin, 1983; Ahvenainen y col., 1989; Borch y Nerbrink, 1989). Estas condiciones de microaerofilia favorecen el crecimiento de bacterias ácido lácticas (von Holy y col., 1991), convirtiéndose en el principal causante del deterioro microbiológico de la carne (Borch y col., 1996; Korkeala y Björkroth, 1997) y pescado (Ben Embarek y col., 1994) *sous vide*. Una atmósfera de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> también limita el crecimiento de enterobacterias, *B. thermosphacta* y levaduras (Blickstad y Molin, 1983; Simard y col., 1983; Borch y Nerbrink,

1989). La permeabilidad de los plásticos empleados en los envases repercute en la vida comercial (Newton y Rigg, 1979), posibilitando el crecimiento de *Pseudomonas* spp.

Otras bacterias psicrófilas también pueden crecer durante el almacenamiento refrigerado de los productos *sous vide*, ya que las temperaturas de conservación están comprendidas entre 2-3 °C y la temperatura mínima de crecimiento para estos microorganismos es de -3 °C (Gil y Mollin, 1991). Nyati (2000) y Wang y col. (2004), también observaron crecimiento de mohos y levaduras en pescados y carnes cocinadas *sous vide* conservadas en refrigeración.

#### 2.4.5.1.a. Bacterias ácido lácticas.

Las condiciones de envasado de los alimentos *sous vide* hacen que las bacterias ácido lácticas sean el principal grupo responsable del deterioro microbiológicos de los alimentos cocinados. Este predominio no se ve afectado por el empleo de bajas temperaturas durante el almacenamiento, sin embargo, sí se observa un descenso en la velocidad de crecimiento.

La flora láctica predominante es *Lactobacillus* spp. y *Leuconostoc* spp., aunque *Weissella viridescens*, *Carnobacterium divergens*, *C. maltaromicus* y *B. thermosphacta* también han sido aisladas (Borch y col., 1996). *Weissella viridescens* es capaz de resistir el tratamiento térmico y deteriorar los alimentos cocinados durante su almacenamiento (Borch y col., 1988).

Las bacterias ácido lácticas pueden producir cambios sensoriales y físicos en productos cocinados envasados a vacío (Korkeala y Björkroth, 1997). Los cambios físicos, exudado e hinchamiento del envase, se producen durante el almacenamiento del producto. Sin embargo, los cambios sensoriales aparecen mucho más tarde cuando las bacterias alcanzan una fase de crecimiento estacionaria (Korkeala y Alanko, 1988; Korkeala y col., 1989). La **Tabla 22**

muestra los mecanismos de deterioro causados por el crecimiento de bacterias ácido lácticas en alimentos cocinados y envasados a vacío.

Las bacterias ácido lácticas producen principalmente ácido láctico y acético durante la fase de crecimiento y especialmente en la fase estacionaria (Kempton y Bobier, 1970; Reuter, 1975). La acumulación de estos ácidos produce un descenso de los valores de pH y la aparición de olores y sabores ácidos o agrios (Gardner, 1983). El tipo de ácido y sus niveles dependen de la especie y condiciones de crecimiento de la bacteria (Borch y Molin, 1988; Borch y Molin, 1989; Borch y col., 1991). Se han observado un descenso de pH desde valores iniciales de 6,1 a finales de 4,6 en salchichas envasadas a vacío (von Holy y Holzapfel, 1989).

La acumulación de fluidos en el envase, durante el almacenamiento del producto, da lugar a exudados viscosos y blanquecinos causados por *Lactobacillus* spp. y *Leuconostoc* spp. (Korkeala y col., 1988; von Holy y col., 1991; Dykes y col., 1994). Durante el almacenamiento, también se produce un hinchamiento del envase debido a la acumulación de CO<sub>2</sub> resultante de los procesos heterofermentativos de lactobacilos y leuconostocs (Ahvenainen y col., 1989; Korkeala y Lindroth, 1987; Korkeala y col., 1987).

La importancia de las bacterias ácido lácticas en el deterioro de los alimentos *sous vide* hace esperar que puedan ser utilizadas como indicadores microbiológicos del deterioro. Sin embargo, la correlación entre los recuentos y el deterioro sensorial no es muy precisa (Korkeala y col., 1987), aunque han sido utilizados como indicadores del deterioro en estudio de vida comercial de alimentos *sous vide* (Simpson y col., 1994). Para mayor seguridad, deben acompañarse de otros indicadores químicos como *D*-lactato, 3-hidroxibutanona, tiramina, porcentaje de ácido láctico, pH y composición de espacio de cabeza (Korkeala y col., 1987; De Pablo y col., 1989; Simpson y col., 1994; Yano y col., 1995).

**Tabla 22.** Tipos de deterioro causados por crecimiento de bacterias ácido lácticas en alimentos cocinados y envasados a vacío.

<b>Tipo</b>	<b>Detección</b>	<b>Causa</b>
Acidez	Análisis sensorial (agriado), pH	Variedad de bacterias ácido lácticas
Formación de gas	Inspección visual (hinchamiento del envase)	Variedad de bacterias ácido lácticas
Exudado viscoso y blanquecino	Inspección visual (aparición)	Heterofermentativas <i>Lactobacillus</i> spp. y <i>Leuconostoc</i> spp.

#### 2.4.5.1.b. Mohos y levaduras.

La mayoría de mohos crecen a valores de actividad de agua superior a 0,8 mientras que unos pocos, mohos xerofílicos, son capaces de hacerlo a valores de 0,65. Las pérdidas por crecimiento de mohos en alimentos puede variar entre 1 y 5% dependiendo de la época, tipo de producto y método de procesado (Malkki y Rauha, 1978). Los problemas relacionados con este tipo de deterioro se incrementan en los meses de verano por la mayor humedad y contaminación del aire. Es importante un control de la temperatura de refrigeración en esa época con el fin de evitar condensaciones de vapor en el interior del recipiente y favorecer así su crecimiento.

El deterioro de los alimentos por la acción de levaduras puede manifestarse de dos formas: por crecimiento visible en la superficie del producto (manchas blancas o rosas) y por procesos fermentativos que implican la aparición de olores extraños (formación de alcoholes y esteres) y alteración del envase (producción de gas) (Legan y Voysey, 1991). El crecimiento superficial de levaduras ocurre principalmente en alimentos con valores altos de actividad de

agua y una vida comercial corta, mientras que los procesos fermentativos se manifiestan en alimentos con baja actividad de agua y vida comercial más larga.

#### 2.4.5.2. Físico-químico.

Durante el almacenamiento refrigerado se producen diferentes cambios físicos y químicos que afectan a la aceptación final de los alimentos cocinados (Smith y Simpson, 1995).

El principal síntoma de deterioro físico que sufren los alimentos cocinados durante su almacenamiento es la pérdida de humedad, independientemente de su contenido inicial. Para evitarlo, es necesario el uso de plásticos o *films* con baja permeabilidad al vapor de agua, como polietileno de baja densidad (LDPE) o polipropileno orientado (OPP). Sin embargo, el empleo de estos plásticos puede producir en ocasiones crecimiento de mohos en alimentos con alto contenido en humedad. El resultado de la pérdida de humedad afecta a la textura de los alimentos, volviéndose más secos y duros. Por ejemplo, el contenido óptimo de humedad en la pasta es de 10-11% que equivale a una actividad de agua de 0,44 (Labuza, 1982). Si la humedad desciende por debajo del 6%, la pasta se vuelve más frágil y de calidad inaceptable. Por el contrario, si la humedad llega a niveles de 14-16% se produce crecimiento de mohos y la retrogradación (recristalización) del almidón.

Los procesos oxidativos determinan cambios indeseables en el sabor, olor, color y textura que limitan la aceptación de carnes y pescados (Grigioni y col., 2000; Vaudagna y col., 2002; Wang y col., 2004; Campo y col., 2006; Losada y col., 2007; Salam y col., 2007). Los olores y sabores que surgen como consecuencia de la oxidación de lípidos se conocen comúnmente como rancidez y se diferencian dos tipos: rancidez oxidativa e hidrolítica. La primera implica la rotura de ácidos grasos insaturados a través de un mecanismo de autólisis de radicales libres inducido por oxígeno. Como resultado de este proceso, se forman

compuestos causantes de olores desagradables como aldehídos, cetonas y ácidos grasos de cadena corta. La determinación de sustancias reactivas con el ácido tiobarbitúrico (TBARs) se utiliza frecuentemente para evaluar la eficacia de diferentes métodos diseñados para reducir o retrasar la oxidación en alimentos (Grigioni y col., 2000; Campo y col., 2006). Por otra parte, la rancidez hidrolítica, a diferencia de la oxidativa, ocurre en ausencia de oxígeno y es resultado de la hidrólisis de triglicéridos y su consecuente liberación de glicerol y ácidos grasos de cadena corta causantes de olores desagradables. La humedad y enzimas endógenas (lipasas, lipoxigenasas y lipoxidasas) presentes en los alimentos favorecen este proceso.

La mayoría de pigmentos que proporcionan color en carnes y pescados están formados por grupos prostéticos con iones hierro, sin embargo, es sustituido por cobre en moluscos y crustáceos. Los carotenoides, astaxantina y cantaxantina, son otro tipo de pigmentos de naturaleza no hemo, presentes también en pescado y sobre todo en alimentos de origen vegetal. Los radicales libres y peróxidos formados durante la oxidación química y enzimática de lípidos son capaces de oxidar estos pigmentos produciendo decoloración en el producto (Smith, 1992). Los pigmentos del pescado no se alteran considerablemente y mantienen su color original durante la mayor parte del periodo de conservación. Sin embargo, cuando se emplean atmósferas ricas en CO<sub>2</sub> (100%) se observa una decoloración y un incremento en la opacidad, siendo necesario la mezcla con otros gases.

Aparte de las implicaciones que presenta sobre el deterioro sensorial del producto, la oxidación de lípidos tiene repercusión sobre las propiedades nutricionales por destrucción de vitaminas (A y E) y rotura de proteínas (Smith, 1992).

El envasado en ausencia de oxígeno empleado en el cocinado *sous vide* retrasa la oxidación de lípidos responsables de la aparición de olores y sabores a rancio durante el almacenamiento refrigerado (Church y Parsons, 1993).

#### 2.4.5.3. Enzimático.

El deterioro de carnes y pescados también es debido a reacciones catalizadas por enzimas endógenas que pueden darse en múltiples pasos o en uno sólo. La **Tabla 23** muestra diferentes reacciones en cadena y enzimas endógenas que actúan en una única etapa y que afectan directamente al deterioro de carnes y pescados.

La primera fase del deterioro del músculo es debida a reacciones hidrolíticas catalizadas por enzimas endógenas que generan productos secundarios y degradan las proteínas musculares, favoreciendo la proliferación de bacterias y la pérdida de calidad sensorial. Son de gran importancia, entre este tipo de reacciones, la oxidación y la proteólisis.

La oxidación hidrolítica está catalizada por lipasas y lipoxigenasas, enzimas resistentes al tratamiento térmico, que catalizan la oxidación de ácidos grasos insaturados, produciendo peróxidos y compuestos volátiles estables al calor (Smith, 1992). Las lipoxidasas también son capaces de oxidar los lípidos en presencia de luz y tienen una mayor importancia en alimentos con mayor contenido en grasas.

La proteólisis hidrolítica tiene gran importancia por ser causante de algunos de los cambios producidos en la textura durante el almacenamiento de la carne y el pescado. Las enzimas proteolíticas que catalizan este tipo de reacciones son principalmente las calpaínas y catepsinas. La **Tabla 24** muestra los diferentes enzimas proteolíticos, su localización y pH óptimo. Las calpaínas son proteasas dependientes de Ca y se diferencian las calpaínas I y II, dependiendo de la concentración de Ca que requieren para su activación. La acción proteolítica de estas enzimas se centra sobre troponina T, troponina I, tropomiosina, alfa-actinina, titina, nebulina y desmina, sin embargo, no interviene en la degradación de miosina y actina. Por otro lado, las catepsinas son enzimas que se encuentran en los lisosomas e intervienen en la degradación de proteínas, polisacáridos y lípidos,



además de otros compuestos, ya que los lisosomas están relacionados con la digestión intracelular. Cuando las condiciones de temperatura y pH son las idóneas, las catepsinas son capaces de degradar las proteínas miofibrilares e incluso la miosina.

Las catepsinas y las calpaínas tienen una acción proteolítica conjunta sobre las proteínas miofibrilares, dando lugar a un ablandamiento de la fibra muscular. Este ablandamiento puede ser positivo en determinados productos cárnicos, sin embargo, el ablandamiento no es deseable en el pescado.

El ablandamiento inicial en determinadas especies de pescado está asociado a la destrucción del tejido conectivo y en general a la desnaturalización del colágeno. El deterioro progresivo de la textura del pescado durante el almacenamiento, favorece el ataque de las enzimas presentes. Serán proteasas y catepsina L son las principales colagenasas que intervienen en la degradación del colágeno y afectan a los tipos I, IV y V, actuando como iniciadores de las reacciones en cadena (Bremner, 1993).

No todas las enzimas presentes en la carne y el pescado tienen una actividad hidrolítica, por ejemplo, las fosfolipasas han mostrado tener un efecto inhibitorio en la peroxidación de lípidos mediante la formación de complejos de Fe con ácidos grasos liberados de la hidrólisis de los fosfolípidos de membrana (Aarhus y Dugan, 2004). Otras enzimas como superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa también han demostrado tener una actividad antioxidante en el músculo.

**Tabla 23.** Conjunto de reacciones en cadena y enzimas endógenas que actúan en una única etapa y que afectan directamente al deterioro de carnes y pescados (Haard, 2003).

<b>Contribución al deterioro</b>		
Ácido glicogenolítico + H <sub>2</sub> O	RCE	Está asociada al descenso del pH, directamente con la capacidad de retención de agua y desnaturalización de proteínas e indirectamente con la calidad de la <b>carne</b> .
ATPhipoxantina	RCE	La velocidad y extensión del catabolismo del ATP influye en la calidad de la <b>carne</b> . La aceptabilidad del <b>pescado</b> está directamente relacionada con la acumulación de hipoxantina.
Fosfolipidaldehídos, cetonas y radicales libres	RCE	La cascada de lipoxigenasa puede disminuir la cantidad de nutrientes esenciales y causar olores y sabores desagradables en <b>carne</b> y <b>pescado</b> .
Colagenopéptidos y aminoácidos	RCE	La degradación postmortem del colágeno es catalizada por una familia de enzimas y puede influir en la integridad física, apariencia y producción del <b>pescado</b> .
Tiaminasa fosfolipasa	EE	Pérdida de tiamina en productos de <b>pescado</b> fermentado. Liberación de ácidos grasos en productos de <b>pescado</b> congelado causando desnaturalización de las proteínas del músculo y deterioro de la textura.
Trimetilamina óxido dimetilasa	EE	Liberación de formaldehído en <b>pescado</b> congelado que contribuye a la agregación proteica y deterioro de la textura.

**RCE:** Secuencia de reacciones catalizadas por enzimas; **EE:** Enzimas endógenas

**Tabla 24.** Principales enzimas proteolíticas, su localización celular y pH óptimo (Quali, 1992).

	<b>Enzimas</b>	<b>Localización</b>	<b>pH óptimo</b>
Calpaínas	Calpaína I	Citosol	7,0-7,5
	Calpaína II		
Catepsinas	Catepsina D	Lisosomas	5,0-6,0
	Catepsina B		
	Catepsina L		
	Catepsina H		

#### 2.4.5.4. Sensorial.

El olor característico de cada alimento es debido a una compleja mezcla de compuestos químicos volátiles (Maul, 1998; Pearce y Gardner, 1998). El crecimiento microbiano y las reacciones químicas producen olores y sabores desagradables que determinan la aceptación y vida comercial de los alimentos.

La carne y pescado cocinado y almacenado en refrigeración desarrolla olores y sabores oxidados o WOF (warmed over flavour) que determinan su calidad sensorial (Tims y Watts, 1958). Este término se caracteriza por olores y sabores descritos comúnmente como “rancio”, “acartonado”, “ácido” o “amargo” (Love, 1988; St. Angelo y col., 1987). Operaciones de picado, restructuración o cocinado de la carne afectan a las membranas de las fibras musculares y favorecen la aparición de estos olores y sabores desagradables (Mann y col., 1989; Mielche, 1995; St. Angelo, 1996). Esta alteración se considera la principal causa de deterioro sensorial de carnes y productos cárnicos cocinados y refrigerados (Hansen y col., 1995; Mason y col., 1990).

Varios autores han estudiado el desarrollo de atributos WOF debido al incremento en los niveles de TBARs en varios tipos de carne (Asghar y col.,

1988; St. Agelo y col., 1988) y se ha observado una correlación entre los valores de TBARs y las puntuaciones recibidas por un panel sensorial (Mielche y Bertelsen, 1993; Stapelfeldt y col., 1993). Por ejemplo, White y col. (1988), determinaron los niveles mínimos de TBARs para los cuales son detectados significativamente los olores y sabores WOF en carne precocinada y almacenada. Campo y col. (2006), observaron mediante el empleo de un olfatómetro la aparición de olores WOF y su relación con los niveles de TBARs en carne cocinada *sous vide* y almacenada durante 20 días.

Armstrong y McIlveen (2000), estudiaron el deterioro sensorial durante el almacenamiento refrigerado de dos productos cárnicos *sous vide*, salsa boloñesa y carne de pollo con salsa. El deterioro sensorial del primero afectó principalmente al color y sabor del producto y también a la textura de los vegetales. En menor medida, se produjo una pérdida de textura de la carne volviéndose menos jugosa. Durante el almacenamiento aparecieron olores y sabores desagradables que afectaron a la calidad global del producto, aunque fue la apariencia la que tuvo un mayor peso en la aceptación total. La apariencia fue más aceptable en los primeros 20 días, después, el producto mostró un color rojo más brillante, una viscosidad más ligera y una aglomeración de las partículas. El deterioro sensorial de carne de pollo con salsa *sous vide* sólo produjo cambios mínimos en el color, sin embargo, no afectaron a la calidad de la carne y del producto en general. De esta forma, la vida comercial de ambos productos fue de 40 días (0-3 °C).

La vida comercial del pescado cocinado resulta más difícil de establecer que la carne. El criterio más fiable que permite describir y cuantificar su deterioro es la pérdida de olor y sabor a pescado cocinado, que puede expresarse en una escala numérica de 10 (fresco) a 0 (pútrido) (Shewan y col., 1953). En el caso de pescado fresco almacenado a 0 °C, existe una relación lineal entre las puntuaciones recibidas y el tiempo de almacenamiento. Sin embargo, esta relación no es tan buena en pescado procesado, pero resulta útil para realizar estudios comparativos dentro de la misma experiencia. El pescado cocinado con el método *sous vide* no presenta un deterioro característico del pescado fresco debido a la

ausencia de aminas y compuestos sulfidrilos que aportan olores y sabores desagradables.

González-Fandos y col. (2004), mostraron un deterioro sensorial de trucha cocinada *sous vide* (90 °C/5 ó 15 min) basado en una pérdida de aceptación y olor característico a pescado cocinado que se consideró inaceptable a partir de 45 días de almacenamiento (2 °C). Posteriormente, González-Fandos y col. (2005), observaron que la apariencia de salmón cocinado *sous vide* a 90 °C/5 ó 15 min no varió durante 45 días de almacenamiento (2 °C), sin embargo, sí se observó un descenso cuando el tratamiento térmico fue de 65 °C/5 ó 15 min. Por otra parte, la pérdida de olor característico a pescado cocinado también fue superior en salmón cocinado a 65 °C/5 ó 15 min. En ambos casos, la vida comercial de trucha y salmón *sous vide* fue de 45 días en refrigeración.

#### **2.4.6. Métodos para evaluar el deterioro en platos preparados de carne y pescado.**

A continuación se incluyen los métodos más comunes para evaluar el deterioro de la carne y el pescado cocinado.

##### *2.4.6.1. Métodos microbiológicos.*

###### *2.4.6.1.a. Recuento de bacterias ácido lácticas.*

Man, Rogosa y Sharpe, desarrollaron el medio de cultivo Agar MRS con el fin de evidenciar un crecimiento óptimo de lactobacilos y otras bacterias ácido lácticas. El Agar MRS es un medio de color amarillento con un pH final de 6,4. La **Tabla 25** muestra la composición del Agar MRS utilizado para el recuento de bacterias ácido lácticas.

La peptona y glucosa consituyen la fuente de nitrógeno, carbono y de otros elementos necesarios para el crecimiento bacteriano. Sin embargo, para hacer más selectivo el medio frente a otros microorganismos, el monoleato de sorbitán, magnesio, manganeso y acetato, aportan cofactores y tienen un efecto inhibidor. Sumado a esta acción, se encuentra el citrato de amonio que actúa como agente inhibidor sobre el crecimiento de bacterias Gram negativas.

La norma ISO 15214 (1998) establece el método de enumeración de bacterias mesófilas ácido lácticas mediante la técnica del recuento de colonias a 30 °C. Tras 72 horas a esta temperatura, las colonias se caracterizan por ser pequeñas, de color blanco-grisáceo y de aspecto liso o rugoso.

**Tabla 25.** Composición del Agar MRS utilizado para el recuento de bacterias ácido lácticas (Britania®).

<b>Componentes</b>	<b>Concentración (g/l)</b>
Proteosa peptona N° 3	10,0
Extracto de carne	8,0
Extracto de levadura	4,0
Glucosa	20,0
Monoleato de sorbitán	1 ml
Fosfato dipotásico	2,0
Acetato de sodio	5,0
Citrato de amonio	2,0
Sulfato de magnesio	0,2
Sulfato de manganeso	0,05
Agar	13,0

2.4.6.1.b. Identificación y recuento de enterobacterias totales.

El Agar VRBG (Violeta Rojo y Bilis Glucosa), medio de cultivo de color púrpura-rojo y pH final de 7,3, se emplea para la detección y recuento de enterobacterias totales. La **Tabla 26** muestra la composición del Agar VRBG utilizado para la identificación y recuento de enterobacterias totales.

**Tabla 26.** Composición del Agar VRBG utilizado para la identificación y recuento de enterobacterias totales (Britania®).

<b>Componentes</b>	<b>Concentración (g/l)</b>
Peptona de carne	7,0
Extracto de levadura	3,0
Cloruro de sodio	5,0
Glucosa	10,0
Mezcla de sales biliares	1,5
Rojo neutro	0,03
Violeta cristal	0,002
Agar	15,0

En este caso, son la peptona y el extracto de levadura quienes aportan los nutrientes principales para el crecimiento bacteriano, mientras que las sales biliares y el cristal violeta inhiben el desarrollo de la flora acompañante Gram positiva. La glucosa es el hidrato de carbono fermentable y el rojo neutro actúa como indicador de pH. Todas las enterobacterias son capaces de fermentar la glucosa, lo que produce la acidificación del medio y el viraje del indicador a un color rojo intenso. Debido a esto, se observan colonias de color rojo púrpura, de 1 a 2 mm de diámetro, rodeadas, generalmente, de una zona rojiza de bilis precipitada. Después de hacer la siembra, se añade una segunda capa de medio para crear condiciones anaeróbicas que eviten el crecimiento de microorganismos

Gram negativos no fermentadores de azúcares y el crecimiento en forma invasiva de *Proteus* spp.

La norma ISO 21528-2 (2004) establece el método de detección y enumeración de enterobacterias totales mediante el método de recuento de colonias.

#### 2.4.6.1.c. Recuentos de mohos y levaduras.

El Agar RBC (Rosa de Bengala con cloramfenicol) es un medio de cultivo de aspecto rojizo y pH final de 7,2, combinado con un suplemento de cloramfenicol que inhibe el crecimiento de bacterias y favorece la proliferación de mohos y levaduras. La **Tabla 27** muestra la composición del Agar RBC utilizado para el recuento de mohos y levaduras.

Actualmente, existen dos normas ISO que establecen las condiciones de cultivo para los recuentos de mohos y levaduras, en función de la actividad de agua del alimento a analizar. Para alimentos con  $a_w$  superior a 0,95 el método está regido por la norma ISO 21527-1 (2008), en el caso contrario, la norma que establece la temperatura y tiempo de incubación es la ISO 21527-2 (2008).



**Tabla 27.** Composición del Agar RBC utilizado para el recuento de mohos y levaduras.

<b>Componentes</b>	<b>Concentración (g/l)</b>
Peptona	5,0
Glucosa	10,0
Dihidrógeno fosfato potásico	1,0
Sulfato de magnesio	0,5
Rosa de Bengala	0,05
Cloramfenicol	0,1
Agar	15,5

#### 2.4.6.1.d. Recuentos de anaerobios psicrófilos.

Para el cultivo y crecimiento de anaerobios psicrófilos se emplea el medio TSA (Trypteína Soja Agar), cuyo uso es genérico para el desarrollo y aislamiento de gran variedad de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos y estrictos. El medio TSA tiene un color ámbar y un pH final de 7,3. La **Tabla 28** muestra la composición del TSA utilizado para el recuento microorganismos aerobios y anaerobios facultativos y estrictos.

**Tabla 28.** Composición del TSA utilizado para el recuento de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos y estrictos (Britania®).

<b>Componentes</b>	<b>Concentración (g/l)</b>
Trypteína	15,0
Peptona de soja	5,0
Cloruro de sodio	15,0

La tripteína y la peptona de soja aportan nutrientes ricos en péptidos, aminoácidos libres, bases púricas y pirimídicas, minerales y vitaminas. Por otra parte, la peptona de soja aporta también carbohidratos que estimulan el crecimiento de muchos microorganismos. Por último, el cloruro de sodio permite mantener el balance osmótico.

La incubación de este medio en condiciones de anaerobiosis, permite el crecimiento de *Clostridium* spp. y anaerobios no esporulados, al mismo tiempo que sirve para cultivar y mantener cepas de *Aeromonas*.

#### 2.4.6.1.e. Recuento de aerobios psicrófilos.

El medio de cultivo PCA (Recuento en Placa Agar), de color ambar y pH neutro, se emplea como medio genérico para la cuantificación de diferentes poblaciones microbianas. Según la norma ISO 17410 (2001), por la que se establece el método para la enumeración de microorganismos psicrófilos, se requiere una temperatura de 4 °C durante un mínimo de 7 días para el crecimiento y recuento de aerobios psicrófilos. La **Tabla 29** muestra la composición del medio PCA utilizado de forma genérica.

**Tabla 29.** Composición del medio PCA utilizado de forma genérica (Britania®).

Componentes	Concentración (g/l)
Extracto de levadura	2,5
Tripteína	5,0
Glucosa	1,0
Agar	15,0

La productividad de este medio está basada en el alto contenido nutricional de sus componentes, que permite el desarrollo de las bacterias presentes en la muestra.

#### 2.4.6.2. Métodos físico-químicos.

##### 2.4.6.2.a. *Evaluación de la oxidación.*

- Índice de peróxidos.

El índice de peróxidos se emplea para la detección incipiente de la oxidación y se fundamenta en la reacción de los radicales peróxidos, procedentes de la oxidación de los lípidos, con el yoduro potásico, donde el yodo liberado es valorado con tiosulfato de sodio. Se expresa como miliequivalentes de oxígeno activo contenidos en un kilogramo de materia grasa ensayada.

Este método analítico resulta muy poco fiable para evaluar la oxidación debido a que los compuestos intermedios de la oxidación pueden aumentar o disminuir con el transcurso de la misma (López-Bote y Menoyo, 2000).

- Índice de yodo.

El índice de yodo consiste en una estimación del grado de insaturación de los lípidos, debido a la gran afinidad de los iones halogenados por los dobles enlaces. A mayor grado de insaturación, el índice de yodo será mayor y por tanto, mayor tendencia a oxidarse.

El fundamento de este método consiste en valorar el exceso de reactivo halogenado que no reacciona con las insaturaciones de los ácidos grasos de la carne y el pescado. El procedimiento es similar al del índice de peróxidos, se

utiliza como reactivo el yoduro de potasio (método Wijs), o yodo monobromuro (método Hanus). El índice de yodo se expresa como el peso absorbido de yodo por 100 partes en peso de la materia grasa (B.O.E., 29-8-1979).

- Método Rancimat.

El método Rancimat consiste en recoger los gases generados durante el proceso de autooxidación de las grasas en una trampa de agua y registrar su conductividad.

En la autooxidación de las grasas se desprenden ácido fórmico, acético, propiónico, butírico, valérico y caproico, pero las concentraciones de ácido fórmico formadas son más altas que las del resto, generando una mayor conductividad a igual concentración.

A la temperatura de trabajo, el ácido fórmico es arrastrado por una corriente de aire y se disuelve en agua fría, lo cual provoca un aumento de conductividad en el agua.

- Índice del ácido tiobarbitúrico (TBARs).

El test del ácido tiobarbitúrico (TBA), con sus diferentes modificaciones, es el método más utilizado para evaluar la extensión de la oxidación lipídica en carne y pescado (Gray, 1978; Melton, 1983). El malondialdehído (MDA) es uno de los principales productos secundarios formado durante la oxidación de los ácidos grasos insaturados. El método se fundamenta en la reacción entre este compuesto y el ácido tiobarbitúrico para formar el complejo MDA-TBA de tonalidad rosácea. Este grupo cromógeno presenta un máximo de absorción a 532 nm, por lo que su medición espectrofotométrica permite cuantificar la

concentración de MDA en carne (Tarladgis y Watts, 1960; Gray y Monahan, 1992; Raharjo y Sofos, 1993).

Uno de los inconvenientes que presenta este método, es la gran reactividad del ácido tiobarbitúrico con otros componentes presentes en el músculo (aminoácidos, azúcares, aldehídos, etc) dando lugar a otros complejos con el mismo máximo de absorción que el cromóforo MDA-TBA (Halliwell y Gutteridge, 1990; Esterbauer y col, 1991). Por este motivo, a la hora de expresar los resultados resulta más correcto emplear el término de “sustancias reactivas con el TBA” (TBARs) (Ke y col., 1984; Gray y Pearson, 1987; Raharjo y Sofos, 1993).

Cuando se utiliza el test del ácido tiobarbitúrico para monitorizar la estabilidad oxidativa de la carne se observa una tendencia general al incremento de las TBARs conforme aumenta el período de almacenamiento hasta alcanzar un valor máximo, a partir del cual, los valores comienzan a disminuir debido a la reactividad del MDA frente a los grupos amino de aminoácidos y de moléculas de ADN (Chio y Tappel, 1969; Andreo y col., 2001).

- Perfil de compuestos volátiles marcadores de la oxidación lipídica.

Los compuestos que determinan las alteraciones en el olor y sabor de la carne y el pescado durante el almacenamiento deben abandonar la matriz del alimento y pasar a la atmósfera que los rodea para poder ser percibidos por medio del olfato. Las técnicas de análisis de espacio de cabeza aprovechan la elevada volatilidad de tales compuestos para extraerlos e identificarlos. Estas técnicas se clasifican en dos grandes categorías: espacio de cabeza estático y espacio de cabeza dinámico o de purga-y-trampa.

- Productos derivados de la oxidación del colesterol (COPS).

El colesterol es uno de los lípidos mayoritarios en los tejidos animales, siendo muy susceptible a sufrir procesos de autooxidación que generan una amplia gama de productos secundarios denominados COPS (Smith, 1981).

La mayor parte de las técnicas utilizadas identifican y cuantifican los COPS mediante cromatografía en capa fina (TLC), líquida de alta resolución (HPLC) o gaseosa (GC). Normalmente, para lograr un buen fraccionamiento de la muestra y concentración de los óxidos de colesterol se recurre a la combinación de cromatografía líquida preparativa, bien en columna o bien en capa fina, asociada a HPLC o GC (Fisher y col., 1985; Pie y col., 1990).

#### 2.4.6.2.b. Actividad de agua.

La actividad de agua ( $a_w$ ) de un alimento representa la cantidad de agua libre disponible para el crecimiento de microorganismos. Su evaluación aporta información sobre la estabilidad microbiológica y química de los platos preparados durante su almacenamiento.

Los sistemas de medición de  $a_w$  basan su fundamento en el equilibrio de humedad relativa. Cuando la presión de vapor parcial de la muestra y el aire de la cámara en la que se encuentra, alcanzan un equilibrio, se mide la humedad relativa de ese aire. Cuando el contenido en humedad no varía en el tiempo, se establece un valor determinado de  $a_w$  para ese alimento. El procedimiento a seguir en la medida de actividad de agua en los distintos tipos de alimentos queda reflejado en la norma ISO 21807 (2004).

#### 2.4.6.2.c. Evaluación de la acidez.

Durante el tiempo de vida útil de los platos preparados se pueden producir cambios de pH como consecuencia de un crecimiento de bacterias acidificadoras. El control del pH y de la acidez durante el periodo de almacenamiento nos aporta información de la estabilidad microbiológica del producto.

Para la medida del pH en muestras con alto contenido en proteínas, como lo son la carne y el pescado, se requiere un electrodo con glicerina para evitar la reacción entre el KCl y las proteínas (Cryson®). El método de referencia para la medida del pH en muestras de esta naturaleza está registrado en la norma ISO 2917 (1999).

Otro dato a complementar con el valor de pH es la acidez total, la cual se determina mediante valoración volumétrica con NaOH (0,1 N) y fenolftaleína como indicador.

Un crecimiento significativo de bacterias ácido lácticas durante el almacenamiento puede producir un aumento de la acidez y disminución del pH debido al incremento en el contenido de ácido láctico resultante de la actividad metabólica.

#### 2.4.6.2.d. Evaluación del color.

Los cambios producidos durante el almacenamiento refrigerado de la carne y pescado cocinado se pueden medir mediante métodos sensoriales o instrumentales. Estos últimos se dividen a su vez en métodos colorimétricos y espectrofotométricos.

La colorimetría se fundamenta en el método triestímulo que mide la luz reflejada desde el alimento, utilizando tres sensores filtrados para presentar la

misma sensibilidad que el ojo humano y, por tanto, mide directamente los valores triestímulos X, Y y Z. Dichos valores triestímulos pueden utilizarse para calcular valores en otros espacios de color como pueden ser Yxy o L\*a\*b\*. La **Figura 15** muestra el fundamento del método triestímulo. El instrumento empleado es el colorímetro, el cual es adecuado para cuantificar cambios producidos en la superficie de la carne y el pescado cocinado.

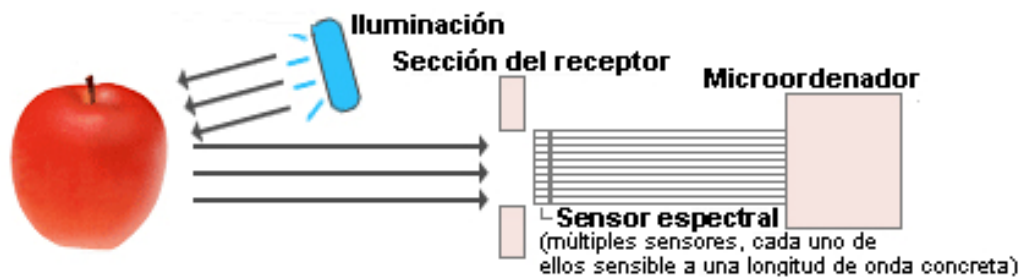
**Figura 15.** Fundamento del método triestímulo (Konica Minolta©).



Por otro lado, el método espectrofotométrico utiliza múltiples sensores para medir la reflectancia espectral del objeto en cada longitud de onda o en cada intervalo de longitudes de onda. Posteriormente, a través de un microprocesador se calculan, mediante integración, los valores triestímulos a partir de los datos de reflectancia espectral obtenidos. La **Figura 16** muestra el fundamento del método espectrofotométrico. En este caso, el espectrofotómetro es un instrumento de mayor precisión con la posibilidad de medir colores absolutos.



**Figura 16.** Fundamento del método espectrofotométrico (Konica Minolta©).



#### 2.4.6.2.e. Evaluación instrumental de la textura.

Los cambios en la textura producidos durante el almacenamiento refrigerado de la carne y el pescado cocinado pueden ser monitorizados de forma objetiva mediante técnicas instrumentales utilizando un texturómetro. Dependiendo del tipo de alimento se pueden realizar numerosas pruebas que aporten información sobre la degradación de la textura durante el periodo de conservación. Los diferentes tipos de pruebas se fundamentan en fenómenos de compresión-extrusión, corte, torsión, flexión y tensión (Bourne, 2002).

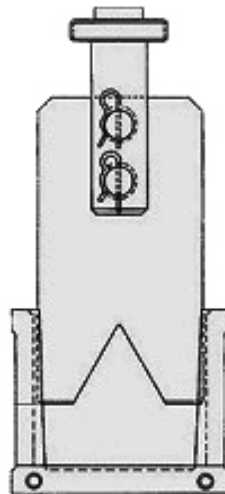
Debido a la estructura muscular de la carne y el pescado, las pruebas de corte son las más utilizadas en el estudio del deterioro de la textura. Estas pruebas consisten en cortar la muestra, con dimensiones y geometría determinada, mediante una cuchilla con forma característica. El tipo de cuchilla más empleado para este tipo de pruebas es la cuchilla Warner-Bratzler que se caracteriza por tener un triángulo equilátero en el lugar de corte (Warner, 1928; Bratzler, 1949). La **Figura 17** muestra el perfil de una cuchilla Warner-Bratzler.

Con este tipo de pruebas se determina la fuerza de corte máxima, dato que aporta información sobre la terneza de la carne y el pescado y sus posibles variaciones durante el almacenamiento.

Otra prueba muy extendida es el Análisis del Perfil de Textura (TPA), cuyo fundamento es la compresión. La prueba consiste en dos ciclos idénticos que reproducen el fenómeno de la masticación del alimento en la boca, obteniéndose así una curva (fuerza vs. tiempo), a partir de la cual, se calculan propiedades como la masticabilidad, gomosidad, adhesividad, dureza y elasticidad (Friedman y col., 1963; Szczesniak y col., 1963).

La dificultad de acondicionar la muestra con unas dimensiones y geometría determinada, hace muy difícil el empleo de esta prueba para el análisis de la textura en platos preparados, donde la carne y el pescado están en trozos de tamaño y forma irregular.

**Figura 17.** Cuchilla Warner-Bratzler.



#### 2.4.6.3. Métodos sensoriales.

El análisis sensorial es la disciplina científica utilizada para medir, analizar e interpretar las reacciones humanas ante las características de los alimentos, así

como la manera en que éstas son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído (I.F.T., 1975).

Uno de los principales problemas que afecta a la comercialización de platos preparados con una base de carne o pescado es la aparición de sabores y olores desagradables, así como cambios indeseables en la textura y el color. Estos cambios son de suma importancia ya que determinan la aceptación final del producto y el análisis sensorial es una técnica muy adecuada para evaluar la intensidad de estos procesos.

La valoración sensorial de la carne y el pescado implica la cuantificación de una o más características de textura, olor, sabor y/o apariencia por un “panel de cata”. En función al tamaño y al grado de especialización del panel, los métodos sensoriales se clasifican en dos categorías:

a) Evaluación sensorial con un panel de catadores semientrenados o estudios de mercado.

b) Análisis sensorial con un grupo de catadores expertos.

La evaluación sensorial mediante un panel de consumidores implica un grupo de personas escogido al azar, siendo recomendable que éstas sean consumidores habituales o potenciales del producto que se va a evaluar (Anzaldúa-Morales, 1994). El número mínimo de consumidores para que los resultados obtenidos tengan validez estadística es de 30-40 personas (ASTM, 1968; Anzaldúa-Morales y col., 1983).

Este tipo de paneles se utiliza en pruebas afectivas, donde el catador expresa su reacción subjetiva ante el producto. En tanto que los datos recogidos expresan apreciaciones subjetivas, estas pruebas presentan una enorme variabilidad en los resultados y una difícil interpretación (Amerine y col., 1965; Anzaldúa-Morales y Brennan, 1984).

Por otra parte, el análisis sensorial mediante un panel semientrenado implica grupos de catadores expertos, constituidos por panelistas que han sido previamente seleccionados en base a su habilidad para detectar y cuantificar determinados atributos sensoriales y que han sido sometidos a una etapa de entrenamiento (UNE 87024-1, 1995; UNE 87024-2, 1996). La puesta en marcha implica varias etapas: reclutamiento y selección preliminar, selección específica (según el producto y características a evaluar), entrenamiento general y aplicado y, finalmente, pruebas de control del grupo (fiabilidad de las respuestas, repetibilidad individual y colectiva, etc.) (Nicod, 1990). Existen principalmente, dos tipos de pruebas, discriminatorias y descriptivas.

Las pruebas discriminatorias tienen como objeto establecer si hay o no diferencia entre dos o más muestras y, en algunos casos, la magnitud o importancia de esta diferencia (Larmond, 1977). Según la normativa UNE, las más utilizadas son: comparación por parejas, dúo-trío y triangular.

En las pruebas de comparación por parejas (UNE 87005, 1992), cada catador dispone de uno o más pares de muestras y debe comparar en relación a un determinado atributo sensorial (sabor a recalentado, sabor a rancio, etc.) e indicar cuál de las dos presenta mayor intensidad de dicha propiedad. Esta prueba presenta como principales ventajas la sencillez en la interpretación de los datos y el bajo número de muestras a catar por panelista, lo que evita el riesgo de hastío y su repercusión negativa sobre los resultados. Sin embargo, la elevada probabilidad de acertar por azar (50%) disminuye considerablemente la fiabilidad de los resultados.

En las pruebas dúo-trío (UNE 87010, 1992), cada panelista dispone primero de una muestra de referencia y a continuación dos muestras problema, una de las cuales es idéntica a la de referencia. El catador debe identificar la muestra problema que es distinta. Su principal inconveniente es la elevada probabilidad de acertar por azar (50%).

Finalmente, en las pruebas triangulares (UNE 87006, 1992), los panelistas disponen simultáneamente de tres muestras codificadas, dos de las cuales son iguales, con el fin de identificar la muestra desparejada. La fiabilidad de los resultados obtenidos con esta prueba es mayor que la de las dos anteriores, ya que la probabilidad de acertar por azar se reduce al 33%.

Por otro lado, las pruebas descriptivas tienen un carácter típicamente analítico y son muy utilizadas para el estudio del deterioro sensorial de platos preparados. Entre la gran variedad de pruebas descriptivas, destacan por su mayor aplicación: el método del perfil de sabor (DFA) y análisis descriptivo cuantitativo (QDA). Por su empleo e importancia en esta Tesis Doctoral, el QDA es una técnica de caracterización de atributos sensoriales en términos cuantitativos según su orden de aparición. Se caracteriza por utilizar escalas de intervalo numéricas o mixtas que aportan una mayor amplitud a las valoraciones. Además de posibilitar la cuantificación de los resultados, el QDA ofrece la ventaja de tener una mayor amplitud descriptiva, ya que permite la evaluación conjunta de términos de aspecto, aroma, sabor y textura.

Actualmente, existen aparatos basados en sensores por donde circulan los compuestos volátiles de los alimentos a analizar y que son capaces de simular las funciones de una nariz humana denominado “nariz electrónica”. La “olfatometría electrónica” puede acomplarse a un espectrofotómetro de masas, consiguiendo así la identificación de los compuestos volátiles característicos de un determinado olor.





### 3. MATERIAL Y MÉTODOS.

A continuación se describe el material y métodos general empleado en la presente Tesis Doctoral. Esta sección será ampliada de forma específica en cada uno de los ensayos realizados.

#### 3.1. Elaboración de platos preparados *sous vide*.

Los platos preparados *sous vide* se elaboraron a escala industrial (Rational Food S. A. Cartagena, Murcia). Según el ensayo, se fabricaron diversos platos constituidos por un solo tipo de ingrediente muscular (carne o pescado) y acompañados o no con salsa y/o guarnición, elaborando dos lotes por producto y ensayo.

##### 3.1.1. Platos preparados *sous vide* elaborados con un ingrediente.

Se cocinaron dos platos diferentes a base de carne y pescado, empleando lomo de cerdo y salmón (*Salmo salar*), respectivamente. En primer lugar, las muestras se condimentaron con sal (0,5% w/w) y aceite de oliva y se marcaron en un horno mixto (convección + vapor) (Climaplus Combi CPC G, Rational Aktiengesellschaft, Landsberg am Lech, Alemania) a una temperatura de 300 °C durante 3 ó 5 min dependiendo del producto. Las porciones se enfriaron a 0 °C durante 5 min en un abatidor de temperatura (Friulinox, Pordedone, Italia) para facilitar su manipulación y realizar un correcto envasado. Se envasaron en bolsas de poliamida-polipropileno (Wipack, Hamburg, Alemania) de tamaño 200 x 295 mm y resistencia térmica de -40 °C/+120 °C, permeabilidad al oxígeno de 7 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> para 24 h a 4 °C/80% R.H. y permeabilidad al vapor de agua de 0,8 g/m<sup>2</sup> para 24 h. Seguidamente, las bolsas fueron selladas herméticamente con 100% de vacío en una envasadora (EGAR 8, Egarvac S.L., Barcelona, España). Las muestras se cocinaron en el mismo horno a diferentes tiempos y temperaturas



dependiendo del producto y ensayo a realizar. El control de la temperatura se realizó mediante una sonda termométrica para asegurar la temperatura de cocinado en el centro del producto. Tras el cocinado, las muestras se enfriaron durante 90 min hasta alcanzar 3 °C en centro del producto empleando un abatidor de temperatura. Por último, las muestras fueron almacenadas, en ausencia de luz, en una cámara de refrigeración (Pecomark, Barcelona, España) a temperatura comprendida entre 0 y 2 °C durante el tiempo estimado en cada ensayo.

### 3.1.2. Platos preparados *sous vide* con salsa.

Se elaboraron dos platos de base cárnica con salsa y guarnición de vegetales, empleando carne de cerdo ibérico procedente del músculo *massetero* y carne de cerdo blanco procedente del jamón y/o paletilla.

Se realizó un cocinado previo de la salsa, a temperatura/tiempo dependiente del producto, en una marmita (Juan Alabart, S.L., Sabadell, España) con doble fondo formado por una camisa rellena de aceite térmico capaz de calentarse hasta 230 °C y provista de palas de teflón para agitación. Una vez cocinada la salsa, el producto final se envasó en atmósfera modificada (AM) y/o vacío (VA) según el ensayo, respetando las proporciones carne/salsa de cada producto. Las muestras AM se envasaron en barquetas de polipropileno termoresistentes de diferentes tamaños selladas con un film transparente (Xpoliester/PLPMC 12+75, Wipack, Hamburg, Alemania) con permeabilidad al oxígeno de 114 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24h. El envasado se realizó mediante una envasadora Taurus 420 (ULMA, Oñate, España) empleando una mezcla de gases 80% N<sub>2</sub> y 20% CO<sub>2</sub>. Las condiciones de envasado fueron diferentes dependiendo del producto y dimensiones de la barqueta. Las muestras VA se envasaron a vacío en bolsas termoresistentes de igual forma que se hizo para el salmón y lomo de cerdo. Tras el envasado, las muestras se cocinaron en un horno mixto controlando la temperatura en el centro del producto con una sonda termométrica a una temperatura/tiempo dependiente del tipo de producto y ensayo. Tras el cocinado,

las muestras se enfriaron durante 90 min hasta alcanzar 3 °C en el centro mediante un abatidor de temperatura. Por último, se almacenaron en una cámara de refrigeración a 2 °C y en ausencia de luz durante el tiempo estimado en cada ensayo.

### 3.2. Análisis físico-químicos.

#### 3.2.1. Color CIELab.

El color fue estimado por reflectancia utilizando un colorímetro portátil Minolta Chroma Meter II Reflectance, CR-200/08 (Minolta Limited, Milton Keynes, Reino Unido). Previamente a los análisis, el colorímetro fue calibrado. Para realizar las mediciones se preseleccionaron las opciones de autoselección y de multimedición.

Se tomaron 6 medidas por producto y los resultados obtenidos se expresaron a través del sistema CieLab. A partir de las coordenadas  $a^*$  (rojo-verde) y  $b^*$  (amarillo-azul), se calcularon los valores  $C^*$  (índice de saturación o chroma) y  $H^*$  (tono o ángulo hue) mediante las expresiones:

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

Ambos parámetros fueron utilizados para monitorizar los cambios inducidos durante el almacenamiento en refrigeración.

### 3.2.2. Actividad de agua.

La actividad de agua se determinó utilizando un medidor de actividad de agua (Novasina TH200 Axair AG, Pfäffikon, Suiza). Para ello, se pesó 1 g de muestra homogeneizada respetando las proporciones de salsa y carne. Todas las medidas se realizaron a 25 °C y por triplicado.

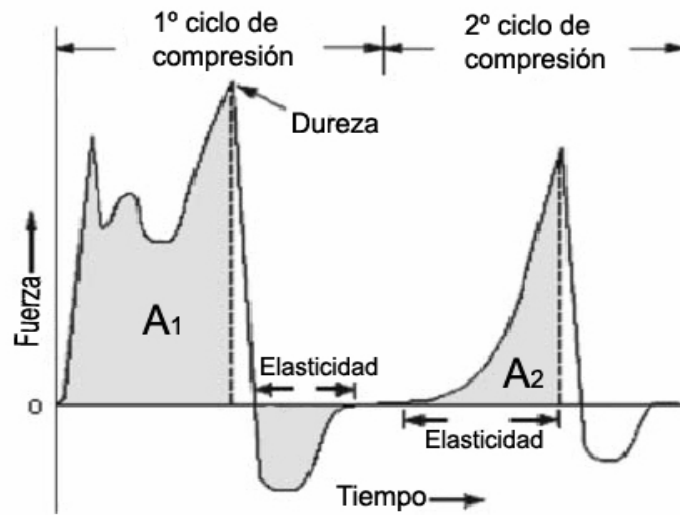
### 3.2.3. Textura instrumental.

La textura de lomo de cerdo y salmón se evaluó instrumentalmente mediante un analizador de textura QTS-25 (Brookfield CNS Farnell, Borehamwood, Hertfordshire, Inglaterra) equipado con una célula de carga de 25 Kg y programa Texture Pro v. 2.1. En ambos productos se realizó un ensayo de fuerza máxima al corte y un perfil de textura (TPA). Previamente a la determinación de la textura instrumental, las muestras envasadas a vacío se calentaron en un baño (Digiterm 100, J.P. Selecta, S.A., Barcelona, España) de agua a 75 °C hasta alcanzar una temperatura interna de 72 °C, medida con termómetro portátil T200 (Digitron Instrumentation Ltd., Merd Lane, Hertford, Reino Unido). Las muestras calientes se cubrieron rápidamente con papel de aluminio y se mantuvieron en un baño de arena a 60 °C (Braun, Esplugues de Llobregat, España) hasta el momento de la medida. Las muestras se cortaron en dimensiones diferentes según producto y ensayo a realizar.

La determinación de la fuerza máxima (N) al corte se realizó mediante una hoja de corte Warner-Bratzler. Para ello, las muestras se cortaron a una velocidad constante de 30 mm/min en sentido perpendicular a la fibra muscular. Por otra parte, el perfil de textura de las muestras se evaluó con una sonda cilíndrica de 20 mm de diámetro. El ensayo se realizó mediante la aplicación de dos ciclos consecutivos a una velocidad constante de 50 mm/min hasta alcanzar el 50% de la altura inicial de la muestra. Los parámetros de perfil de textura analizados (TPA) fueron dureza, elasticidad, cohesividad, gomosidad y masticabilidad y se

calcularon según lo descrito por Bourne (1978). La **Figura 18** muestra una curva tipo de TPA y la **Tabla 30** las definiciones de cada uno de los parámetros de textura analizados. Para determinar la dureza al corte y el perfil de textura, se realizaron 5 réplicas por muestra a una temperatura de sala de 20 °C.

**Figura 18.** Curva tipo para el Análisis del Perfil de Textura (TPA) (Bourne y col., 1978).



**Tabla 30.** Definición de dureza, elasticidad, cohesividad, gomosidad y masticabilidad según Bourne (1978).

Parámetro	Unidad	Definición
Dureza	N	Fuerza máxima correspondiente al primer ciclo.
Elasticidad	mm	Altura de recuperación de la muestra durante el tiempo transcurrido desde el final del primer ciclo y comienzo del segundo.
Cohesividad	-	Energía mecánica necesaria para destruir la estructura interna de la muestra. ( $A_2 / A_1$ )
Gomosidad	N	Energía requerida para desintegrar una muestra semisólida a un estado adecuado para su deglución. (Dureza x Cohesividad)
Masticabilidad	N.mm	Energía requerida para masticar la muestra. (Gomosidad x Elasticidad)

#### 3.2.4. pH.

El pH de la carne fue determinado por homogeneización según la norma ISO 2917 (1999). En aquellos platos con salsa se realizó un homogeneizado previo de 100 g con una picadora (Moulinex Illico Y92, Irlanda) manteniendo las proporciones de salsa y carne. Se pesaron 5 g de muestra, se añadieron 5 ml de agua destilada y con ayuda de una varilla de vidrio se llevó a cabo su completa homogeneización durante 5 min. Posteriormente, se dejó reposar la muestra durante otros 5 min antes de proceder a la medida del pH con un pHmetro (*Crison micropH 2001*) con electro combinado Crison, Cat n° 52-22 (Ingold Electrodes, Inc. Wilmington, Estados Unidos), calibrado adecuadamente con patrones de cloruro de potasio de 4,0 y 7,0. Cada medida se realizó por triplicado.

### 3.2.5. Parámetros de composición general.

#### 3.2.5.1. Proteína total.

La determinación de nitrógeno total de las muestras se realizó mediante el método Kjeldahl (ISO 937:1978). Se partió de 0,25 g de muestra homogeneizada envueltos en papel de filtro y se sometió a un proceso de digestión (Digestión unit, Büchi 426, Suiza) durante 8 h con 10 ml de ácido sulfúrico concentrado (Panreac Química, S.A. Castellar del Vallès, España) y una tableta de catalizador Kjeldahl (Cu-TiO<sub>2</sub>) (Panreac Química, S.A., Castellar del Vallès, España) constituida por un 47,17 % de sulfato sódico, 47,17 % de sulfato potásico, 2,83 % de sulfato de Cu(II) pentahidratado y 2,8 % de óxido de titanio (IV). La muestra digerida se destiló en una unidad de destilación (Büchi 323, Flawil, Suiza) con la adición de hidróxido sódico al 40% (v/v) (Scharlau Chemie S.A., Barcelona, España), recogiendo el destilado en 25 ml de ácido bórico 4% (v/v) (Panreac Química, S.A., Castellar del Vallès, España) utilizando un indicador mixto rojo de metilo (Scharlau Chemie, S.A., Barcelona, España) y verde de bromocresol (Panreac Química, S.A., Castellar del Vallès, España). El amoníaco recogido se valoró con ácido clorhídrico 0.1 N (Scharlau Chemie, S.A., Barcelona, España) utilizando un valorador automático (702 SM Titrino, Metrohm, Herisau, Suiza). El contenido en proteína se obtuvo multiplicando el valor obtenido en la determinación de nitrógeno total por 6,25. La medida para cada producto se hizo por sextuplicado.

#### 3.2.5.2. Grasa total en materia seca.

La determinación del contenido en grasa total en materia seca se realizó gravimetricamente mediante una extracción con éter de petróleo (ISO 1443:1973). La muestra homogeneizada fue previamente desecada en estufa a 110 °C durante 24 h. Para la determinación se pesaron 1,5 g de muestra desecada y se

introdujeron en cartuchos de celulosa de 33 x 80 mm (ref. 2800338 Whatman, Inglaterra). La extracción se realizó con 75 ml de éter de petróleo con punto de ebullición 40-60 °C (Panreac Química, S.A., Castellar del Vallès, España) mediante un extractor tipo Soxhlet (Soxtec System HT2 1045 Tecator, Suecia). Tras la extracción, los cazos del extractor se introdujeron en una estufa (ST 6120, Heraeus, Barcelona, España) a 110 °C durante 30 min para eliminar el disolvente. Posteriormente, se enfriaron hasta temperatura ambiente en un desecador calculándose el porcentaje de grasa total en materia seca con la siguiente expresión:

$$\% \text{ grasa materia seca} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{P_m} \cdot 100$$

Siendo  $P_{\text{final}}$  el peso más la grasa extraída,  $P_{\text{inicial}}$  el peso inicial del cazo exento de humedad y  $P_m$  el peso de la muestra desecada.

#### *3.2.5.3. Humedad.*

La determinación de humedad de las muestras se realizó mediante desecación en estufa (ISO 1442:1997). Previamente, se procedió al secado de placas petri de vidrio en una estufa a 110 °C durante 24 h, dejándose enfriar, antes de pesar la muestra, en un desecador hasta temperatura ambiente. Para determinar la humedad se pesaron 5g de la muestra homogeneizada sobre las placas y se introdujeron a una estufa (ST 6120, Heraeus, Barcelona, España) a 110 °C hasta peso constante. Posteriormente, se enfriaron hasta temperatura ambiente en un desecador calculándose la humedad por diferencia de pesada entre el peso inicial de la placa y el peso final de la placa más la muestra desecada. La medida para cada producto se realizó por triplicado.

#### 3.2.5.4. Cenizas.

La determinación de cenizas se realizó gravimétricamente por incineración a 550 °C (ISO 936:1998).

El calentamiento de la muestra para la obtención de cenizas se realizó en crisoles de porcelana (KPM, Berlín, Alemania) previamente desecados en estufa (ST 6120, Heraeus, Barcelona, España) durante 24 h a 110 °C. Los crisoles se dejaron enfriar a temperatura ambiente en un desecador antes de pesar la muestra. Se pesaron 5 g de muestra homogeneizada y se realizó una preincineración con un mechero colocando los crisoles sobre un trípode, hasta conseguir cenizas de color negro. Finalmente, los crisoles se introdujeron en una mufla (Heraeus MR 170, Alemania) a 550 °C hasta conseguir cenizas de color blanco. El cálculo del porcentaje de cenizas se realizó según la siguiente expresión:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{P_f - P_i}{P_m} \cdot 100$$

Siendo  $P_f$  el peso final del crisol más las cenizas,  $P_i$  el peso inicial del crisol y  $P_m$  el peso de la muestra.

#### 3.2.6. Acidez total.

La acidez total se determinó como gramos de ácido láctico por 100 gramos de muestra según el método expuesto por Salfield (1975).

Se pesaron 10 g de muestra y se homogeneizaron con 100 ml de agua destilada empleando un Ultra-Turrax T25 (IKA, Labortechnik, Staufen, Alemania) durante 2 min a 9500 rpm. Las muestras se filtraron para eliminar el residuo sólido y se varolaron con NaOH 0.1N (Panreac Química, S.A., Castellar del Vallès, España) utilizando fenolftaleina al 1% en etanol (Probus, S.A., Badalona, España) como indicador. La acidez total se calculó según la siguiente expresión:



$$\text{Gramos de ácido láctico/100 gramos de muestra} = 0,009 \times \text{ml de NaOH } 0,1N$$

### 3.2.7. Índice de TBARs.

La valoración del grado de oxidación lipídica en carne y pescado se realizó mediante el método del TBARs descrito por Botsoglou y col. (1994).

Dos gramos de muestra fueron homogenizados con una solución ácida — 8 ml de disolución acuosa de ácido tricloroacético (5%) (TCA) (Scharlau Chemie S.A., Barcelona, España) y 5 ml de butilhidroxitolueno (0,8%) (BHT) (Scharlau Chemie S.A., Barcelona, España) en hexano (Mallinckrodit Baker B.V., Deventer, Holanda) — con un Ultra-Turrax T25 (IKA, Labortechnik, Staufen, Alemania) durante 1 minuto a 9500 rpm. Los tubos de homogeneizado fueron centrifugados (Centrífuga Kubota 2010, Kubota Corporation, Tokio, Japón) durante 10 min a 3000 rpm. A continuación, se retiró el sobrenadante de los tubos y se procedió a la recogida del extracto ácido sobre tubos de vidrio graduados. El volumen de estos tubos se completó hasta 10 ml con disolución acuosa de TCA (5%) y fueron nuevamente sometidos a centrifugación a 3000 rpm durante 10 min. Se cogieron alícuotas de 2,5 ml del extracto por triplicado y se introdujeron en tubos de vidrio pirex con tapón de rosca, añadiéndoles 1,5 ml de la disolución de ácido 2-tiobarbitúrico (0,8%) (TBA) (Acros Organics Geel, Bélgica). Una vez cerrados, los tubos fueron introducidos en un baño de agua a 70 °C durante 30 min. Transcurrido el período de incubación, las muestras fueron rápidamente enfriadas en un baño de agua a temperatura ambiente ( $22 \pm 2$  °C) durante 5 min.

La cuantificación de TBARs se realizó por medio de una recta patrón elaborada a partir de una serie de disoluciones de malondialdehído (MDA) de concentración conocida. La solución madre de MDA (2,25 mg/ml) fue obtenida por hidrólisis ácida de una disolución (10 ml) de Tetra-etoxipropano (TEP) (Scharlau Chemie S.A., Barcelona, España) (73,2 mg) en ácido clorhídrico 0,1 N (Scharlau Chemie S.A., Barcelona, España). La reacción transcurrió en un tubo de

vidrio con tapón de rosca, inmerso en un baño de agua hirviendo durante 5 min. Después de este tiempo, los tubos fueron rápidamente enfriados en un baño de agua a temperatura ambiente. La solución hidrolizada de TEP fue cuidadosamente transferida a un matraz, aforando hasta 100 ml con agua destilada. La disolución de trabajo de MDA (22,5  $\mu\text{g/ml}$ ) se obtuvo pipeteando una alícuota de 1 ml de la solución madre hacia un matraz y aforando nuevamente hasta 100 ml con agua destilada.

La cantidad de sustancias reactivas con el ácido tiobarbitúrico (TBARS) fue calculada a partir de la recta de calibrado, la cual se construyó utilizando la disolución del estándar TEP. La disolución de trabajo de MDA (22,5  $\mu\text{g/ml}$ ) fue diluida hasta alcanzar una concentración de 4,5  $\mu\text{g/ml}$ .

La recta de calibrado se preparó a partir de sucesivas diluciones de la disolución de trabajo (alícuotas en ml: 0,25; 0,5; 0,75; 0,9; 1,15; 1,6; 2,25) y transfiriéndolas a un tubo de vidrio, con tapón de rosca, que contenía 2,5 ml de disolución acuosa de TCA (5%) y 1,5 ml de solución acuosa de TBA (0,8%). La mezcla fue diluida con agua destilada hasta alcanzar un volumen de 25 ml. Los tubos preparados con el rango de concentraciones de MDA, junto con una solución blanco (TCA (5%) + TBA (0,8%)), fueron sometidos a incubación y a posterior lectura espectrofotométrica siguiendo el mismo procedimiento que el descrito para las muestras. La **Tabla 31** muestra la ecuación de regresión utilizada para el cálculo de los valores de TBARS.

La concentración de TBARS se cuantificó mediante lectura espectrofotométrica (UNICAM UV/Vis Spectrometer, Spectronic Unicam, Nueva York, Estados Unidos) de la absorbancia de las muestras frente a un blanco —2,5 ml TCA (5%) + 1,5 ml TBA (0,8%)—. Con el fin de eliminar las interferencias espectrales con otros compuestos, las valoraciones se realizaron en función a la tercera derivada del espectro entre 425 y 625 nm (Botglosou y col., 1994) en base al cálculo de la distancia entre el pico y el valle que aparecían sobre 521 y 540

nm, respectivamente. La cantidad de sustancias reactivas con el ácido tiobarbitúrico (TBARs) se expresó como mg MDA/Kg de muestra.

**Tabla 31.** Ecuación de regresión de la curva de calibrado utilizada para la cuantificación de TBARs.

---

Ecuación	$y_A = 0,3218 \times 3D_{532}$
R <sup>2</sup>	0,9999
[TBARs] *	$TBARs = (y_C \times 10) / P_M$

---

\*Expresión para obtener la concentración de TBARs en muestra (mg MDA / kg de carne), donde “10” es el factor de dilución de la muestra y P<sub>M</sub> el peso de la muestra.

### 3.3. Análisis microbiológico.

Para monitorizar el deterioro microbiológico de los platos *sous vide* se analizaron anaerobios y aerobios psicrófilos, bacterias ácido lácticas, enterobacterias totales y mohos y levaduras.

El cultivo de anaerobios psicrófilos se realizó en medio TSA (Tryptone Soya Agar) (Oxoid Ltd. CM0131, Basingstoke, Hampshire, Reino Unido). Las placas inoculadas se introdujeron en una jarra de anaerobiosis con capacidad de 2,5 litros y mediante un sistema de generación de atmósfera de anaerobiosis (Oxoid Ltd. AN0025A, Basingstoke, Hampshire, Reino Unido), cuyo ingrediente activo fue el ácido ascórbico, se creó las condiciones adecuadas para su crecimiento. Una vez cerradas las jarras herméticamente, se introdujeron en una cámara frigorífica a una temperatura de 4 °C durante 7 días.

Para la cuantificación de aerobios psicrófilos, las muestras fueron inoculadas en un medio de cultivo genérico, PCA (Plate Count Agar) (Oxoid Ltd. CM0325, Basingstoke, Hampshire, Reino Unido). Las placas inoculadas se

incubaron durante 7 días en una cámara de refrigeración a 4 °C según lo establecido en la norma ISO 17410 (2001).

El medio utilizado para la cuantificación de bacterias ácido lácticas fue MRS (de man, Rogosa, Sharpe) (Oxoid Ltd. CM0361, Basingstoke, Hampshire, Reino Unido). Después de la siembra, las placas se incubaron en una estufa (ST 6120 Heraeus S.A., Boadilla, Madrid) a 30 °C durante 72 h, según lo establecido en la norma ISO 15214 (1998).

Para la detección y enumeración de entorobacterias totales se empleó el medio cultivo VRBG Agar (Violet Red Bile Glucose Agar) (Oxoid Ltd. CM0485, Basingstoke, Hampshire, Reino Unido) y según el protocolo establecido en la norma ISO 21528-2 (2004), las placas inoculadas se incubaron en estufa a 37 °C durante 24 h.

Por último, la cuantificación de mohos y levaduras se llevó a cabo empleando un medio de cultivo RB (Rose-Bengal) (Oxoid Ltd. CM0549, Basingstoke, Hampshire, Reino Unido) al que se añadió un suplemento selectivo de cloramfenicol (Oxoid Ltd. SR0078E, Basingstoke, Hampshire, Reino Unido) restituido con 3 ml de etanol (96%) por cada 500 ml de medio. Las placas inoculadas se incubaron a temperatura ambiente (25 °C) durante 3, 4 y 5 días, según lo establecido en la norma ISO 21527-2 (2008).

Todos los medios, excepto el VRBG Agar, fueron esterilizados en autoclave (Steam Sterilizer Raypa, Tarrasa, España) a 121 °C durante 20 minutos de acuerdo a las indicaciones del producto.

En el momento de los análisis, las muestras envasadas en bolsas o barquetas se abrieron de forma aséptica en una campana de flujo laminar (Telstar, Bio-II-A, Tarrasa, España), se pesaron 2 réplicas de 10 g con tijeras estériles y se introdujeron en sendas bolsas Stomacher. A cada bolsa se añadió 90 ml de agua de peptona 0,1% (Oxoid Ltd. CM0087, Tryptone water) y se procedió a su

homogeneización en Stomacher (IUL Instruments, GMBH, Königswinter, Alemania) aplicando dos ciclos. De esta forma, se obtuvo la dilución  $10^{-1}$ . Para obtener el resto de diluciones se utilizaron tubos con 9 ml de agua de peptona se homogeneizaron (IVL-Instruments). Las placas se sembraron en masa con 1 ml y por duplicado ajustando la dilución elegida según los recuentos. En el caso de bacterias ácido lácticas y enterobacterias totales, después de la solidificación del medio se añadió una segunda capa para generar condiciones de anaerobiosis. Después de los tiempos estipulados para cada microorganismo, se procedió al recuento manual de las unidades formadoras de colonias por gramo de muestra.

### **3.4.- Análisis sensorial.**

#### 3.4.1.- Regeneración de las muestras.

Para realizar el análisis sensorial las muestras envasadas en bolsas se recalentaron por inmersión en un baño de agua termoestático (Digiterm 100 Selecta, Barcelona, España) a 75 °C y las envasadas en barquetas en un microondas (Balay, S.A., Korea del Sur) desprovistas del *film* y a 850 W de potencia durante 3,5 min hasta alcanzar en ambos casos una temperatura interna de  $\pm 72$  °C, medida con termómetro portátil T200 (Digitron Instrumentation Ltd., Merd Lane, Hertford, Reino Unido).

#### 3.4.2.- Entrenamiento del panel.

La selección y entrenamiento se realizó de acuerdo con la ISO 8586-1 (1993). El panel estuvo formado por 11 jueces (6 mujeres y 5 hombres) con una edad media de 30 años.

Este grupo fue sometido a una etapa de entrenamiento específico llevado a cabo en 6 sesiones teórico-prácticas de 1,5 horas de duración cada una, orientadas hacia el aprendizaje de los atributos.

Las dos primeras sesiones se dedicaron a la evaluación y discusión de las características sensoriales propias de los platos *sous vide*. Las dos siguientes se destinaron a la generación y selección de los descriptores y las dos últimas al desarrollo de la escala y puntuación de las muestras envejecidas con el fin de comparar con las muestras recién cocinadas.

#### 3.4.3.- Cata.

Las catas se realizaron de acuerdo a la ISO 4121 (2003) en una sala estandarizada (UNE, 1979) equipada con una mesa redonda para las sesiones de entrenamiento y 7 cabinas individuales. Todas las sesiones se realizaron entre las 16:00 y 16:30.

Las muestras se cubrieron con papel de aluminio y se codificaron con 3 dígitos escogidos al azar. Para mantener las muestras calientes hasta su análisis se utilizó un baño de arena con tapadera (Braun, Esplugues de Llobregat, España) a  $60 \pm 5$  °C durante un máximo de 5 min. Para obtener los resultados del análisis sensorial, se realizaron 3 catas, en las que cada panelista dispuso de las muestras cocinadas y numeradas de forma diferente para cada juez.

Las muestras se presentaron a los panelistas envueltas en papel de aluminio en un baño de arena a 60 °C durante un máximo de 5 min.

Para la cuantificación del deterioro sensorial y del efecto del cocinado en la calidad de los productos *sous vide* se realizó un análisis descriptivo cuantitativo (QDA) empleando una escala de intervalos definidos previamente por el panel.

### **3.5. Análisis estadístico.**

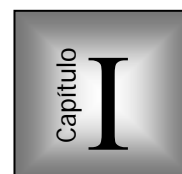
El modelo estadístico de cada una de las experiencias se diseñó completamente al azar y los cálculos pertinentes se realizaron mediante el programa informático Statistix 8.0 para Windows (Analytical Software, Nueva York, USA).







ESTUDIO DEL DETERIORO DEL LOMO DE CERDO  
COCINADO *SOUS VIDE* CONSERVADO EN  
REFRIGERACIÓN.



## I.1. INTRODUCCIÓN.

Como se ha comentado, una aplicación de la tecnología *sous vide* es la elaboración de platos preparados a base de carne destinados a servicios de catering, entre otros. Existen multitud de referencias culinarias *sous vide* donde se utiliza carne fragmentada o productos derivados, tales como estofados, fritos, otros guisos, carnes en salsa, etc. Además, la tecnología *sous vide* también se emplea para cocinar piezas enteras de carne, sin aditivos ni salsas, que pueden ser conservadas en frío durante un tiempo considerable, listas para ser procesadas cuando sea necesario ensamblar una gran cantidad de raciones junto con otros ingredientes. Este sistema reduce los riesgos sanitarios gracias a la apertización y puede solventar ciertos problemas logísticos (acopio de materias primas frescas, picos de demanda, racionalización de personal, actividades y equipos, etc.) que conlleva la fabricación y comercialización a gran escala de comidas preparadas. Por este motivo, en este primer ensayo se decidió trabajar con este sistema, muy encaminado a la restauración diferida y el catering, procesando la carne según las prácticas industriales recomendadas por la empresa colaboradora.

Según la bibliografía consultada, el método *sous vide* permite ampliar la vida comercial de los platos cárnicos con respecto al método convencional de cocinado-ensado-refrigeración, debido, fundamentalmente, a que se produce un calentamiento estanco que garantiza la calidad microbiológica de los platos cárnicos refrigerados. Por ello, desde un punto de vista de la conservación, los tratamientos *sous vide* se pueden considerar tratamientos de pasteurización en el interior de un envase, es decir, semi-conservas. Sin embargo, hay que tener en cuenta las propiedades específicas de las bolsas de plástico utilizadas para cocer la

carne, las cuales se pueden considerar un envase “débil” con respecto a otros materiales, ya que permiten el paso de la luz, presentan cierta permeabilidad al oxígeno, vapor de agua y otros gases, la cual puede aumentar tras el calentamiento y la deformación de la bolsa, cuyos cierres a menudo pueden no resistir un calentamiento prolongado, aunque la tecnología de envasado es cada vez más fiable.

Esta suma de tratamiento térmico moderado más envase “débil” puede suponer un handicap para la conservación en refrigeración de la carne cocinada, sobre todo si se pretende fabricar platos preparados de alta calidad sensorial y con una vida comercial de varias semanas o meses. Por este motivo, no sólo hay que asegurarse que los tratamientos térmicos produzcan una correcta pasteurización del producto, si no que también resulta muy importante realizar amplios estudios de deterioro que fijen el periodo de caducidad y ayuden a entender los cambios producidos durante el almacenamiento refrigerado de las carnes cocinadas *sous vide*. La determinación de parámetros microbiológicos, físico-químicos y sensoriales relacionados con el deterioro es la información de partida necesaria para incidir posteriormente en factores tecnológicos clave, tales como temperatura y tiempo de cocinado, envasado, enfriamiento, temperatura de almacenamiento, etc., con el objeto de mejorar la calidad y vida comercial de los platos cárnicos preparados por el método *sous vide*.

No hay que olvidar otro aspecto muy importante en la tecnología del catering, en concreto, el hecho de que los tratamientos *sous vide* se aplican para obtener y mantener alimentos con unas propiedades sensoriales parecidas a las que presentan los platos recién cocinados. También, hay que tener en cuenta las limitaciones culinarias inherentes al cocinado de la carne a baja temperatura, muy efectivo para gelatinizar el colágeno y conseguir una buena textura, pero a su vez, incapaz de generar aromas y sabores a tostado, tan apreciados por los consumidores. No obstante, esto realmente constituye un problema menor, ya que, si se considera adecuado, se puede solventar marcando las piezas de carne a alta temperatura durante algunos minutos antes de ser envasadas y cocinadas al vacío,

con el objeto de conseguir cierta caramelización que reproduzca el sabor, color y aroma de la carne asada.

Así pues, en este primer ensayo, se elaboraron piezas de lomo de cerdo, habituales en los sistemas de catering, aplicando un tratamiento térmico estándar para obtener una adecuada textura en la carne (cocinado a temperatura de pasteurización durante varias horas) y envasando en bolsas de plástico termorresistentes y con una baja permeabilidad al oxígeno y vapor de agua (combinación de polipropileno y poliamida especial para cocinar al vacío). El ensayo consistió en estudiar el lomo de cerdo recién cocinado, con el objeto de establecer los parámetros iniciales de calidad, y después, de acuerdo con la experiencia previa de la empresa colaboradora, se estudió el deterioro de la carne cocinada muestreando a dos tiempos diferentes de almacenamiento en refrigeración, 5 semanas, el periodo de caducidad que se suele asumir para este tipo de producto, y 10 semanas, un periodo prolongado donde, en teoría, deberían intensificarse los fenómenos relacionados con el deterioro de la carne cocinada. La temperatura de conservación elegida fue 2 °C, suficiente para inhibir la proliferación de *Clostridium botulinum* y otros microorganismos patógenos que pueden comprometer la seguridad de la carne cocinada.

Para poder establecer la calidad y vida comercial del lomo *sous vide*, en primer lugar se testaron los principales grupos de microorganismos que, a priori, podrían alterar la carne cocinada refrigerada en condiciones de anaerobiosis, completando el estudio microbiológico con la determinación de enterobacterias, indicadoras de malas prácticas de elaboración, y por tanto, de la calidad higiénica de los alimentos. Así mismo, se determinaron diversos parámetros relacionados con una posible deshidratación debido a migraciones de vapor de agua a través del envase (actividad de agua), una posible acidificación por fermentación láctica de la carne (pH y ácido láctico), posibles alteraciones del color debido a la oxidación y a la interacción con el envase (reflectancia) y posibles cambios de textura debido a la posible actividad residual de enzimas endógenas y microbianas no inactivadas por el tratamiento térmico (deformación y corte con una sonda

Warner-Bratzler). Por último, se evaluó el deterioro sensorial mediante análisis descriptivo cuantitativo a partir de atributos propios de la carne cocinada (color, olor, sabor, dureza, jugosidad, masticabilidad y pastosidad) que pudieran estar afectados, así como con otros descriptores directamente relacionados con el deterioro típico de la carne cocinada, tales como el enranciamiento, el olor y sabor a recalentado o la acidificación por fermentación láctica. Finalmente, se estableció el criterio de aceptación o rechazo para el lomo cocinado por el método *sous vide*.

## **I.2. OBJETIVOS.**

El objetivo de este primer ensayo fue estudiar el deterioro microbiológico, físico-químico y sensorial del lomo de cerdo procesado por el método *sous vide* y almacenado en refrigeración durante un tiempo suficiente para provocar una significativa pérdida de aceptación del mismo.

## **I.3. MATERIAL Y MÉTODOS.**

Para la realización de este experimento se fabricaron dos lotes con carne de cerdo procedente del músculo *longissimus dorsi*. Se prepararon 36 muestras de lomo de cerdo cortado en porciones cilíndricas de dimensiones 10x10x5 cm con un peso aproximado de 500 g. El procesamiento de las muestras se realizó según lo descrito en el apartado 3.1.1 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS de esta Tesis Doctoral. Se realizó un marcado de las muestras a 300 °C durante 5 min y la relación temperatura/tiempo de cocinado fue de 70 °C/12 h, siendo la temperatura en el centro del producto de 70 °C durante 11 horas. Con el fin de evaluar el deterioro microbiológico, físico-químico y sensorial, las muestras se almacenaron a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas en una cámara de refrigeración en ausencia de luz.

El deterioro microbiológico se evaluó analizando los recuentos de aerobios y anaerobios psicrófilos, enterobacterias totales, bacterias ácido lácticas y mohos

y levaduras según el protocolo descrito en el apartado 3.3 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS.

El deterioro físico-químico se evaluó mediante la medida de las coordenadas del color CIELab, actividad de agua, pH, acidez total, índices de TBARs y textura instrumental (masticabilidad, cohesividad, gomosidad, dureza, elasticidad y fuerza de corte) según lo descrito en el apartado 3.2 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS. Para la realización de las pruebas de TPA y Warner-Bratzler, las muestras de lomo se cortaron en dimensiones 1,5x3x3 cm y 1,5x1,5x3,5 cm, respectivamente.

El estudio del deterioro sensorial del producto se realizó mediante un análisis descriptivo cuantitativo (QDA) según lo establecido en el apartado 3.4 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS. Para ello, se analizaron 14 atributos (4 de olor, 4 de sabor, 4 de textura, apariencia y aceptación). La **Tabla 32** muestra la definición de los diferentes atributos sensoriales empleados en el estudio del deterioro sensorial del lomo de cerdo cocinado *sous vide*. Los distintos atributos fueron puntuados con una escala de intervalos de 5 puntos donde el significado de los extremos varió según los atributos a estudiar. La **Tabla 33** muestra el significado de los extremos de la escala para los diferentes atributos de olor, sabor, textura, apariencia y aceptación. Para cuantificar el deterioro de las muestras almacenadas 5 ó 10 semanas se estableció el lomo de cerdo recién cocinado (semana 0) como referencia de calidad sensorial máxima. Durante el entrenamiento del panel, los jueces se familiarizaron con el producto deteriorado, lo que permitió establecer los criterios de puntuación en función de las muestras recién cocinadas. De esta manera, se observó una pérdida de intensidad en los atributos de olor propio, sabor propio, dureza, pastosidad, jugosidad, masticabilidad, apariencia y aceptación y un aumento en los característicos del deterioro como el olor rancio, olor WOF, olor ácido, sabor rancio, sabor WOF y sabor ácido. Finalmente, se concluyó las puntuaciones de cada uno de los atributos del patrón de referencia (lomo de cerdo recién cocinado), situando con la máxima intensidad (5,00) aquellos atributos cuya intensidad presumiblemente

desciende y con la mínima intensidad (1,00) aquellos que presumiblemente aumenta durante el almacenamiento refrigerado del producto cocinado. Por último, los panelistas cataron de forma conjunta muestras recién cocinadas y almacenadas 5 ó 10 semanas con el fin de cuantificar la pérdida o ganancia de cada uno de los atributos durante el almacenamiento refrigerado. Las variaciones registradas en los atributos se expresaron en porcentaje con respecto a las muestras recién cocinadas (semana 0).

**Tabla 32.** Atributos utilizados en el estudio del deterioro sensorial del lomo de cerdo cocinado a vacío en bolsas plásticas y termorresistentes.

<b>Atributos</b>		<b>Definición</b>
Olor propio	OP	Olor asociado a carne de cerdo recién cocinada.
Olor rancio	OR	Olor asociado a carne oxidada y ligeramente ácida.
Olor WOF	OW	Olor asociado a “cartón”, “humedad”, etc.
Olor ácido	OA	Olor asociado al provocado por disoluciones de sustancias ácidas.
Sabor propio	SP	Sabor asociado a carne de cerdo recién cocinada.
Sabor rancio	SR	Sabor asociado a carne oxidada y ligeramente ácida.
Sabor WOF	SW	Sabor asociado a “cartón”, “humedad”, etc.
Sabor ácido	SA	Sabor asociado al provocado por disoluciones de sustancias ácidas.
Dureza	DU	Fuerza requerida para romper la muestra con los dientes.
Pastosidad	PA	Capacidad para formar una pasta cuando la muestra es masticada.
Masticabilidad	MA	Número de masticaciones necesarias a una tasa constante de aplicación, para reducir el alimento a una consistencia adecuada para tragarla.
Jugosidad	JU	Cantidad de agua liberada por la muestra durante la masticación.
Apariencia	AP	Pérdida del color a original, oscurecimiento y pérdida de humedad de la carne.
Aceptación	AC	Engloba la calidad de los atributos de olor, sabor, textura y apariencia.

**Tabla 33.** Escala de 5 puntos utilizada en el análisis sensorial de lomo de cerdo cocinado mediante el método *sous vide*.

Atributos	1	→	5
Olor y sabor	Percepción mínima		Percepción máxima
Textura	Percepción mínima		Percepción máxima
Apariencia	Pérdida mínima		Pérdida máxima
Aceptación	Aceptación mínima		Aceptación máxima

Se realizó un análisis estadístico descriptivo considerando la semana de almacenamiento como tratamiento. El efecto del almacenamiento sobre el lomo de cerdo *sous vide* se determinó mediante ANOVA (Test de medias de Scheffe). Se determinaron los coeficientes de correlación de Pearson entre la aceptación y el resto de atributos sensoriales para evaluar la contribución a la calidad del producto.

#### I.4. RESULTADOS.

##### I.4.1. Deterioro microbiológico.

La **Figura 19** muestra los recuentos medios de aerobios y anaerobios psicrófilos, enterobacterias totales, bacterias ácido lácticas y mohos y levaduras para lomo de cerdo cocinado a vacío y conservado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas. No se detectó presencia de aerobios y anaerobios psicrófilos, enterobacterias totales ni bacterias ácido lácticas. Sólo se observaron moderados recuentos (1,8-3,2 log ufc/g) de mohos y levaduras. No existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los recuentos medios de ninguno de los microorganismos analizados según el tiempo de almacenamiento. El procesado *sous vide* empleado aseguró recuentos nulos o muy bajos de la flora alterante y enterobacterias totales en el lomo de cerdo cocinado a vacío y conservado a 2 °C durante 10 semanas.



#### I.4.2. Deterioro físico-químico.

La **Tabla 34** muestra los valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro físico-químico para lomo de cerdo cocinado a vacío y conservado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas. El valor de actividad de agua medio estuvo entre 0,92 y 0,94. El pH presentó un valor medio entre 5,90 y 6,10. La actividad de agua y pH presentaron pequeños, aunque significativos ( $P < 0,05$ ), incrementos en la semana 5 con respecto a las semanas 0 y 10. El índice de TBARs medio también aumentó ( $P < 0,05$ ) de 0,16 (semana 0) a 0,57 mg MDA/kg (semana 5) y después disminuyó ( $P < 0,05$ ) a 0,29 mg MDA/kg (semana 10). La acidez total decreció de forma apreciable ( $P < 0,05$ ), con valores de 0,21%/0,16%/0,09% (semana 0/5/10). No se encontraron cambios significativos ( $P > 0,05$ ) de las coordenadas de color CIELab durante el almacenamiento, presentando valores medios comprendidos entre 75-76 (L), 6-7 (a\*), 12-13 (b\*), 13-15 (C\*) y 60-61 (H\*). Apenas hubo cambios apreciables de pH,  $a_w$ , TBARs y color asociados al deterioro del lomo de cerdo cocinado a vacío y conservado a 2 °C durante 10 semanas, tan sólo un descenso de ácido láctico.

Se observaron pequeños cambios de textura instrumental durante el almacenamiento de lomo de cerdo. La dureza presentó valores medios entre 31 y 35 N. La cohesividad media estuvo alrededor de 0,5. La gomosidad media estuvo entre 15 y 18 N. Sólo la elasticidad y fuerza de corte presentaron descensos apreciables ( $P < 0,05$ ) con respecto a los valores iniciales. La elasticidad media disminuyó ( $P < 0,05$ ) de 5,4 (semana 0) a 4,6 (semana 5) y 4,4 (semana 10). La fuerza de corte media disminuyó ( $P < 0,05$ ) de 59 N (semana 0) a 28 N (semana 5) y 38 N (semana 10). El análisis instrumental de textura del lomo de cerdo cocinado a vacío ofreció resultados poco claros. El valor de dureza no fue coherente con el descenso de la fuerza de corte.

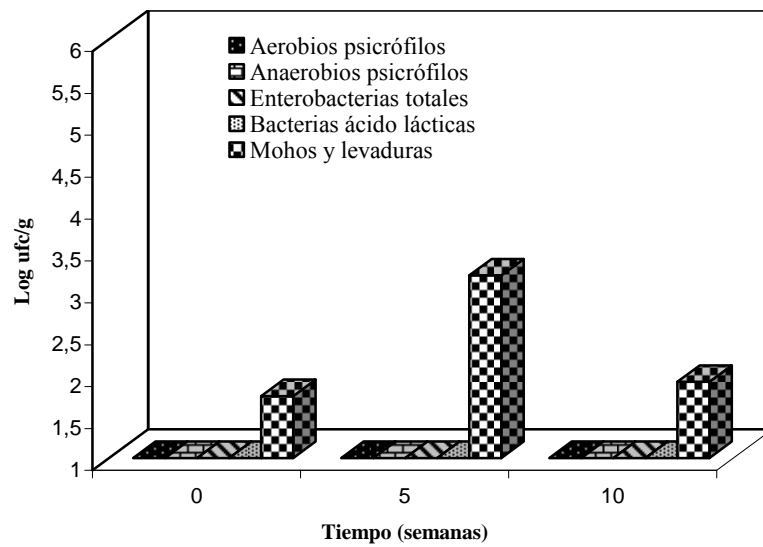
### I.4.3. Deterioro sensorial.

La **Figura 20** muestra la variación de las puntuaciones medias de los atributos sensoriales para lomo de cerdo cocinado a vacío tras 5 y 10 semanas de almacenamiento a 2 °C. La apariencia, el olor y sabor del lomo de cerdo recién cocinado se deterioró durante el almacenamiento. Las puntuaciones medias de apariencia descendieron un 33%/47% (semana 5/10), debido al oscurecimiento del color marrón-gris característico del lomo cocido. Las puntuaciones medias de olor propio disminuyeron un 39%/59% (semana 5/10). Los valores medios para el sabor propio disminuyeron un 35%/66% (semana 5/10). Los atributos de olor y sabor rancio aumentaron un 7%/26% y un 8%/28% (semana 5/10), respectivamente. Los atributos de olor y sabor WOF presentaron aumentos medios de 12%/32% (semana 5/10). Los atributos de olor y sabor ácido apenas fueron detectando por el panel. El panel detectó una noticeable pérdida de la textura original del lomo de cerdo cocinado, sobre todo en las 5 primeras semanas. El lomo fue considerado más blando, desmenuzable y seco. Los descensos medios de las puntuaciones fueron: dureza (24%/30%); pastosidad (21%/23%); jugosidad (19%/24%) y masticabilidad (15%/25%).

La apariencia también empeoró fuertemente, disminuyendo un 40%/67% (semana 5/10). El lomo fue considerado inaceptable por el panel en la semana 10. La **Tabla 35** recoge los coeficientes de correlación entre la aceptación y el resto de atributos sensoriales para lomo de cerdo cocinado a vacío. El valor de la aceptación estuvo correlacionado ( $P < 0,05$ ) con diez atributos sensoriales. Los coeficientes R ordenados de mayor a menor fueron: sabor propio > olor propio > apariencia > olor WOF > olor rancio > jugosidad > sabor ácido > sabor rancio > dureza > olor ácido. La pérdida de aceptación del lomo se explicaría sobre todo por el deterioro del sabor y olor propio y de la apariencia. Además de la presencia de olores y sabores desagradables, la pérdida de jugosidad y firmeza también contribuyó a la pérdida de aceptación del lomo, probablemente debido al intenso cocinado (12h a 70 °C). El deterioro sensorial del lomo de cerdo cocinado a vacío precedió al deterioro microbiológico y no estuvo relacionado con la proliferación

de flora alterante, ni con variaciones de los niveles de oxidación de lípidos y pigmentos, acidez o pH. La vida comercial del lomo cocinado a vacío correctamente pasteurizado y conservado a 2 °C estaría limitada principalmente por la pérdida de aceptación.

**Figura 19.** Valores medios de los recuentos microbiológicos para lomo de cerdo cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas.

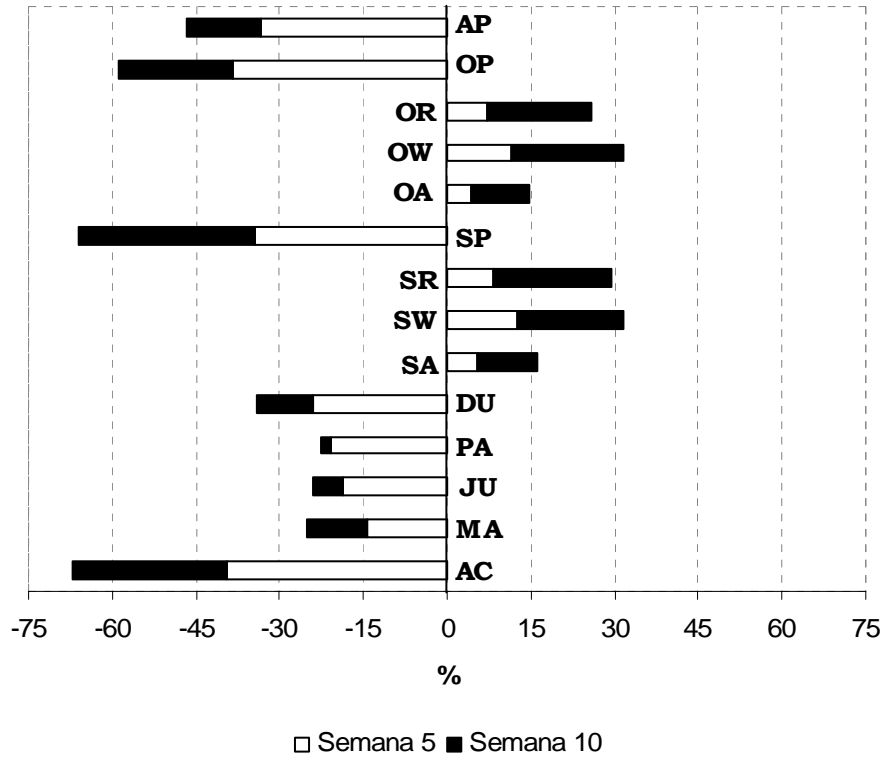


**Tabla 34.** Valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro físico-químicos para lomo de cerdo cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas.

Semanas a 2 °C	0	5	10
	M ± D	M ± D	M ± D
<b>a<sub>w</sub></b>	0,92 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,94 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,93 ± 0,01 <sup>ab</sup>
<b>pH</b>	5,75 ± 0,06 <sup>b</sup>	6,10 ± 0,21 <sup>a</sup>	5,95 ± 0,15 <sup>ab</sup>
<b>Acidez total</b>	0,21 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,16 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,09 ± 0,01 <sup>c</sup>
<b>TBARs</b>	0,16 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,57 ± 0,12 <sup>a</sup>	0,29 ± 0,16 <sup>b</sup>
<b>L* (Luminosidad)</b>	74,57 ± 2,09	76,70 ± 2,03	76,21 ± 1,76
<b>A* (rojo-verde)</b>	6,57 ± 1,35	7,19 ± 1,69	7,14 ± 0,80
<b>B* (amarillo-azul)</b>	11,70 ± 0,44	12,15 ± 0,53	12,87 ± 1,63
<b>C* (Chroma)</b>	13,45 ± 0,90	14,17 ± 1,17	14,74 ± 1,58
<b>H* (° Hue)</b>	60,91 ± 4,62	59,71 ± 5,39	60,84 ± 3,39
<b>Dureza</b>	30,43 ± 1,97	30,71 ± 4,84	35,36 ± 9,01
<b>Cohesividad</b>	0,49 ± 0,06	0,54 ± 0,07	0,51 ± 0,04
<b>Elasticidad</b>	5,44 ± 0,79 <sup>a</sup>	4,56 ± 0,39 <sup>ab</sup>	4,43 ± 0,32 <sup>b</sup>
<b>Gomosidad</b>	14,92 ± 2,01	16,84 ± 4,74	17,95 ± 4,01
<b>Masticabilidad</b>	81,85 ± 20,47	78,10 ± 29,07	80,48 ± 22,44
<b>Fuerza de corte</b>	59,42 ± 1,76 <sup>a</sup>	27,81 ± 11,09 <sup>b</sup>	37,96 ± 6,40 <sup>b</sup>

\* Valores medios con diferentes superíndices muestran diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).

**Figura 20.** Variaciones medias (expresadas como porcentaje) de los atributos sensoriales de lomo de cerdo cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas.



\* Resultados expresados como porcentaje acumulado con respecto a las puntuaciones recibidas en la semana 0.

**AP:** Apariencia; **OP:** olor propio a carne cocinada; **OR:** olor rancio; **OW:** olor WOF; **OA:** olor ácido; **SP:** sabor propio a carne cocinada; **SR:** sabor rancio; **SW:** sabor WOF; **SA:** sabor ácido; **DU:** dureza; **PA:** pastosidad; **JU:** jugosidad; **MA:** masticabilidad y **AC:** aceptación.

**Tabla 35.** Coeficientes de correlación entre la aceptación y el resto de atributos sensoriales para lomo de cerdo cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 5 o 10 semanas.

	<b>R</b>	<b>P</b>
<b>Color</b>		
Apariencia	0,61	***
<b>Olor</b>		
Propio a carne cocinada	0,65	***
Rancio	-0,42	**
WOF	-0,47	**
Ácido	-0,32	*
<b>Sabor</b>		
Propio a carne cocinada	0,69	***
Rancio	-0,43	*
WOF	-0,27	
Ácido	-0,40	**
<b>Textura</b>		
Dureza	0,35	*
Pastosidad	0,11	
Jugosidad	0,41	**
Masticabilidad	0,13	

Nivel de significancia: \*(P≤0,05), \*\*(P≤0,01), \*\*\*(P≤0,001)

## 1.5. DISCUSIÓN.

La tecnología *sous vide* asegura la calidad microbiológica de la carne cocinada durante los amplios periodos de almacenamiento en refrigeración requeridos en los sistemas de catering (Simpson y col., 1994; Hansen y col., 1995; Nyati, 2000; Vaudagna y col. 2002; Wang y col., 2004). Una temperatura de horno de 70 °C durante 12 horas consiguió una pasteurización efectiva de las piezas de lomo envasadas al vacío. La combinación de calentamiento moderado, baja tensión de O<sub>2</sub>, envasado estanco, enfriamiento rápido y conservación a 2 °C fue efectiva contra microorganismos con actividad proteolítica y lipolítica que pueden alterar la carne cocinada. Sin embargo, el lomo de cerdo cocinado por el

método *sous vide* sufrió un considerable deterioro sensorial durante su almacenamiento en refrigeración, pese a ser microbiológicamente estable.

Nyati (2000), estudió la calidad microbiológica de 17 platos *sous vide* a base de carne y pescado, cocinados a una temperatura interna 70 °C/2 min, y conservados hasta 5 semanas a 3 y 8 °C, encontrando recuentos de mesófilos totales entre 3 y 4 log ufc/g. En cambio, no detectó patógenos como *Lysteria monocytogenes*, *Salmonella*, *Clostridium pefringens* o *Bacillus cereus*. Como se ha visto, el procesado *sous vide* aplicado al lomo de cerdo proporcionó recuentos de microorganismos alterantes nulos o escasos. Simpson y col. (1994) encontraron recuentos de bacterias ácido lácticas superiores a 3 log ufc/g en espaguetis con salsa de carne *sous vide* (65 °C/15 min y 75 °C/37 min) conservados durante 40 días a 5 °C. Nyati (2000) encontró recuentos de bacterias lácticas entre 2 y 6 log ufc/g en diversos platos *sous vide*, como muslos de pollo, lomo de cerdo y albondigas en salsa agridulce, después de 3-4 semanas a 8 °C, pero estos recuentos desaparecieron cuando los platos fueron conservados a 3 °C.

Los microorganismos psicrófilos y enterobacterias son relativamente poco resistentes al calor y suelen ser inactivados mediante pasteurización. Esto explicaría la ausencia de aerobios y anaerobios psicrófilos y enterobacterias totales en lomo de cerdo *sous vide*. Nyati (2000) tampoco encontró enterobacterias totales en diversos platos cocinados *sous vide* a base de carne y conservados en refrigeración. También se han econtrado recuentos de bacterias anaerobias mesófilas de hasta 4 ufc/g en productos cárnicos cocinados *sous vide* como espaguetis con salsa de carne (Simpson y col., 1994) y alas de pollo (Wang y col., 2004). Por el contrario, Hansen y col., (1995) no detectaron anaerobios mesófilos en carne de ternera cocinada *sous vide* (62 °C/16 min) y conservada durante 5 semanas a 2 °C. Vaudagna y col. (2002) encontraron recuentos de aerobios mesófilos en superficie comprendidos entre 2 y 4 log ufc/cm<sup>2</sup> en ternera cocinada *sous vide* y conservada hasta 60 días a 1 °C. Los mohos y levaduras fueron los únicos microorganismos testados que experimentaron un crecimiento moderado en lomo de cerdo *sous vide* conservado en refrigeración. Nyati (2000)

también detectó recuentos de levaduras (2 log ufc/g) y mohos (4 log ufc/g) en albondigas *sous vide* (70 °C). Wang y col. (2004) observaron recuentos de levaduras superiores a 3 log ufc/g en alas de pollo *sous vide* almacenadas durante 7 semanas a 2 y 7 °C.

La actividad de agua y el pH pueden afectar a la eficacia del tratamiento térmico sobre los microorganismos. Variaciones de  $a_w$  y pH se pueden relacionar con el crecimiento microbiano en platos refrigerados. El lomo de cerdo *sous vide* presentó una  $a_w$  alta, aunque por debajo del límite de riesgo de crecimiento microbiológico, en cambio, el pH fue alto si tenemos en cuenta el riesgo potencial de botulismo en platos conservados en anaerobiosis (Church, 1996). Como se ha visto, la  $a_w$  y el pH presentaron pequeñas variaciones durante el almacenamiento. Por su parte, el contenido en ácido láctico no aumentó, sino que se degradó durante el almacenamiento. Esto es coherente con los recuentos obtenidos de bacterias lácticas, puesto que un incremento del contenido en ácido láctico hubiera indicado actividad metabólica por parte de éstas, implicando olores y sabores ácidos o pútridos. El procesado *sous vide* también fue eficaz para prevenir la acidificación por fermentación de bacterias lácticas, causa de deterioro usual de los platos cocinados conservados en refrigeración y anaerobiosis. Simpson y col. (1994), registraron valores similares del contenido de ácido láctico en espaguetis con salsa de carne, pero en este caso, el porcentaje de ácido láctico aumentó durante el almacenamiento debido al crecimiento de bacterias ácido lácticas.

La oxidación es otra importante causa de deterioro de los platos refrigerados. Niveles estables de oxidación suelen indicar una correcta extracción del aire del envase, adecuada permeabilidad al oxígeno y termorresistencia del plástico utilizado. La apariencia externa de la carne recién cocinada condiciona su aceptación y puede estar afectada por fenómenos de oxidación. En porciones de carne *sous vide*, la superficie en contacto con el envase es la zona más expuesta a la oxidación, ya que el oxígeno ambiente difunde a través del plástico. La apariencia de las porciones de lomo de cerdo empeoró por el oscurecimiento del color original. Según Schafheitle (1990), el procesado *sous vide* previene la



pérdida del color propio de los alimentos de mejor forma que los métodos convencionales de cocinado-ensvasado.

La oxidación de lípidos modifica el olor y sabor original de la carne recién cocinada, pudiendo aparecer rancidez, WOF y otros olores y sabores desagradables. El hierro es el principal catalizador de la rancidez oxidativa en la carne, aumentando su acción catalítica por su liberación durante la desnaturalización de las proteínas que facilita su unión a lípidos de membrana, como fosfolípidos y ácidos grasos poliinsaturados, favoreciendo su oxidación (Igene y col., 1981). La temperatura óptima de liberación del hierro está entre 63 y 70 °C (Chen y col., 1984). Las reacciones de oxidación están favorecidas por la presencia de oxígeno residual en contacto con el alimento y por la difusión de oxígeno a través del envase. Como se ha visto, la tecnología *sous vide* retrasó la oxidación de lípidos, obteniendo valores de TBARs bajos, aunque no evitó la pérdida de olor y sabor característico de la carne cocinada (Schafheitle, 1990; Church, 1996; Vaudagna y col. 2002; Wang y col., 2004). Los valores de TBARs mostraron un descenso después de 5 semanas de almacenamiento, hecho recojido en la bibliografía revisada (Raharjo y Sofos, 1993). La oxidación del MDA puede dar lugar a compuestos que no reaccionan con el TBA o reaccionan con aminoácidos o proteínas dando lugar a compuestos fluorescentes (Stapelfeldt y col., 1992). Se han observado valores de TBARs entre 0,5 y 2 mg MDA/kg en carne cocinada *sous vide* y conservada varias semanas en refrigeración (Smith y Álvarez, 1988; Grigioni y col., 2000; Vaudagna y col., 2002; Wang y col., 2004). Según Campo y col. (2006), 2 mg MDA/kg es el valor umbral para detectar la rancidez de la carne mediante análisis sensorial. Sin embargo, olores y sabores desagradables de intensidad moderada se detectan en lomo de cerdo *sous vide*, pese a presentar valores de TBARs considerablemente menores. Los valores de TBARs pueden perder eficacia como índice de oxidación cuando el MDA reacciona con aminoácidos o proteínas que no forman compuestos coloreados con el TBA (Stapelfeldt y col., 1992). Ello podría explicar la falta de concordancia entre los índices de TBARs y la rancidez sensorial, así como posibles variaciones de los valores TBARs en alimentos refrigerados o madurados. Sin embargo, la

información obtenida no explica porqué se produce una fuerte pérdida de olor y sabor original del lomo recién cocinado. Futuros estudios deberían profundizar en el conocimiento de los mecanismos que determinan la aparición de olores y sabores desagradables en los platos *sous vide* a base de carne y conservados en refrigeración.

La pérdida de la textura original también limita la aceptación del lomo cocinado *sous vide*. El calor húmedo a baja temperatura minimiza la pérdida de jugo y ablanda el tejido conectivo del músculo cocinado, mejorando la terneza, jugosidad y masticabilidad. Una temperatura de 53-63 °C es suficiente para coagular el colágeno y formar gelatina (Tornberg, 2005). Por el contrario, las proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares gelificadas aumentan la consistencia del músculo (Laakkonen, 1973). La tecnología *sous vide* es idónea para obtener carnes tiernas y jugosas, de hecho, la mejora de la textura suele ser un objetivo mayor en esta tecnología. Los cambios de textura observados en el músculo cocinado-refrigerado corresponderían sobre todo a la degradación de las proteínas, debido a la actividad química y enzimática. Aunque el calentamiento a 70 °C inactiva gran parte de las proteasas musculares, la actividad proteásica residual continúa en el producto refrigerado.

Los cambios en los valores instrumentales de textura durante el almacenamiento fueron poco relevantes. Lo más destacable fue el descenso de la fuerza de corte. Se han registrado valores de fuerza de corte muy dispares en carne de ternera cocinada *sous vide* (Vaudagna y col., 2002; García-Segovia y col., 2007). Wang y col. (2004), observaron pequeñas variaciones de los valores de fuerza de corte (de 15 a 12 N) en carne de pollo cocinada *sous vide* y conservada durante 7 semanas a 2 °C. No se han encontrado datos de TPA en carne y pescado cocinados *sous vide*. El análisis instrumental de textura fue poco coherente con el análisis sensorial. Según Szczesniak (2002), los cambios reológicos detectados instrumentalmente son difíciles de apreciar por un panel sensorial entrenado. No obstante, los resultados obtenidos sugieren que la metodología empleada debe ser revisada y mejorada con el objeto de estandarizar las medidas de textura. El

análisis sensorial resultó crucial para conocer los cambios de textura en el lomo de cerdo cocinado *sous vide* y conservado en refrigeración. La carne cocinada se hizo más blanda y desmenuzable, algo menos jugosa y más fácil de masticar. Hubiera sido necesaria información adicional para aclarar los mecanismos de degradación de la textura de la carne cocinada *sous vide*.

La pérdida de aceptación es el principal factor que limita la vida comercial de platos *sous vide* a base de carne y conservados en refrigeración. El procesado *sous vide* aseguró la calidad microbiológica, pero no preservó las cualidades sensoriales del lomo cocinado durante largo tiempo. Creed (1995) ha resaltado la importancia de realizar estudios sensoriales para determinar la vida comercial de platos *sous vide*, ya que cuando sólo se emplean criterios microbiológicos se puede sobreestimar erróneamente el periodo de caducidad de los platos. Armstrong y McIlveen (2000) han planteado el interés de desarrollar una metodología sensorial transferible y reproducible para establecer con precisión la pérdida de aceptación por el consumidor de los platos *sous vide* durante el almacenamiento.

## **I.6.CONCLUSIONES.**

**Primera.** El deterioro sensorial limita la vida comercial en refrigeración de las piezas de lomo cocinado por el método *sous vide*. Los signos de deterioro sensorial se detectan antes que cualquier otro signo de deterioro microbiológico o físico-químico. La carne cocinada experimenta una considerable pérdida de aceptación durante el almacenamiento en refrigeración, debido a un deterioro progresivo del color, sabor y olor característico a carne recién cocinada, junto con moderados signos de enraciamiento y envejecimiento, pérdidas de jugosidad y masticabilidad.

**Segunda.** El procesado *sous vide* aplicado previene el deterioro microbiológico del lomo cocinado con un amplio margen, siendo recomendable

reducir el tiempo de cocinado para conseguir un mejor equilibrio entre calidad sensorial y capacidad de conservación. Las bolsas plásticas utilizadas presentan propiedades barrera adecuadas, pues no se producen pérdidas significativas de vapor de agua, ni se aprecia oxidación por migración del oxígeno del ambiente. Tampoco proliferan bacterias ácido lácticas, ni se detectan recuentos de bacterias psicrófilas, mientras que mohos y levaduras proliferan en poblaciones insuficientes para alterar la carne cocinada. El método *sous vide* también inhibe la contaminación microbiológica por enterobacterias, resultando efectivo para prevenir problemas ocasionados por prácticas de elaboración poco higiénicas.

**Tercera.** El análisis sensorial resulta más eficaz para evaluar el deterioro de la carne cocinada *sous vide*, que los parámetros físico-químicos empleados habitualmente para monitorizar la deshidratación, oxidación, alteración microbiológica y cambios de la textura de los productos cárnicos. La información obtenida no permite explicar esta pérdida de aceptación, ya que no se detectan incrementos reseñables en la oxidación de lípidos, ni cambios evidentes en el color, siendo aún más confusa la información proporcionada por el texturómetro. Esto sugiere la conveniencia de realizar otro tipo de análisis que puedan aclarar esta cuestión.



OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE COCINADO PARA EL  
LOMO DE CERDO *SOUS VIDE*.



## II.1. INTRODUCCIÓN.

El tratamiento térmico (70 °C/12 h) empleado inicialmente por la empresa colaboradora para el cocinado del lomo de cerdo *sous vide* garantizó un amplio margen de estabilidad microbiológica, sin embargo, fue muy agresivo con la calidad sensorial inicial del lomo, descrita por el panel como una carne seca y que terminó alcanzando con el tiempo matices rancios y a recalentado. Todos los panelistas coincidieron en que el proceso *sous vide* aplicado proporcionó una textura deficiente para una carne sin salsa, lo que sugirió el empleo de tiempos de cocinado más cortos que proporcionaran mayor jugosidad. Por esta razón, se decidió estudiar el efecto sensorial de tiempos de cocinado comprendidos entre 1,5 y 8,5 h.

La mejora de la textura de la carne cocinada suele ser un objetivo mayor de la tecnología *sous vide*. Una temperatura de 53-63 °C resulta suficiente para coagular el colágeno y forma gelatina (Tornberg, 2005). El tejido conectivo, rico en colágeno, se retrae inicialmente al ser calentado, para después romper los puentes de hidroxiprolina que actuaban como uniones transversales entre las moléculas de colágeno. Como consecuencia de ello, estas moléculas adquieren capacidad de hidratación y movilidad. El colágeno gelatinizado por el calor es transparente, mientras que el colágeno nativo es opaco. La temperatura óptima de gelatinización del colágeno muscular se sitúa por debajo de los 80 °C, a partir de los cuales la gelatina se deshidrata en exceso, sobre todo si se aplica calor seco, empeorando la textura de la carne cocinada, de ahí que sea bastante común cocinar la carne *sous vide* a temperaturas cercanas a 70 °C (Hansen y col., 1995; Nyati, 2000; Roca y Brugués, 2003).

A igualdad de otros parámetros (dimensiones y engrasamiento de la pieza, método de aplicación del calor, etc.), la cantidad de tejido conectivo es quizás el factor que determina el tiempo de cocción necesario de la carne. Por ejemplo, la carne procedente del músculo *longissimus dorsi* porcino es poco fibrosa y presenta un contenido en colágeno bajo (2,5-3,1 mg/g). El calentamiento provoca un acortamiento y relajación del tejido conectivo que separa las fibras musculares, endomisio y perimisio y a consecuencia de ello, la carne se ablanda, pierde su elasticidad y mejora considerablemente sus propiedades de masticación. Además, el calentamiento prolongado disminuye la capacidad de retención de agua de la carne debido a la progresiva desnaturalización de las proteínas miofibrilares, y por ende, la jugosidad de la carne cocinada.

Por último, como se pudo ver, el análisis sensorial fue el criterio más eficiente para determinar la pérdida de calidad de la carne cocinada. El análisis sensorial efectuado en el capítulo anterior tenía como objetivo cuantificar el deterioro, es decir, la pérdida de intensidad con respecto al producto recién cocinado, mientras que en este ensayo el objetivo fue determinar el grado de aceptación de la carne cocinada y en concreto, la contribución de la apariencia, el aroma, el sabor y la textura a la aceptabilidad global del lomo cocinado. Así pues, se modificó la metodología empleada, incluido el entrenamiento del panel y los criterios de puntuación, para intentar establecer el efecto del tiempo de cocinado sobre la calidad del lomo recién cocinado por el método *sous vide*.

## **II.2. OBJETIVOS.**

El objetivo de este segundo capítulo fue mejorar la calidad sensorial inicial del lomo de cerdo envasado a vacío en bolsas plásticas termorresistentes y cocinado con el método *sous vide* mediante la reducción del tiempo de cocinado a 70 °C.

### II.3. MATERIAL Y MÉTODOS.

Para realizar esta experiencia se prepararon dos lotes con un total de 40 muestras de carne de cerdo procedente del músculo *longissimus dorsi* envasada y cocinada de igual forma que lo descrito en la sección MATERIAL Y MÉTODOS del Capítulo I. Para mejorar la calidad sensorial del lomo de cerdo *sous vide* recién cocinado se redujo el tiempo de cocinado y para ello se emplearon 5 tiempos de cocinado diferentes: 1,5, 2,5, 4,5, 6,5 y 8,5 h. La seguridad microbiológica del lomo de cerdo *sous vide*, fue constatada para un tiempo de 12 h en el Capítulo I. Por ello, en el presente capítulo sólo se realizó el recuento de enterobacterias totales (ver apartado 3.3 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS) después de 8 semanas de almacenamiento a 2 °C en una cámara de refrigeración en ausencia de luz, como índice de garantía higiénica y adecuado tratamiento térmico.

Para estudiar la calidad sensorial del producto recién cocinado se realizó un análisis descriptivo cuantitativo (QDA) (ver apartado 3.4 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS) de 9 atributos sensoriales propios que pudieran verse afectados por el tiempo de cocinado: color, olor y sabor de la carne, jugosidad, pastosidad, dureza, masticabilidad, aceptación y apariencia. Se utilizó una escala de intervalos de 5 puntos donde los extremos tuvieron un significado diferente en función de los atributos estudiados. La **Tabla 36** muestra el significado de los extremos de la escala para los diferentes atributos de olor, color, sabor, textura, apariencia y aceptación para el lomo de cerdo recién cocinado.

**Tabla 36.** Escala de 5 puntos utilizada en el análisis sensorial del lomo de cerdo recién cocinado mediante el método *sous vide*.

Atributos	1	→	5
Color, olor, sabor y textura	Percepción mínima		Percepción máxima
Apariencia	Intensidad mínima		Intensidad máxima
Aceptación	Aceptación mínima		Aceptación máxima



Se realizó un análisis estadístico descriptivo considerando el tiempo de cocinado como tratamiento. El efecto del tiempo sobre la calidad sensorial del producto se determinó mediante ANOVA (Test de medias de Scheffe).

#### **II.4. RESULTADOS.**

Los diferentes tratamientos térmicos ensayados fueron eficaces ante microorganismos indicadores de contaminación y aseguraron ausencia de enterobacterias totales después de 8 semanas de almacenamiento en refrigeración (2 °C) y anaerobiosis.

La **Tabla 37** muestra los valores medios y desviaciones típicas de los atributos sensoriales para el lomo de cerdo envasado a vacío en bolsas plásticas termorresistentes y cocinado por el método *sous vide* a 70 °C durante 1,5, 2,5, 4,5, 6,5 y 8,5 horas. Se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre los diferentes tratamientos para los atributos de color, jugosidad, pastosidad, dureza y apariencia global. Todos los atributos mostraron puntuaciones medias superiores a la mitad de la escala (2,50), excepto la dureza en la carne cocinada a 70 °C/2,5 h que recibió una puntuación de 2,40. Las características sensoriales propias de la carne de cerdo recién cocinada (color, olor y sabor) mostraron puntuaciones altas comprendidas entre 3,42 y 4,25, destacando el color propio con notas medias cercanas o superiores a 4,00 para los tratamientos de 6,5 y 8,5 horas y el olor propio cuando se empleó un tiempo de 6,5 horas. La jugosidad recibió puntuaciones medias cercanas a la mitad de la escala, siendo muy parecida en todos los tratamientos, ya que sólo las muestras cocinadas a 70 °C/2,5 h mostraron una jugosidad más alta (3,45). Por el contrario, las puntuaciones medias de pastosidad (2,75), masticabilidad (3,00) y dureza (2,40) presentaron los valores medios más bajos en las muestras cocinadas a 70 °C/2,5 h. La apariencia fue valorada con puntuaciones altas, cercanas o superiores a 3,50 en todos los tratamientos, incluso alcanzó valores de 4,02 en las muestras cocinadas a 70 °C/8,5 h.

La aceptación para los 5 tratamientos fue puntuada con valores medios comprendidos entre 3,15 y 3,52, siendo muy parecida en todos los casos.

El tiempo de cocinado afectó ligeramente a los atributos visuales y la textura del lomo de cerdo cocinado *sous vide*. Sin embargo, la aceptación del producto no se vio afectada, lo que sugiere que cualquier tiempo comprendido entre 1,5 y 8,5 horas proporciona una carne cocinada con una aceptabilidad similar, por lo que habría que tener en cuenta otros criterios (vida comercial, resistencia del envase, etc.) para determinar el tiempo de cocinado idóneo del lomo de cerdo *sous vide*.

**Tabla 37.** Valores medios y desviaciones típicas de los atributos sensoriales estudiados para el lomo de cerdo *sous vide* cocinado a 70 °C a diferentes tiempos.

70 °C	1,5 h	2,5 h	4,5 h	6,5 h	8,5 h
	M ± D	M ± D	M ± D	M ± D	M ± D
<b>CP</b>	3,62 ± 0,81 <sup>b</sup>	3,65 ± 0,93 <sup>b</sup>	3,47 ± 0,95 <sup>b</sup>	3,95 ± 0,90 <sup>ab</sup>	4,25 ± 0,79 <sup>a</sup>
<b>OP</b>	3,70 ± 0,83	3,67 ± 0,85	3,65 ± 0,93	3,97 ± 0,91	3,75 ± 0,95
<b>SP</b>	3,77 ± 0,82	3,47 ± 1,11	3,42 ± 0,99	3,72 ± 0,83	3,52 ± 1,09
<b>JU</b>	2,90 ± 1,12 <sup>ab</sup>	3,45 ± 0,93 <sup>a</sup>	2,80 ± 1,12 <sup>ab</sup>	2,57 ± 1,04 <sup>b</sup>	2,72 ± 1,12 <sup>b</sup>
<b>PA</b>	3,37 ± 0,81 <sup>a</sup>	2,75 ± 0,90 <sup>b</sup>	3,30 ± 1,12 <sup>ab</sup>	3,30 ± 1,02 <sup>ab</sup>	3,00 ± 1,09 <sup>ab</sup>
<b>MA</b>	3,42 ± 0,65	3,00 ± 1,08	3,25 ± 0,80	3,40 ± 0,93	3,35 ± 0,83
<b>DU</b>	3,17 ± 0,99 <sup>a</sup>	2,40 ± 0,90 <sup>b</sup>	3,12 ± 0,93 <sup>a</sup>	2,92 ± 0,95 <sup>ab</sup>	2,70 ± 1,02 <sup>ab</sup>
<b>AC</b>	3,50 ± 0,76	3,42 ± 0,94	3,15 ± 0,83	3,52 ± 0,95	3,17 ± 0,84
<b>AP</b>	3,60 ± 0,80 <sup>ab</sup>	3,42 ± 1,07 <sup>b</sup>	3,45 ± 0,89 <sup>ab</sup>	3,72 ± 1,09 <sup>ab</sup>	4,02 ± 0,82 <sup>a</sup>

\* Valores medios con diferentes superíndices muestran diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).

**CP:** Color propio a carne cocinada; **OP:** Olor propio a carne cocinada; **SP:** Sabor propio a carne cocinada; **JU:** Jugosidad; **PA:** Pastosidad; **MA:** Masticabilidad; **DU:** Dureza; **AC:** Aceptación; **AP:** apariencia.

## II.5. DISCUSIÓN.

La familia de las enterobacterias representa el 30% de los microorganismos capaces de crecer durante el almacenamiento de la carne de cerdo envasada a vacío (Asensio y col., 1988). En ocasiones, los tiempos empleados no son suficientes para destruir la microflora existente en la carne. En estos casos, las células son dañadas térmicamente y pueden ser capaces de recuperarse durante el almacenamiento, si las temperaturas son abusivas (Simpson y col., 1994). Debido a esto, es importante evaluar la efectividad de los tiempos empleados frente a enterobacterias totales, los cuales son indicadores de las condiciones higiénicas llevadas a cabo durante todo el proceso. La ausencia de enterobacterias totales en todas las muestras indicó que la calidad higiénica se mantuvo durante todo el periodo de almacenamiento. Idéntico resultado obtuvieron Vaudagna y col. (2002) en carne de ternera cocinada con el método *sous vide* a 50-65 °C/90-360 min y almacenada durante 55 días en refrigeración.

La relación temperatura/tiempo afecta directamente a la calidad sensorial y a las propiedades físicas de la carne (García-Segovia, 2007). Según la escala utilizada para los atributos de textura, la carne cocinada con una textura adecuada debe mostrar puntuaciones altas en jugosidad y bajas en pastosidad, masticabilidad y dureza. Sheard y Church (1992), indicaron que la baja temperatura y el alto contenido en humedad utilizado en el cocinado *sous vide* deberían favorecer la solubilización del colágeno y mejorar así la terneza de la carne. Si el cocinado es insuficiente para llevar a cabo una completa gelatinización, la carne se vuelve pastosa y dura. Este hecho, resalta la importancia de la elección del tiempo de cocinado en función de la cantidad de colágeno de la carne (Roca y Brugués, 2004).

La textura y, en concreto, la terneza, suele ser el parámetro que contribuye en mayor medida a la calidad sensorial de la carne cocinada. Sin embargo, la percepción de la textura de la carne es más compleja que la de otros atributos, como el color, sabor u olor, debido a que la textura comprende, a su vez, una serie

de parámetros o elementos, tales como la dureza, jugosidad, fibrosidad, pastosidad, masticabilidad, etc., difíciles de cuantificar mediante escalas hedónicas. Por este motivo, los atributos de textura del lomo cocinado fueron evaluados mediante una escala de intensidad de percepción.

La jugosidad es un atributo fundamental en la carne cocinada, especialmente en el caso del lomo porcino, que suele ser una carne muy magra que no se caracteriza por ser excesivamente jugosa cuando se consume sin salsa, de ahí que sea tan importante determinar el tiempo de cocinado adecuado para evitar una deshidratación excesiva. No necesariamente, un aumento de la intensidad del tratamiento térmico *sous vide* (mayor temperatura y mayor tiempo) produce una pérdida de jugosidad de la carne. Un aumento de 10 °C en la temperatura y hasta 28 min en el tiempo de cocinado puede favorecer un incremento en la jugosidad de la carne de pollo cocinada por el método *sous vide* (Church y Parsons, 2000).

Como se ha comentado, temperaturas próximas a 70 °C favorecen que la carne sea más jugosa (Baldwin y Cotterill, 1979). El tiempo de cocinado a esta temperatura afectó a la jugosidad de la carne, si bien los resultados obtenidos no fueron muy concluyentes. Los datos parecen indicar que el lomo *sous vide* necesitaría pocas horas de cocinado en las condiciones ensayadas, ya que la calidad microbiológica de la carne parece asegurada con cualquiera de los tiempos aplicados. Por ejemplo, cocinando el lomo a 70 °C durante 2,5 horas, o lo que es lo mismo, alcanzado y manteniendo una temperatura interna de 70 °C durante 1 hora, se consiguió una carne cocinada más jugosa que al aplicar tratamientos térmicos más prolongados. Al comparar tratamientos cortos, una hora de diferencia puede ser efectiva para conseguir un lomo más o menos jugoso, sin embargo, a partir de las 2,5 horas de cocinado parece producirse una pérdida paulatina de jugosidad, evidente a partir de 6,5 horas, probablemente debido a una mayor pérdida de líquidos de la carne por un cocinado demasiado prolongado.

La dureza de la carne es otro atributo que aporta una información similar al anterior. Como puede observarse en la **Tabla 37**, el lomo más tierno se obtuvo cocinando durante 2,5 horas a 70 °C, coincidiendo con la carne más jugosa, aunque los resultados fueron menos claros que para la jugosidad. En cualquier caso, teniendo en cuenta la escala de puntuación empleada para valorar la textura, cabe pensar que, tanto la jugosidad, como la dureza podrían utilizarse como parámetros de referencia para establecer el tiempo idóneo de cocinado de la carne, debido a que se tratan de atributos con un gran peso sensorial y relativamente sencillos de evaluar.

La evaluación sensorial del color también puede aportar mucha información sobre la calidad sensorial de la carne recién cocinada. Durante el cocinado de la carne, se produce un oscurecimiento del color indicativo de una correcta pasteurización (King y Whyte, 2006). Este oscurecimiento es debido a una degradación de la mioglobina (desoximioglobina, oximioglobina y carboximioglobina) debido a reacciones de oxidación-reducción que afectan a la apariencia y color de la carne (Liu y Chen, 2001). En el cocinado *sous vide*, el envasado a vacío de la carne retrasa la aparición del color dorado característico, debido a la ausencia de oxígeno que favorece las reacciones de oxidación de la mioglobina (Seyfert y col., 2004). Debido a esto, para conseguir un color a carne cocinada mejor valorado por el panel se necesitaron tiempos de cocinado superiores a 6,5 h. El color y la apariencia de las muestras cocinadas durante 8,5 horas mostraron las puntuaciones más altas, por lo que es posible afirmar que el cocinado prolongado a baja temperatura mejoraría progresivamente el aspecto de la carne.

Por contra, el tiempo de cocinado no parece afectar al olor y sabor característicos del lomo de cerdo recién cocinado, como se ha visto en la apariencia y textura. La intensidad en la percepción del olor y el sabor suele estar relacionada con la intensidad del tratamiento térmico (Ohlsson, 1977; Church y Parsons, 2000). La principal limitación del cocinado a baja temperatura es que no reproduce los colores y sabores a tostado típicos de las carnes asadas o fritas. La

descomposición térmica de aminoácidos y péptidos y la caramelización de los azúcares de la carne requieren, normalmente, temperaturas superiores a 150 °C (Mottram, 1994), de ahí que las piezas de lomo fueran marcadas previamente en un horno durante unos minutos antes de ser envasadas y cocinadas al vacío, ya que de otro modo el bouquet de la carne cocinada sería bastante pobre. Con el método *sous vide*, la carne se cuece en su propio jugo a baja temperatura en un envase estanco, ello reduce las pérdidas de compuestos aromáticos durante la cocción (Ghazala y col., 1995) pero también hay una menor formación de compuestos volátiles y no volátiles responsables del olor y el sabor a carne cocinada. Esto explicaría, por ejemplo, que se obtuvieran puntuaciones similares de olor y sabor en las muestras cocinadas durante 1,5 y 8,5 horas.

En general, las diferencias observadas en las puntuaciones de todos los atributos fueron poco relevantes. Se observaron diferencias significativas en aspectos visuales y textura entre las muestras cocinadas a distintos tiempos, a pesar de esto, no se apreciaron diferencias en la aceptación del lomo de cerdo recién cocinado. Por el contrario, Church y Parsons (2000) no detectaron cambios en la jugosidad, apariencia y aceptación, pero sí observaron diferencias en la ternura y el sabor cuando se aumentó el tiempo de cocción (80 °C) de 10 a 30 min para carne de pollo recién cocinada. Por otra parte, también mostraron que el empleo de tratamientos muy suaves (70 °C/2 min) dio lugar a una carne menos jugosa, tierna y sabrosa que al utilizarse tratamientos más intensos (80 °C/10-30 min). A pesar de las diferencias encontradas al aplicar los diferentes tratamientos térmicos, Church y Parsons (2000) tampoco observaron diferencias significativas en la aceptación global de la carne de pollo cocinada por el método *sous vide*. Otros autores también han empleado tiempos más largos, de varias horas, por ejemplo, Armstrong y McIlveen (2000), estudiaron el efecto del almacenamiento en salsa de tomate con carne de cerdo cocinada con el método *sous vide* a 70 °C durante 15 horas y mostró una sequedad del 40%. Temperaturas y tiempos más bajos utilizaron Grigioni y col. (2000) y Vaudagna y col. (2002), aunque sendos estudios no revelaron datos sensoriales de textura y estuvieron más encaminados en el deterioro del olor y el sabor de la carne cocinada. En concreto Vaudagna y

col. (2002), sí analizaron el efecto del tratamiento térmico sobre la textura instrumental en la carne de ternera, observando que a igualdad de temperatura (50 °C), los tiempos de cocinado de 90, 150, 270 y 390 min no tuvieron ninguna repercusión significativa sobre la fuerza de corte determinada mediante la prueba de Warner-Bratzler.

La calidad sensorial del lomo cocinado por el método *sous vide* a cualquiera de los 5 tiempos ensayados fue similar y no existió preferencia significativa por ninguno de ellos. La carne cocinada a un tiempo intermedio de 4,5 h mostró cierto equilibrio entre la textura y apariencia. Aunque pueda parecer un tiempo de cocinado excesivo, en el caso que nos ocupa, conviene recordar que el objetivo industrial era producir piezas de carne cocinada con una vida comercial de varias semanas, adecuada a los requerimientos de los sistemas de catering.

## **II.6. CONCLUSIONES.**

**Primera.** Tomando como referencia la presencia o ausencia de enterobacterias, la aplicación de tiempos de cocinado a 70 °C comprendidos entre 1,5 y 8,5 horas garantiza durante 8 semanas la calidad microbiológica del lomo cocinado por el método *sous vide* y almacenado a 2 °C. El cocinado aplicado constituye en todos los casos un tratamiento de pasteurización adecuado para piezas de carne destinadas a restauración diferida.

**Segunda.** El tiempo de cocinado apenas influye en la calidad sensorial del lomo de cerdo cocinado por el método *sous vide*, dentro de los parámetros estudiados. Tiempos cortos de cocinado benefician ligeramente la textura, mientras tiempos prolongados de cocinado mejoran el color y la apariencia. Sin embargo, la aceptación de la carne cocinada es similar para cualquier tiempo de cocinado, por lo que habría que tener en cuenta otros criterios, como por ejemplo

la vida comercial deseada para el producto, para determinar el tiempo de cocinado idóneo en las condiciones ensayadas.





ESTUDIO DEL DETERIORO DEL SALMÓN COCINADO  
*SOUS VIDE* CONSERVADO EN REFRIGERACIÓN.

---



### III.1. INTRODUCCIÓN.

Otra aplicación de la tecnología *sous vide* es la elaboración de platos preparados a base de pescado destinados a restauración y servicios de catering. Como en el caso de la carne, existen multitud de referencias culinarias *sous vide* donde se utilizan diversas especies de pescado. Dependiendo del tamaño del pescado, éste se puede cocinar en unidades, como por ejemplo, el lenguado, la dorada, la lubina, etc., o en piezas de cierto tamaño, como en el caso del salmón, el bacalao, la merluza, el atún y otros. En el Capítulo I se han expuesto con detalle los objetivos tecnológicos y fundamentos del cocinado *sous vide*, así como sus diversas aplicaciones para servicios de restauración y catering. No obstante, el pescado presenta una serie de particularidades con respecto a la carne que pueden condicionar el método de cocinado a emplear.

La textura, más jugosa y tierna, que se consigue mediante el cocinado *sous vide* es una de las principales ventajas que muestra este método con respecto al cocinado tradicional. La textura blanda y gelatinosa del pescado requiere de tratamientos térmicos más suaves que la carne para solubilizar el colágeno (35-50 °C) (Roca y Brugués, 2004). Esta característica hace que el pescado sea un alimento ideal para el cocinado *sous vide*, sobre todo cuando se pretende elaborar platos para consumo inmediato. Sin embargo, cuando el objetivo es preparar platos que deben conservarse en refrigeración durante cierto tiempo, es necesario aplicar tratamientos térmicos más intensos para inactivar los procesos microbiológicos y enzimáticos que alteran el pescado cocinado *sous vide*. Como se ha comentado, la cocción indirecta tiene como objetivo ampliar la vida útil utilizando tratamientos más severos que la inmediata, sin embargo, el pescado es

un alimento muy perecedero y sufre un rápido deterioro durante su almacenamiento en refrigeración.

Los mecanismos de deterioro del pescado difieren en poco de los mecanismos de la carne, al tratarse de alimentos musculares. Las bacterias ácido lácticas suelen ser las principales causantes del deterioro microbiológico del pescado cocinado *sous vide* (Ben Embarek, 1994). Las bacterias ácido lácticas pueden producir acidez, olores y sabores agrios, exudados viscosos y blanquecinos e hinchamiento del envase por producción de CO<sub>2</sub> (Korkeala y Björkroth, 1997). Mohos y levaduras también pueden crecer y alterar el pescado cocinado *sous vide* conservado en refrigeración, en la medida en que pueda existir oxígeno residual dentro del envase (Nyati, 2000). La conservación a menos de 3 °C previene el crecimiento de bacterias patógenas en los platos cocinados *sous vide* a base de pescado (Nyati, 2000; González-Fandos y col., 2004 y 2005).

Además del deterioro de origen microbiológico, durante el almacenamiento en refrigeración del pescado cocinado se pueden producir fenómenos de desnaturalización proteica, proteólisis, lipólisis y oxidación que modifican la textura, el color, olor y sabor, dando lugar a pérdida de firmeza, oscurecimiento, aparición de precipitados proteicos en forma limos, rancidez, acidez, así como otros aromas y sabores anómalos que empeoran la aceptabilidad. El cocinado prácticamente inactiva las enzimas musculares relacionadas con su degradación, tales como lipasas y proteasas, aunque las reacciones químicas pueden continuar a baja temperatura. La oxidación de lípidos es especialmente intensa en el pescado, debido a la abundancia en ácidos grasos poliinsaturados. La baja presión parcial de oxígeno en el interior del envase previene en parte los fenómenos de enranciamiento, pero puede dar lugar a otros fenómenos oxidativos menos conocidos con consecuencias sensoriales en el pescado cocinado.

Los cambios de textura en el músculo cocinado refrigerado también se relacionan con la degradación de las proteínas causada por la actividad química y enzimática. En general, el pescado cocinado envejecido pierde su estructura

fibrosa, volviéndose más blando y pastoso. El pescado pasteurizado puede presentar cierta actividad proteásica residual, aunque sea conservado a baja temperatura. Por ejemplo, Kim y Park (2000) han descrito fenómenos de proteólisis en geles de Surimi, recomendando aplicar temperaturas de escaldado de hasta 90 °C para evitar el deterioro rápido de la textura. En este sentido, Gonzáles-Fandos y col. (2004 y 2005) también recomiendan cocinar el salmón *sous vide* a 80-90 °C durante varios minutos para garantizar además una pasteurización eficiente. Si a lo anterior, se suma que el pescado cocinado destinado a catering puede permanecer varias semanas en refrigeración en espera de ser procesado, no es descabellado pensar que pueda existir una actividad proteolítica endógena lo suficientemente intensa y prolongada para alterar el pescado cocinado.

Por tanto, el estudio del deterioro del pescado cocinado por el método *sous vide* puede resultar útil para establecer tratamientos térmicos o mejoras tecnológicas que permitan ampliar la vida comercial, asegurando una alta calidad sensorial durante todo el almacenamiento en refrigeración. En este ensayo se elaboraron piezas de salmón, un pescado bastante usual en los sistemas de catering, aplicando un tratamiento térmico suficiente para alcanzar 75 °C en el centro durante 1 minuto. El experimento fue similar al descrito en el Capítulo I para el lomo de cerdo recién cocinado, primero se establecieron los parámetros de calidad del salmón recién cocinado por el método *sous vide*, y después, de acuerdo con la experiencia previa de la empresa colaboradora, se estudió el deterioro del mismo tras 5 y 10 semanas en refrigeración, evaluando los fenómenos relacionados con el deterioro del pescado cocinado.

### **III.2. OBJETIVO.**

El objetivo de este tercer ensayo fue estudiar el deterioro microbiológico, físico-químico y sensorial del salmón procesado por el método *sous vide* y

almacenado en refrigeración durante un tiempo suficiente para provocar una significativa pérdida de aceptación del mismo.

### III.3. MATERIAL Y MÉTODOS.

Para la realización de este experimento se fabricaron dos lotes de 42 porciones de salmón (*Salmo salar*) procesado por el método *sous vide*. Las muestras se obtuvieron de la zona dorsal del salmón, fueron cortadas en porciones rectangulares de unas dimensiones aproximadas de 10x10x5 cm<sup>3</sup>, un peso aproximado de 200 g y desprovistas de piel. El procesado de las muestras se realizó según lo descrito en el apartado 3.1.1 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS. Se realizó un marcado previo de las muestras a 300 °C durante 3 min para conseguir un ligero tostado. La relación media temperatura/tiempo de cocinado fue de 80 °C/43 min, hasta alcanzar una temperatura de 75 °C en el centro del producto durante 1 min.

La **Figura 21** muestra la evolución de la temperatura de cocinado y enfriamiento de los lotes 1 y 2 para salmón cocinado a vacío en bolsas plásticas termorresistentes. Después de abatir la temperatura del pescado recién cocinado, las muestras se almacenaron a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas en una cámara de refrigeración en ausencia de luz, con el objeto de evaluar su deterioro microbiológico, físico-químico y sensorial.

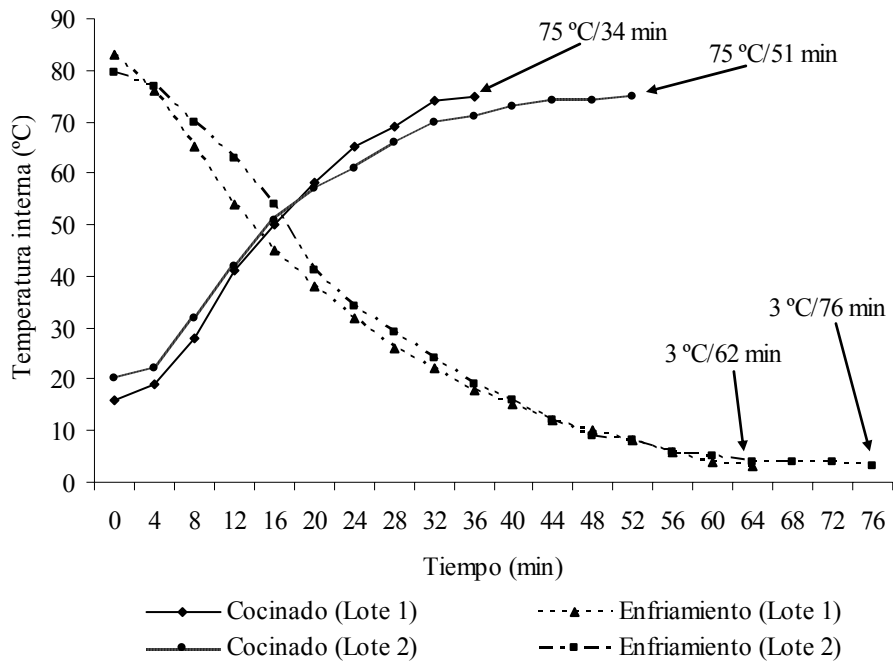
Los índices de deterioro microbiológico y físico-químico estudiados fueron los determinados para el lomo en el Capítulo I. En este caso concreto, para la realización de las pruebas de TPA y Warner-Bratzler, las muestras de salmón se cortaron en dimensiones 2x3x3 cm<sup>3</sup> y 2x2x4 cm<sup>3</sup>, respectivamente.

El estudio del deterioro sensorial del salmón se realizó mediante un análisis descriptivo cuantitativo (QDA). El procedimiento, escala y atributos fueron similares a los descritos en el Capítulo I para el lomo de cerdo (Tablas 32 y

33). Para evaluar la apariencia (AP) se tuvieron en cuenta, tanto la pérdida del color anaranjado propio del salmón cocinado, como la aparición de manchas, precipitados o colores anómalos, capaces de producir rechazo del producto.

El tratamiento estadístico fue similar al realizado en el Capítulo I para el lomo de cerdo cocinado a vacío en bolsas plásticas y termorresistentes.

**Figura 21.** Evolución de la temperatura de cocinado y enfriamiento de los lotes 1 y 2 para salmón cocinado a vacío en bolsas plásticas termorresistentes.



### III.4. RESULTADOS.

#### III.4.1. Deterioro microbiológico.

La **Figura 22** muestra los recuentos medios de aerobios y anaerobios psicrófilos, enterobacterias totales, bacterias ácido lácticas y mohos y levaduras para el salmón cocinado a vacío y conservado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas. Los recuentos confirmaron la ausencia de aerobios y anaerobios psicrófilos y enterobacterias totales durante todos los controles realizados. Las bacterias ácido lácticas sólo estuvieron presentes en poblaciones inferiores a 1 log ufc/g en la semana 10. En cambio, se observó un moderado crecimiento de mohos y levaduras durante el almacenamiento del salmón, presentando valores entre 1,6 y 4,0 log ufc/g, aunque no se observaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) para ninguno de los recuentos microbiológicos medios determinados en cada tiempo de almacenamiento. Según lo anterior, el procesado *sous vide* empleado prácticamente detuvo el crecimiento de flora alterante y enterobacterias totales en el salmón cocinado a vacío y conservado a 2 °C durante un máximo de 10 semanas, garantizando su estabilidad microbiológica durante dicho tiempo.

#### III.4.2. Deterioro físico-químico.

La **Tabla 38** muestra los valores medios y desviaciones típicas para los índices de deterioro físico-químico del salmón cocinado a vacío y conservado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas. La actividad de agua y el pH fueron estables, presentando valores medios alrededor de 0,93 y 6,32, respectivamente. Las variaciones de  $a_w$  y pH no fueron significativas desde el punto de vista estadístico ( $P > 0,05$ ), lo que sugiere que el salmón cocinado no experimentó fenómenos relevantes de acidificación o deshidratación durante su almacenamiento refrigerado.

Por su parte, el valor medio de TBARs pasó de un valor inicial de 1,10 mg MDA/kg en el salmón recién cocinado a un valor final de 2,30 mg MDA/kg tras 10 semanas de almacenamiento, aunque no se apreció efecto ( $P>0,05$ ) del tiempo de almacenamiento sobre sus valores medios, lo que indicaría unos niveles controlados de oxidación de lípidos durante el periodo de almacenamiento estudiado, al menos en lo que se refiere a la oxidación secundaria estimada mediante el ácido tiobarbitúrico. La acidez total expresada como porcentaje de ácido láctico se mantuvo en un porcentaje medio del 0,13% durante las 5 primeras semanas, disminuyendo significativamente ( $P<0,05$ ) a 0,08% en la semana 10. Estos porcentajes parecen coherentes para un pescado no alterado por bacterias lácticas, donde el ácido láctico y otros ácidos libres pueden combinarse con componentes del pescado cocinado, por ejemplo, aminoácidos procedentes de la degradación de proteínas.

Al estudiar la evolución del color CIELab del salmón cocinado, se observaron coordenadas de color entre 75-79 (L), 14-15 ( $a^*$ ), 28-30 ( $b^*$ ), 31-34, ( $C^*$ ) y 62-64 ( $H^*$ ) unidades CIE, no encontrando diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre sus valores medios en función del tiempo de almacenamiento. Esto sugiere que el color del salmón pre-marcado primero y cocinado después por el método *sous vide* permaneció estable durante su almacenamiento en refrigeración y en ausencia de luz.

Los cambios en la textura instrumental del salmón cocinado durante el almacenamiento fueron más evidentes. Se observaron diferencias significativas ( $P<0,05$ ), con respecto a la semana 0, entre los valores medios de dureza (semanas 5 y 10), gomosidad (semana 5) y masticabilidad (semana 5). Según el TPA, la dureza media aumentó ( $P<0,05$ ) de 5,07 N a 7,55 N tras cinco semanas y se estabilizó en este valor hasta la semana 10. La gomosidad media aumentó de 2,03 N a 2,87 N tras 5 semanas y descendió después a 2,54 N en semana 10. La cohesividad del salmón fue bastante estable, presentando valores medios entre 0,36 y 0,40 durante los 3 controles efectuados. La fuerza media de corte disminuyó de 13,33 N (semana 0) a 11,90 N (semana 5) y 8,80 N (semana 10),



aunque este descenso no fue significativo ( $P > 0,05$ ). En general, las medidas del texturómetro presentaron ciertas limitaciones para estimar el deterioro de la textura del salmón cocinado a vacío conservado en refrigeración. Los resultados no fueron concluyentes, cabría esperar una disminución de la dureza y la masticabilidad y, sin embargo, sucedió al contrario. Así mismo, el valor de dureza no fue coherente con el valor de fuerza de corte.

En general, los resultados obtenidos en este apartado sugieren que las propiedades físico-químicas relacionadas con el deterioro de las semiconservas de pescado, tales como una posible acidificación, oxidación de lípidos y cambios de color o textura, medidas por los métodos habituales empleados en este tipo de alimentos, no experimentan cambios excesivamente relevantes durante los largos periodos de tiempo a los que puede ser sometido el salmón cocinado *sous vide* conservado en refrigeración, lo que les restaría cierta eficacia como índices de deterioro.

#### III.4.3. Deterioro sensorial.

Por último se procedió a cuantificar el deterioro sensorial con respecto al salmón *sous vide* recién cocinado y envasado. La **Figura 23** muestra la variación de las notas medias de los atributos sensoriales del salmón cocinado a vacío tras 5 y 10 semanas de almacenamiento en refrigeración. La apariencia, el olor y el sabor propios del salmón experimentaron un fuerte deterioro durante el almacenamiento en refrigeración. Al comparar salmón recién cocinado y almacenado, la nota media de apariencia disminuyó un 26% en la semana 5, perdiendo un 54% en la semana 10, debido sobre todo al oscurecimiento del color naranja característico y al aspecto de la grasa. La nota media de olor propio disminuyó un 39% en la semana 5, alcanzándose una pérdida media acumulada del 68% en la semana 10. El sabor propio experimentó una evolución similar, con porcentajes medios de pérdida del 37% en la semana 5 y del 62% en la semana 10.

Por su parte, los olores y sabores desfavorables aumentaron, aunque se apreciaron con menor intensidad que las pérdidas anteriormente descritas. La nota media de olor rancio aumentó un 12% en la semana 5, incrementándose hasta el 27% en la semana 10. La puntuación media de sabor rancio medio apenas aumentó un 5% tras 5 semanas, aunque, como en el caso del olor rancio, en la semana 10 se alcanzó un incremento del 27%. Las puntuaciones medias de olor y sabor a recalentado tuvieron incrementos similares, aunque menos intensos, mientras que el olor y sabor ácidos apenas fueron detectados por el panel. Tampoco se detectó olor ni sabor pútrido en el salmón *sous vide* refrigerado. Por tanto, pese a que no se detectaron claros signos de acidificación o putrefacción, el salmón cocinado a vacío experimentó durante el almacenamiento refrigerado una fuerte pérdida de olor y sabor característico del producto recién cocinado, asociada a la aparición de una ligera rancidez.

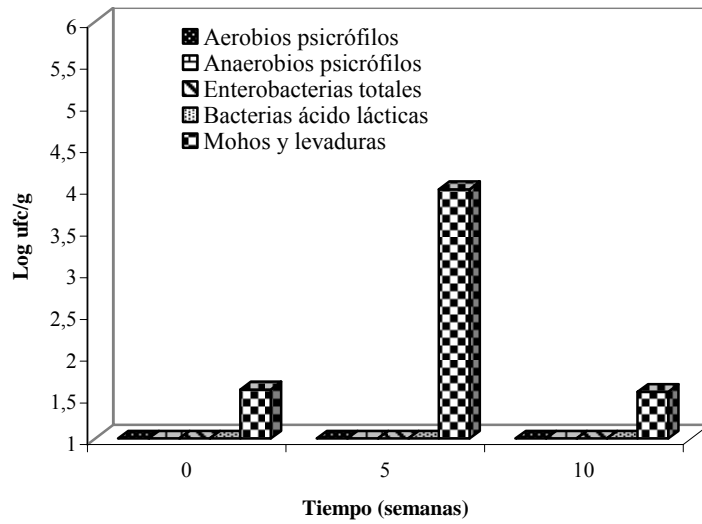
Los cambios de textura del salmón fueron más precoces, con valores similares a las 5 y 10 semanas de almacenamiento. La nota media de dureza disminuyó un 26% en la semana 5, acumulando una pérdida de dureza del 29% en la semana 10. De acuerdo con lo anterior, la masticabilidad media del salmón disminuyó un 30% en la semana 5, manteniéndose en un porcentaje del 31% en la semana 10, mientras que la nota media de pastosidad disminuyó un 19% y un 21% en las semanas 5 y 10, respectivamente. En el mismo sentido, la nota media de jugosidad disminuyó un 22% en la semana 5 con respecto al salmón recién cocinado, mientras que la pérdida acumulada de jugosidad se cifró en un 26% en la semana 10. Así pues, tras 10 semanas de almacenamiento, el salmón cocinado a vacío perdió su parte de consistencia y fibrosidad original, siendo considerado más blando, desmenuzable y menos jugoso. Por tanto, no hubo coherencia entre los resultados del análisis instrumental y sensorial de dureza.

La nota media de aceptación confirmó los resultados anteriores, estando en consonancia con la pérdida de color, olor, sabor y textura. La nota media de aceptación descendió un 37% en las primeras 5 semanas y un 64% tras 10 semanas. Según esto, el salmón cocinado fue considerado por el panel aceptable

en la semana 5, aunque peor valorado que el producto recién fabricado, mientras que el panel consideró el salmón claramente inaceptable en la semana 10. Para profundizar en esta cuestión, se determinaron correlaciones de Pearson para intentar determinar la contribución de cada atributo sensorial a la aceptación del salmón. La **Tabla 39** recoge los coeficientes de correlación entre la aceptación y el resto de atributos sensoriales para el salmón cocinado a vacío. Los coeficientes R significativos ( $P < 0,05$ ) ordenados de mayor a menor fueron: sabor propio > apariencia > sabor rancio > sabor WOF > olor propio > dureza > olor WOF > olor rancio. Los coeficientes de correlación indicaron que la pérdida de aceptación del salmón estuvo relacionada sobre todo con el deterioro del sabor y la apariencia. Al analizar los coeficientes obtenidos, la pérdida del sabor propio a salmón recién cocinado tuvo un gran peso en la aceptación del salmón cocinado envejecido, sin olvidar que la moderada aparición de sabores rancios y a recalentado también estuvo claramente asociada a la nota de aceptación del producto. El deterioro del aspecto visual del pescado también es otro importante factor a tener en cuenta, mientras que las alteraciones del olor y la pérdida de dureza parecen jugar un papel menos relevante en el deterioro del salmón cocinado *sous vide*.

Según los resultados obtenidos, el deterioro sensorial del salmón no pudo explicarse por fenómenos habituales de alteración microbiológica o físico-química del pescado cocinado. La vida comercial del salmón cocinado a vacío conservado a 2 °C estaría limitada, principalmente, por la pérdida de aceptación debida a fenómenos que no se relacionan con la proliferación de flora alterante, ni con considerables variaciones de los niveles de oxidación de lípidos y pigmentos, acidez o pH, siendo más efectivo usar el análisis sensorial para determinar el periodo de caducidad del salmón.

**Figura 22.** Valores medios de los recuentos microbiológicos para el salmón cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas.

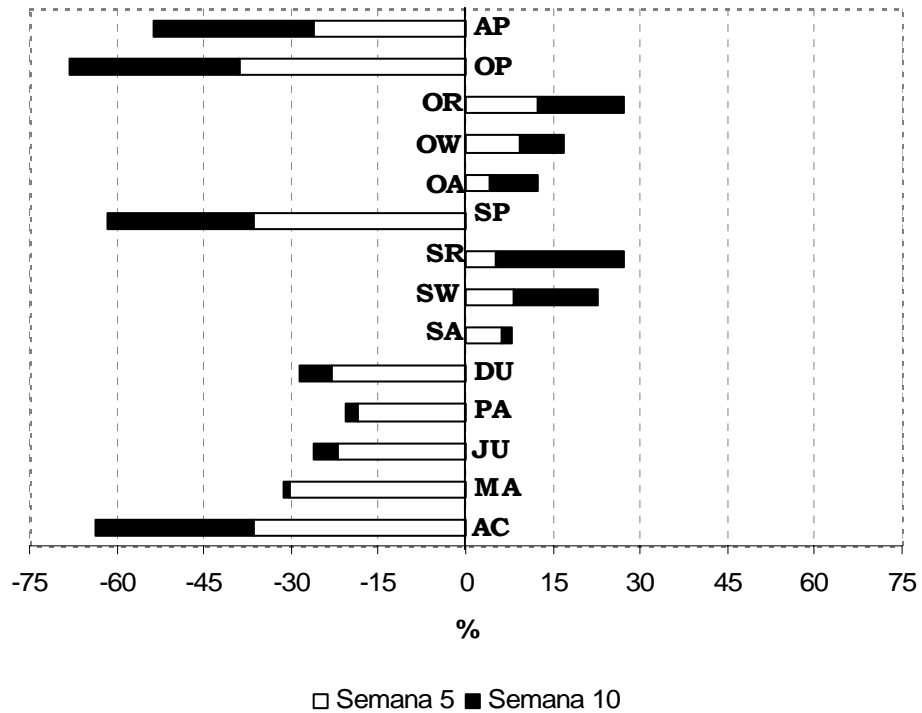


**Tabla 38.** Valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro físico-químicos para el salmón cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas.

Semanas a 2 °C	0	5	10
	M ± D	M ± D	M ± D
<b>a<sub>w</sub></b>	0,92 ± 0,01	0,93 ± 0,01	0,93 ± 0,00
<b>pH</b>	6,35 ± 0,03	6,33 ± 0,07	6,29 ± 0,02
<b>Acidez total</b>	0,13 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,13 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,08 ± 0,01 <sup>b</sup>
<b>TBARs</b>	1,10 ± 0,38	2,06 ± 1,06	2,30 ± 0,72
<b>L* (Luminosidad)</b>	74,87 ± 1,51	75,34 ± 1,57	76,23 ± 1,57
<b>A* (rojo-verde)</b>	15,60 ± 2,16	15,91 ± 2,52	13,70 ± 3,29
<b>B* (amarillo-azul)</b>	29,40 ± 2,14	29,93 ± 4,92	27,55 ± 2,09
<b>C* (Chroma)</b>	33,35 ± 2,03	33,85 ± 5,46	30,87 ± 2,77
<b>H* (° Hue)</b>	62,04 ± 3,88	62,14 ± 1,17	63,74 ± 5,01
<b>Dureza</b>	5,07 ± 0,33 <sup>b</sup>	7,55 ± 0,62 <sup>a</sup>	7,15 ± 0,97 <sup>a</sup>
<b>Cohesividad</b>	0,40 ± 0,03	0,38 ± 0,04	0,36 ± 0,04
<b>Elasticidad</b>	4,40 ± 0,28	5,48 ± 0,74	5,25 ± 0,81
<b>Gomosidad</b>	2,03 ± 0,15 <sup>b</sup>	2,87 ± 0,39 <sup>a</sup>	2,54 ± 0,30 <sup>ab</sup>
<b>Masticabilidad</b>	8,98 ± 1,21 <sup>b</sup>	15,87 ± 3,75 <sup>a</sup>	13,31 ± 2,32 <sup>ab</sup>
<b>Fuerza de corte</b>	13,33 ± 3,97	11,90 ± 2,36	8,80 ± 4,15

\* Valores con diferentes superíndices muestran diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).

**Figura 23.** Variaciones medias (expresadas como porcentaje) de los atributos sensoriales del salmón cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 0, 5 ó 10 semanas.



\* Resultados expresados como porcentaje acumulado con respecto a las puntuaciones recibidas en la semana 0.

**AP:** Apariencia; **OP:** olor propio a salmón cocinado; **OR:** olor rancio; **OW:** olor WOF; **OA:** olor ácido; **SP:** sabor propio a salmón cocinado; **SR:** sabor rancio; **SW:** sabor WOF; **SA:** sabor ácido; **DU:** dureza; **PA:** pastosidad; **JU:** jugosidad; **MA:** masticabilidad y **AC:** aceptación.

**Tabla 39.** Coeficientes de correlación entre la aceptación y el resto de atributos sensoriales para el salmón cocinado a vacío y almacenado a 2 °C durante 5 o 10 semanas.

	R	P
<b>Color</b>		
Apariencia	0,70	***
<b>Olor</b>		
Propio a salmón cocinado	0,54	***
Rancio	-0,31	*
WOF	-0,38	*
Ácido	-0,15	
<b>Sabor</b>		
Propio a salmón cocinado	0,84	***
Rancio	-0,62	***
WOF	-0,59	***
Ácido	0,03	
<b>Textura</b>		
Dureza	0,44	**
Pastosidad	0,27	
Jugosidad	0,25	
Masticabilidad	0,10	

Nivel de significancia: \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001)

### III.5. DISCUSIÓN.

La bibliografía relacionada con la seguridad y el deterioro microbiológico del pescado cocinado *sous vide* es escasa. Los estudios revisados muestran que tratamientos de 90 °C/10 min o equivalentes, son suficientes para asegurar la inocuidad del pescado cocinado *sous vide* (SVAC, 1991). Nyati (2000) observó reducciones iniciales de 10<sup>2</sup> ufc/g en recuentos de aerobios mesófilos totales y ausencia de bacterias patógenas como *Lysteria monocytogenes*, *Salmonella*, *Clostridium pefringens*, *S. aureus*, *Bacillus cereus* y enterobacterias totales en pescado *sous vide* cocinado a 70 °C/2 min y almacenado a 3 °C durante 5 semanas. El tratamiento empleado (80 °C/43 min) en el salmón *sous vide* fue

eficaz para reducir la carga total inicial de todos los microorganismos testados, a excepción de mínimos recuentos de mohos y levaduras. Durante el almacenamiento sólo se observó cierto crecimiento de mohos y levaduras después de 5 semanas, para después caer. Es probable que el consumo del oxígeno residual existente en el envase pudiera haber reducido los recuentos de mohos y levaduras después de 10 semanas.

Los tratamientos térmicos empleados en el cocinado *sous vide* pueden ser insuficientes para inactivar a todos los microorganismos presentes. Los alimentos mínimamente procesados pueden contener una alta población de microorganismos dañados térmicamente capaces de recuperarse durante su posterior almacenamiento, principalmente si las temperaturas de conservación son abusivas (Simpson y col., 1994). Las condiciones de almacenamiento y envasado fueron eficaces para microorganismos alterantes y enterobacterias, de modo que la calidad microbiológica del salmón *sous vide* se preservó durante 10 semanas, evitando así la acidificación causada por el crecimiento de bacterias ácido lácticas, principal alterante del pescado *sous vide*. Nyati (2000) sólo observó crecimiento de bacterias ácido-lácticas y *Pseudomonas* en pescado *sous vide* cuando la temperatura de almacenamiento fue de 8 °C. Por su parte, González-Fandos y col. (2004 y 2005) obtuvieron resultados similares y no registraron recuentos de enterobacterias totales, ni de bacterias ácido lácticas, en trucha y salmón cocinados por el método *sous vide* a 70 °C ó 90 °C durante 5 ó 15 min y almacenados hasta 45 días a 2 °C. Sin embargo, estos autores observaron recuentos sustanciales (< 4 ufc/g) de bacterias anaerobias mesófilas en salmón y trucha *sous vide*.

Los resultados del presente estudio no difieren en mucho de los obtenidos para el lomo cocinado, queda bastante claro que el procesado aplicado al salmón cocinado *sous vide* garantiza su estabilidad microbiológica, la cual dejaría de ser el factor limitante de su vida comercial, siendo de igual modo suficiente para prevenir la proliferación de enterobacterias, pese a tratarse de un alimento poco ácido y con una elevada actividad de agua. No obstante, vistos los recuentos



microbiológicos obtenidos a las 10 semanas, cabe pensar que tratamientos térmicos menos intensos quizás también garantizarían la calidad microbiológica del salmón cocinado *sous vide* destinado a sistemas de catering.

La oxidación de lípidos es una causa bastante común de alteración del pescado cocinado y de los caldos de pescado. En comparación con la carne, el pescado es muy susceptible a la oxidación durante el calentamiento y posterior almacenamiento debido a su alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados (Hsieh y Kinsella, 1989). El envasado a vacío puede contribuir a retrasar la oxidación de lípidos y los cambios sensoriales relacionados con las misma, como la rancidez (Wang y col., 2004). Como se ha visto, el salmón cocinado *sous vide* mostró, a las 5 semanas, valores de TBARs próximos a los encontrados, en 10 días, en un producto de pescado (pescadilla), menos graso que el salmón, cocinado de forma tradicional a una temperatura interna de 75 °C/30 min y almacenado (4 °C) en aerobiosis (Tang y col., 2001). También, Tang y col. (2001) observaron incrementos de TBARs de 13,23 en 10 días para el mismo tipo de producto cocinado, pero esta vez empleando un pescado más graso (caballa). Comparando con estos valores, el procesado *sous vide* aplicado fue efectivo para minimizar los procesos oxidativos en el salmón cocinado y almacenado en refrigeración.

La oxidación de los pigmentos también puede afectar a la estabilidad del color durante el almacenamiento del pescado cocinado, en especial a la zona superficial del pescado adherida al envase plástico, ya que la permeabilidad al oxígeno de los plásticos puede verse afectada por el calor. La astaxantina es el carotenoide más común en los animales. Es el principal pigmento responsable del color rosa de la carne del salmón, la trucha, la mayoría de los crustáceos y también de las huevas de algunos peces. El músculo del salmón del Atlántico contiene entre 4 y 10 mg de astaxantina por kilogramo, mientras que el salmón del pacífico, más intensamente coloreado, contienen entre 14 y 40 mg/ kg. Junto con la astaxantina se encuentran cantidades menores de cantaxantina y de astaceno (Calvo, 2008). La unión de los carotenoides a proteínas puede modificar

substancialmente el color de los pigmentos animales. El tratamiento térmico y la oxidación provocan cierto grado de desnaturalización de los pigmentos del pescado asociados a cambios de color. Como se ha visto, el color anaranjado típico del salmón cocinado perdió brillo durante el almacenamiento, produciéndose cierto oscurecimiento. Este hecho, junto con la aparición de precipitados blancos causados por la desnaturalización de las proteínas musculares, provocó un considerable deterioro del aspecto del salmón, tal como han descrito otros autores (Bergslien, 1996; González-Fandos y col., 2005).

A pesar de no observarse crecimiento de bacterias ácido lácticas y de mostrar valores bajos de TBARs, el salmón *sous vide* sufrió un deterioro sensorial considerable durante su almacenamiento, caracterizado por un olor y sabor anómalo y desagradable, más propio de pescado azul envejecido, debido posiblemente a reacciones químicas y enzimáticas endógenas de los lípidos y la proteínas del propio pescado (Gram y Huss, 1996; Rodríguez y col., 2006). Fagan y Gormley (2005), sugieren emplear temperaturas de 85 °C en el centro del pescado para evitar esta actividad enzimática, aunque González-Fandos y col. (2005) advierten que el empleo de temperaturas cercanas a 90 °C puede producir un considerable descenso en la calidad sensorial del pescado cocinado *sous vide*.

Los datos de textura instrumental fueron los más contradictorios, además, hay poca información disponible que pueda aclarar esta cuestión. Sólo se han encontrado valores de fuerza de corte en pescado recién cocinado, aunque no comparables a los obtenidos para salmón *sous vide* debido al empleo de una cuchilla Kramer diferente a la Warner-Bratzler (Fagan y Gormley, 2005). Por contra, el análisis sensorial tuvo gran importancia y coherencia en la detección de cambios de textura del salmón cocinado *sous vide*. Al aumentar el tiempo de almacenamiento, el pescado se volvió más blando y pastoso probablemente debido a la degradación extra de proteínas causada por la actividad química y enzimática residual. Este hecho tuvo un mayor peso que en el caso del lomo de cerdo *sous vide*, ya que el tratamiento térmico empleado para salmón fue más suave. Por ejemplo, se recomienda elaborar geles de pescado a una temperatura de

90 °C para prevenir posibles alteraciones en la textura debido a la actividad protésica endógena (Kim y Park, 2000). Por el contrario, un excesivo calentamiento prolongado en el tiempo puede aminorar la calidad sensorial del pescado recién cocinado, debido sobre todo a que la excesiva desnaturalización proteica provoca una pérdida adicional de líquidos que empeora la jugosidad.

En cualquier caso, la tecnología *sous vide* consigue asegurar la calidad del salmón durante 5 semanas de almacenamiento refrigerado, tiempo superior al empleado habitualmente en los sistemas de catering, estando de acuerdo con otros estudios realizados en platos cocinados *sous vide* a base de pescado (Nyati, 2000; González-Fandos y col., 2004 y 2005). Un tratamiento térmico de 80 °C durante 45 min sería suficiente para conseguir una correcta pasteurización de las porciones de salmón envasadas a vacío. Sin embargo, la pérdida de aceptación limita la vida comercial del salmón cocinado *sous vide*, aunque no se han podido dilucidar los mecanismos de alteración sensorial del pescado cocinado. Como en el caso del lomo cocinado, la metodología empleada debe ser revisada y ampliada, siendo necesarios nuevos estudios para aclarar los mecanismos de deterioro del pescado cocinado al vacío.

### III.6. CONCLUSIONES.

**Primera.** El deterioro del salmón cocinado *sous vide* conservado en refrigeración sigue las mismas pautas observadas para el lomo de cerdo, donde la pérdida de aceptación sensorial limita la vida comercial en refrigeración de las piezas de salmón cocinado por el método *sous vide*. Los signos de deterioro sensorial se detectan antes que cualquier otro signo de deterioro microbiológico o físico-químico. El salmón cocinado *sous vide* muestra una pérdida acusada de calidad sensorial debida a la conjunción de diversos fenómenos: aparición de olor y sabor similar al pescado azul envejecido, empeoramiento del aspecto debido a la precipitación blanquecina de componentes solubles, pérdida de consistencia, jugosidad y firmeza.

**Segunda.** El método *sous vide* aplicado para procesar el salmón, basado en cocinar las porciones de pescado a una temperatura interna de 75 °C empleando temperaturas de pasteurización elevadas, previene el crecimiento de microorganismos alterantes y enterobacterias totales durante 10 semanas, siendo eficaz contra bacterias ácido lácticas, principales alterantes de pescados cocinados y envasados a vacío. Durante este tiempo de almacenamiento, sólo se aprecia un leve crecimiento de mohos y levaduras, que en cualquier caso, no alcanza los límites requeridos para considerar el pescado alterado y no apto para el consumo.

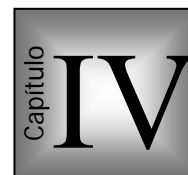
**Tercera.** El salmón cocinado *sous vide* es estable desde el punto de vista físico-químico, manteniendo una actividad de agua, pH y acidez acordes con la ausencia de fermentaciones anómalas durante su almacenamiento en refrigeración. La oxidación de lípidos fue inhibida en el salmón, pese a su riqueza en grasas poliinsaturadas, y tampoco se apreciaron cambios relevantes en el color.

**Cuarta.** Los índices microbiológicos y físico-químicos empleados habitualmente para monitorizar la vida comercial de las semiconservas de pescado no aportaron información relevante que explique dicho deterioro. Ello evidencia la necesidad de un análisis sensorial más exhaustivo, enfocado más a la descripción y detección de los atributos directamente responsables del deterioro, empleando intervalos de tiempos más reducidos que permitan ajustar con mayor exactitud su vida comercial. Así mismo, la susceptibilidad a la oxidación del pescado, junto con su gran actividad proteásica y lipásica, también sugieren la necesidad de estudios complementarios que puedan explicar con mayor amplitud los mecanismos causantes del rápido deterioro del salmón *sous vide* conservado en refrigeración.



AJUSTE DE LA VIDA COMERCIAL DE SALMÓN *SOUS VIDE* CONSERVADO EN REFRIGERACIÓN SEGÚN PARÁMETROS SENSORIALES.

---



#### IV.1. INTRODUCCIÓN.

En la industria del catering, el periodo de almacenamiento del producto está en función de la demanda del mismo. La tecnología *sous vide* permite obtener platos preparados con una vida comercial más extensa que otros métodos de cocinado, encontrándose entre 5 y 45 días dependiendo de muchos factores, entre ellos, la composición química de cada alimento. Los resultados obtenidos en el capítulo anterior muestran un evidente deterioro de la calidad sensorial original del salmón cocinado durante su almacenamiento refrigerado, más rápido que el observado en el lomo de cerdo cocinado *sous vide* (ver Capítulo I).

Debido a la naturaleza del pescado, los primeros cambios sensoriales se producen en los días iniciales de almacenamiento, repercutiendo rápidamente en la aceptación final, por ello, es importante emplear intervalos de control cortos (3-4 días) para poder precisar con mayor exactitud la vida útil de los platos preparados a base de pescado.

Al tratarse de una materia prima tan inestable, la aplicación de Buenas Prácticas de Fabricación, la elección adecuada de las condiciones de cocinado y el empleo de materias primas de calidad son factores claves que minimizan el deterioro del pescado cocinado. Cuando los riesgos de contaminación son minimizados y la relación temperatura/tiempo empleada es adecuada, el pescado procesado por el método *sous vide* puede ser conservado durante varias semanas sin alterarse aparentemente. Como se ha comprobado, pueden permanecer estables determinadas variables físico-químicas, como por ejemplo, el pH, la acidez, o el color, y sin embargo, aparecer olores y sabores anómalos, asociados a pérdidas de

las características propias (color, olor, sabor y textura) que limiten la aceptabilidad del pescado cocinado, cuya naturaleza química exacta no ha sido determinada.

El tratamiento térmico empleado en el capítulo anterior (80 °C/43 min) fue suficiente para conseguir una estabilidad microbiológica y físico-química de las porciones de salmón cocinado durante un máximo de 10 semanas, sin embargo, se observó una pérdida considerable de la calida sensorial. En estos casos, muchos autores resaltan la importancia del análisis sensorial como herramienta determinante para evaluar el deterioro y establecer la vida comercial de platos *sous vide* (Creed, 1995). El análisis sensorial evita sobreestimar la caducidad de estos productos, hecho que puede ocurrir cuando sólo se emplean criterios microbiológicos o legales. Para ello, es necesario desarrollar una metodología sensorial transferible y reproducible capaz de establecer con precisión la vida útil en función de atributos característicos del deterioro (Amstrong y McIlveen, 2000).

En base a todo lo anterior, se planteó necesario desarrollar un estudio adicional más preciso que permitiera calcular la vida comercial del salmón cocinado en función de atributos sensoriales propios y otros característicos de su deterioro sensorial, detectados a intervalos cortos de tiempo (4 días). Para ello se desarrolló un análisis sensorial específico y se aplicaron distintas técnicas estadísticas para conocer el papel de cada uno de los atributos sensoriales estudiados en el deterioro en la calidad sensorial del salmón cocinado *sous vide*.

## **IV.2. OBJETIVOS.**

El objetivo fue precisar la vida comercial del salmón *sous vide* almacenado en refrigeración durante un máximo de 25 días mediante análisis sensorial a intervalos cortos de tiempo, dilucidando la contribución de diversos atributos sensoriales a la misma.

### IV.3. MATERIAL Y MÉTODOS.

Para la realización de este experimento se fabricaron dos lotes de 128 muestras (24 para las sesiones preliminares, 24 para el entrenamiento y 80 para el análisis sensorial y microbiológico). El procesado, envasado y cocinado de las muestras se realizó según lo descrito en el Capítulo III para salmón cocinado a vacío. Las muestras se almacenaron a 2 °C durante 0, 4, 8, 12, 15, 18, 22 ó 25 días en ausencia de luz para evaluar el deterioro sensorial. La estabilidad microbiológica del salmón *sous vide* fue constatada en el Capítulo III, de ahí que en el presente Capítulo sólo se realice recuentos de enterobacterias totales (ver apartado 3.3 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS) como índice de garantía higiénica del producto y adecuado tratamiento térmico.

Se realizó un análisis descriptivo cuantitativo (QDA) (ver apartado 3.4 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS) para valorar los cambios en los atributos sensoriales del salmón *sous vide* recién cocinado y la aparición de atributos característicos del deterioro del pescado cocinado durante su almacenamiento refrigerado. Con el objetivo de ser más exactos a la hora de establecer la vida comercial del salmón *sous vide* se realizó un entrenamiento más exhaustivo y se efectuaron cambios en la escala y en los atributos sensoriales, incluyendo algunos más específicos del deterioro. En primer lugar, se estableció una lista de posibles atributos sensoriales a partir de la bibliografía revisada (Einen y Thomassen, 1998; Robb y col., 2002; Turchini y col., 2003; De Francesco y col., 2004; Ginés y col., 2004). En las sesiones preliminares, los panelistas cataron conjuntamente diferentes muestras de salmón *sous vide* recién cocinado y almacenado durante 15 y 25 días en refrigeración (2 °C).

El objetivo fue observar los posibles cambios sensoriales asociados al deterioro y su intensidad para poder describir correctamente los atributos característicos del deterioro (colores, olores y sabores anómalos o desagradables) y establecer los extremos de la escala. Posteriormente, se discutieron los resultados con el fin de seleccionar los atributos de deterioro y la escala más



adecuada. De esta forma, los atributos sensoriales fueron dos para el olor: olor propio a salmón cocinado y olores anómalos o desagradables; 2 de sabor: sabor propio a salmón cocinado y sabores anómalos o desagradables; 3 de apariencia: color propio del salmón cocinado, colores anómalos o desagradables, apariencia; 3 de textura: jugosidad, dureza, pastosidad y un atributo de aceptación. La **Tabla 40** muestra las definiciones de los atributos sensoriales estudiados. Se empleó una escala de intervalos de 7 puntos con un significado diferente para los extremos según los atributos. La **Tabla 41** muestra el significado de los extremos de la escala para cada atributo.

**Tabla 40.** Definiciones de los atributos sensoriales estudiados en el análisis sensorial del salmón cocinado a vacío en bolsas plásticas termorresistentes.

Atributos		Definición
Olor propio	OP	Olor a salmón recién cocinado
Olores anómalos y desagradables	OA	Olor asociado a “rancio”, “pescado azul” y “salmón deteriorado”
Sabor propio	SP	Sabor a salmón recién cocinado
Sabores anómalos y desagradables	SA	Sabor asociado a “rancio”, “pescado azul”, “ácido”, “amargo” y “salmón deteriorado”
Color propio	CP	Intensidad de color naranja característica del músculo del salmón cocinado
Colores anómalos y desagradables	CA	Pérdida de color naranja característica del músculo del salmón cocinado
Apariencia	AP	Decoloración, separación de miotomos y pérdida de humedad del salmón cocinado
Jugosidad	JU	Cantidad de líquido que se libera al masticar la muestra
Dureza	DU	Fuerza requerida para romper la muestra con los dientes
Pastosidad	PA	Capacidad para formar una pasta cuando la muestra es masticada
Aceptación	AC	Engloba la calidad de los atributos de olor, sabor, textura y apariencia.

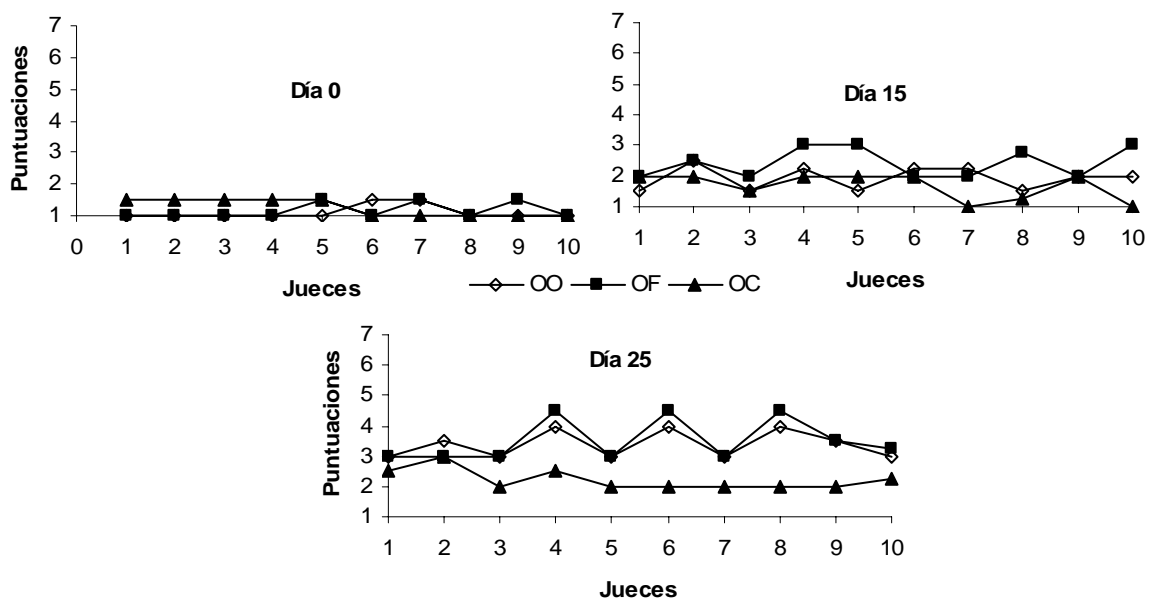
**Tabla 41.** Significado de los extremos en la escala para los atributos de textura, color, olor, sabor, apariencia y aceptación utilizados en el análisis sensorial del salmón *sous vide*.

Atributos	1	→	7
Textura	Percepción mínima		Percepción máxima
Olor y sabor	Intensidad nula		Intensidad máxima
Color	Baja intensidad de color anaranjado		Alta intensidad de color anaranjado
Apariencia	Mínima decoloración, sequedad y separación de miotomos		Máxima decoloración, sequedad y separación de miotomos
Aceptación	Aceptación mínima		Aceptación máxima

Igual que en las sesiones preliminares, las tres sesiones de entrenamiento consistieron en catar muestras de salmón *sous vide* recién cocinado y almacenado durante 15 y/o 25 días en refrigeración (2 °C). Se hizo hincapié en los atributos característicos del deterioro (color, olor y sabor anómalo o desagradable) por su importancia en el estudio de la conservabilidad de los alimentos *sous vide* (Mason y col., 1990; Bertelsen y Juncher, 1996). Se advirtió a los panelistas de la presencia de un color blanquecino en la superficie producido por la precipitación acusada de proteínas a 70 °C (Bergslien, 1996). De esta forma, se evitó distorsiones en las puntuaciones de los atributos visuales. La **Figura 24** muestra las puntuaciones medias registradas de los atributos de color, olor y sabor anómalo durante las sesiones de entrenamiento para cada panelista en la cata del salmón *sous vide* recién cocinado y almacenado 15 y 25 días en refrigeración (2 °C) y anaerobiosis. Los resultados del ANOVA mostraron que no existió diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ) entre los distintos panelistas para los principales atributos de deterioro, tanto en muestras recién cocinadas, como refrigeradas 15 y 25 días. Con esto, se aseguró que el panel fue capaz de detectar niveles bajos, intermedios y moderados de los atributos característicos del deterioro. Al mismo tiempo, se consiguió la unificación de criterios, indicando

que el entrenamiento fue eficaz para diferenciar las muestras almacenadas y recién cocinadas.

**Figura 24.** Puntuaciones medias para color, olor y sabor anómalo registradas durante las sesiones de entrenamiento para cada panelistas en muestras de salmón *sous vide* recién cocinado (día 0) y almacenado (2 °C) durante 15 y 25 días.



Se usaron diversas técnicas estadísticas con el objeto de determinar la vida comercial y el papel jugado por cada uno de los atributos sensoriales en la misma. El efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad sensorial fue determinado mediante ANOVA simple (test de homogeneidad de medias de Scheffe). Así mismo, se determinaron correlaciones de Pearson para establecer asociaciones entre variables numéricas y su contribución a la aceptación del salmón. Dicha información fue sintetizada aplicando dos modalidades de análisis multivariante. Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con los diferentes atributos sensoriales del salmón *sous vide*, incluyendo o no la aceptación como variable analizada en el modelo. Para el primer modelo estudiado (aceptación excluida) se rotaron los ejes mediante el método

VARIMAX con el objeto de facilitar la interpretación de los resultados. Para determinar cuales fueron los atributos con mayor ponderación factorial se siguió el criterio de significación práctica (Hair y col., 1999), por ello, todas las cargas superiores o iguales a  $\pm 0,50$  se consideraron significativas. El segundo modelo se basó en un ACP no rotado que incluyó la nota de aceptación como variable adicional. A diferencia del anterior, se incluyeron en la gráfica, tanto variables, como individuos agrupados, para visualizar el efecto del día de almacenamiento en el plano determinado por los dos componentes principales.

#### **IV.4. RESULTADOS.**

##### IV.4.1. Eficacia del tratamiento térmico sobre enterobacterias.

Sólo se detectó presencia de enterobacterias totales en los días 18, 22 y 25, pero siempre por debajo del límite mínimo de detección ( $<10$  ufc/g). No hubo diferencias estadísticamente significativas ( $P>0,05$ ) entre los recuentos para los diferentes días de almacenamiento. Por tanto, el tiempo de almacenamiento no fue suficiente para el deterioro producido por estos microorganismos.

El cocinado *sous vide* a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}/43$  min resultó eficaz para inhibir el crecimiento de enterobacterias totales en salmón almacenado durante 0, 4, 8, 11, 15, 18, 22 ó 25 días en refrigeración ( $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) consiguiéndose, por tanto, una pasteurización efectiva de las porciones envasadas al vacío.

##### IV.4.2. Deterioro sensorial.

El tiempo de almacenamiento a  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  afectó principalmente al olor y sabor del salmón cocinado *sous vide*. Durante el periodo de almacenamiento, la detección de los atributos propios a salmón cocinado (olor y sabor a salmón fresco

recién cocinado) se vio afectada por la aparición de olores y sabores anómalos (“rancio”, “pescado azul”, “ácido”, “amargo” y “salmón deteriorado”) característicos del pescado alterado. La **Tabla 42** muestra los valores medios y desviaciones típicas de los parámetros sensoriales estudiados para el salmón cocinado *sous vide* durante 0, 4, 8, 11, 15, 18, 22 ó 25 días de almacenamiento en anaerobiosis y refrigeración (2 °C). El olor y sabor propio mostraron una clara evolución descendente. El olor propio descendió de 5,21 a 2,67 y el sabor propio de 5,55 a 2,55. Los valores medios de olor y sabor propio mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) durante el almacenamiento. Se produjo una pérdida significativa ( $P < 0,05$ ) del olor propio entre muestras recién cocinadas (día 0) y muestras del día 15, y de estas últimas con respecto a muestras del día 25. La pérdida del sabor propio se detectó significativamente ( $P < 0,05$ ) en el día 11, acentuándose ( $P < 0,05$ ) a partir del día 22. Los olores y sabores desagradables aumentaron durante el periodo de almacenamiento. El olor anómalo aumentó de 1,10 a 3,21 y el sabor anómalo de 1,16 a 3,65. La presencia de olores y sabores anómalos se detectó de manera significativa ( $P < 0,05$ ) a partir del día 18, incrementándose la intensidad de la percepción de manera progresiva hasta el final del periodo de almacenamiento.

Los atributos visuales (color propio y anómalo y apariencia) mostraron cambios significativos ( $P < 0,05$ ) durante todo el periodo de almacenamiento. El color propio presentó un máximo de 4,88 (día 11) y un mínimo de 3,58 (día 18) y la apariencia un máximo de 5,13 (día 4) y un mínimo de 3,47 (día 18). Sin embargo, el color anómalo aumentó de forma más regular durante el almacenamiento, mostrando un valor inicial de 1,18 y final de 2,23.

La textura fue lo que menos se deterioró durante el almacenamiento en refrigeración. La jugosidad en el día 0 mostró un valor de 4,63, muy por debajo del máximo de la escala, y descendió significativamente ( $P < 0,05$ ) a 2,62 en el día 15. La pastosidad y la dureza se mantuvieron constantes ( $P > 0,05$ ) con valores medios de 2,9 y 3,7, respectivamente.

La nota de aceptación disminuyó a lo largo del almacenamiento, pasando de una nota media inicial de 5,30 a una nota final de 2,90. Se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre los valores medios de aceptación entre el día 0 y los días 15, 18, 22 y 25. Este descenso significativo detectado en el día 15, coincidió con una nota media (3,60) por debajo del punto medio de la escala utilizada. Considerando como criterio la pérdida de aceptación, la vida comercial del salmón cocinado *sous vide* conservado en refrigeración fue inferior a 15 días.

La **Tabla 43** muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre la aceptación y los principales descriptores sensoriales evaluados en el salmón cocinado *sous vide* durante su almacenamiento en refrigeración. La nota de aceptación estuvo fuertemente correlacionada ( $P < 0,001$ ) con todos y cada uno de los descriptores sensoriales estudiados, aunque con distinto signo, según sus notas aumentaron o disminuyeron conforme avanzó el deterioro del pescado. Los mayores coeficientes R se obtuvieron para el sabor propio (0,84), sabor anómalo (-0,79), olor propio (0,75) y olor anómalo (-0,62), lo que sugiere que el aroma y sabor parece jugar un papel más relevante en el deterioro sensorial del pescado cocinado *sous vide* que otras propiedades sensoriales, como la textura, el color o la apariencia.

Por el contrario, si para calcular la vida útil se utiliza como criterio la detección de olores y sabores anómalos con respecto a las muestras del día 0, dado que las notas medias de ambos atributos aumentaron efectivamente ( $P < 0,05$ ) a partir del día 18, se podría afirmar que el salmón cocinado *sous vide* almacenado a 2 °C presentó una vida comercial inferior a 18 días.

Para confirmar esta cuestión, se aplicó un análisis en componentes principales a partir de la matriz de correlaciones. La **Figura 25** muestra el gráfico de los componentes principales (F1 y F2), donde se representan los atributos sensoriales del salmón *sous vide* almacenado en refrigeración durante 0, 4, 8, 11, 15, 18, 22 ó 25 días. Se obtuvieron porcentajes relativos de varianza del 45,6% y

15,6% para los componentes principales primero y segundo, respectivamente. Según el criterio establecido tras la rotación de los ejes por el método Varimax, el primer factor estuvo correlacionado positivamente con el olor propio (0,75) y sabor propio (0,90) y negativamente con el sabor anómalo (-0,86), mientras que al segundo factor contribuyó principalmente el color propio (-0,94). Por tanto, el primer eje representaría sobre todo el deterioro del *flavor* del salmón cocinado por el método *sous vide* y conservado en refrigeración.

No obstante, se calculó un segundo ACP incluyendo en el modelo la nota de aceptación como variable adicional. La **Figura 26** muestra la representación de las variables y los individuos agrupados según el día de almacenamiento en el plano determinado por los dos componentes principales. Los valores propios del primer eje se correspondieron con 50,9% de la varianza, mientras que los valores propios del segundo supusieron un 13,9% de la variación total.

Como era de esperar, la nota de aceptación se agrupó con los atributos de olor y sabor en el primer eje, presentando el mayor coeficiente de correlación entre todas las variables estudiadas. Se podría afirmar pues, que el deterioro del olor y sabor estuvo más relacionado con la pérdida de aceptación del salmón cocinado que con otros parámetros y que, subjetivamente, tuvo mayor peso en la evaluación de los panelistas. Por su parte, al representar a los individuos agrupados según el día de almacenamiento, también se comprobó que, conforme el salmón va envejeciendo, éstos van tomando progresivamente valores menores en dicho eje, el cual podría ser utilizado como escala sensorial. En este sentido, llama la atención que las muestras de salmón que presentaron una nota de aceptación inferior al punto medio de la escala tomaron valores negativos en el componente principal, mientras que las muestras con puntuaciones más altas tomaron valores positivos en dicho eje. Como puede comprobarse, la **Figura 26** representa nítidamente la considerable pérdida de aceptación observada a partir del día 15 de almacenamiento, ilustrando que, desde un punto de vista comercial, la caducidad del salmón cocinado por el método *sous vide* y conservado a 2 °C fue inferior a 15 días.

**Tabla 42.** Valores medios y desviaciones típicas de los atributos sensoriales de salmón cocinado a vacío en bolsas plásticas termorresistentes y almacenado a 2 °C durante 0, 4, 8, 11, 15, 18, 22 ó 25 días.

	<b>Día 0</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 11</b>	<b>Día 15</b>	<b>Día 18</b>	<b>Día 22</b>	<b>Día 25</b>
<b>CP</b>	3,97 ± 1,17 <sup>ab</sup>	4,84 ± 0,85 <sup>a</sup>	4,55 ± 0,66 <sup>ab</sup>	4,88 ± 0,76 <sup>a</sup>	4,00 ± 0,74 <sup>ab</sup>	3,58 ± 1,02 <sup>b</sup>	4,12 ± 1,22 <sup>ab</sup>	3,82 ± 0,93 <sup>ab</sup>
<b>CA</b>	1,42 ± 0,69 <sup>abc</sup>	1,18 ± 0,45 <sup>c</sup>	1,53 ± 0,75 <sup>abc</sup>	1,23 ± 0,44 <sup>bc</sup>	1,95 ± 0,74 <sup>abc</sup>	2,18 ± 0,82 <sup>a</sup>	2,15 ± 0,97 <sup>ab</sup>	2,23 ± 0,79 <sup>a</sup>
<b>OP</b>	5,21 ± 0,80 <sup>a</sup>	4,87 ± 0,86 <sup>ab</sup>	4,39 ± 0,61 <sup>abc</sup>	4,38 ± 0,72 <sup>abc</sup>	3,92 ± 0,82 <sup>bcd</sup>	3,55 ± 0,86 <sup>cde</sup>	3,22 ± 0,89 <sup>de</sup>	2,68 ± 1,03 <sup>c</sup>
<b>OA</b>	1,10 ± 0,31 <sup>d</sup>	1,34 ± 0,67 <sup>cd</sup>	1,68 ± 0,69 <sup>cd</sup>	1,85 ± 0,66 <sup>bcd</sup>	1,92 ± 0,79 <sup>bcd</sup>	2,40 ± 0,70 <sup>abc</sup>	2,77 ± 1,07 <sup>ab</sup>	3,21 ± 1,54 <sup>a</sup>
<b>SP</b>	5,55 ± 0,88 <sup>a</sup>	4,74 ± 1,00 <sup>ab</sup>	4,47 ± 0,79 <sup>ab</sup>	4,12 ± 1,02 <sup>bc</sup>	3,18 ± 1,03 <sup>cd</sup>	3,13 ± 0,81 <sup>cd</sup>	2,55 ± 0,97 <sup>d</sup>	2,62 ± 1,19 <sup>d</sup>
<b>SA</b>	1,16 ± 0,37 <sup>c</sup>	1,24 ± 0,54 <sup>c</sup>	1,60 ± 0,61 <sup>c</sup>	2,18 ± 0,77 <sup>bc</sup>	2,32 ± 0,75 <sup>bc</sup>	3,03 ± 1,28 <sup>ab</sup>	3,55 ± 1,17 <sup>a</sup>	3,65 ± 1,53 <sup>a</sup>
<b>JU</b>	4,63 ± 1,29 <sup>a</sup>	4,21 ± 1,50 <sup>ab</sup>	3,55 ± 1,20 <sup>abc</sup>	3,73 ± 1,15 <sup>abc</sup>	3,24 ± 1,55 <sup>abc</sup>	3,08 ± 1,03 <sup>bc</sup>	2,87 ± 0,66 <sup>bc</sup>	2,62 ± 0,89 <sup>c</sup>
<b>DU</b>	3,53 ± 1,60	3,60 ± 1,11	3,89 ± 1,12	3,97 ± 1,02	4,00 ± 1,12	3,66 ± 0,71	3,47 ± 0,88	3,68 ± 0,86
<b>PA</b>	2,29 ± 1,33	2,58 ± 1,60	2,97 ± 1,37	2,44 ± 1,27	3,21 ± 1,43	3,50 ± 1,15	3,37 ± 1,35	3,12 ± 1,24
<b>AP</b>	4,55 ± 1,22 <sup>abc</sup>	5,13 ± 0,95 <sup>a</sup>	4,39 ± 0,97 <sup>abc</sup>	4,97 ± 0,91 <sup>ab</sup>	3,92 ± 1,02 <sup>abc</sup>	3,47 ± 0,79 <sup>c</sup>	4,15 ± 1,15 <sup>abc</sup>	3,73 ± 0,94 <sup>bc</sup>
<b>AC</b>	5,32 ± 0,98 <sup>a</sup>	5,09 ± 1,25 <sup>a</sup>	4,29 ± 0,75 <sup>ab</sup>	4,18 ± 0,75 <sup>abc</sup>	3,65 ± 1,04 <sup>bcd</sup>	3,06 ± 0,79 <sup>bcd</sup>	2,81 ± 0,91 <sup>cd</sup>	2,87 ± 1,07 <sup>d</sup>

\* Valores con diferentes superíndices muestran diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

**CP:** Color propio a salmón cocinado; **CA:** Colores anómalos y desagradables; **OP:** Olor propio a salmón cocinado; **OA:** Olores anómalos y desagradables; **SP:** Sabor propio a salmón cocinado; **SA:** Sabores anómalos y desagradables; **JU:** Jugosidad; **DU:** Dureza; **PA:** Pastosidad; **AP:** Apariencia; **AC:** Aceptación.



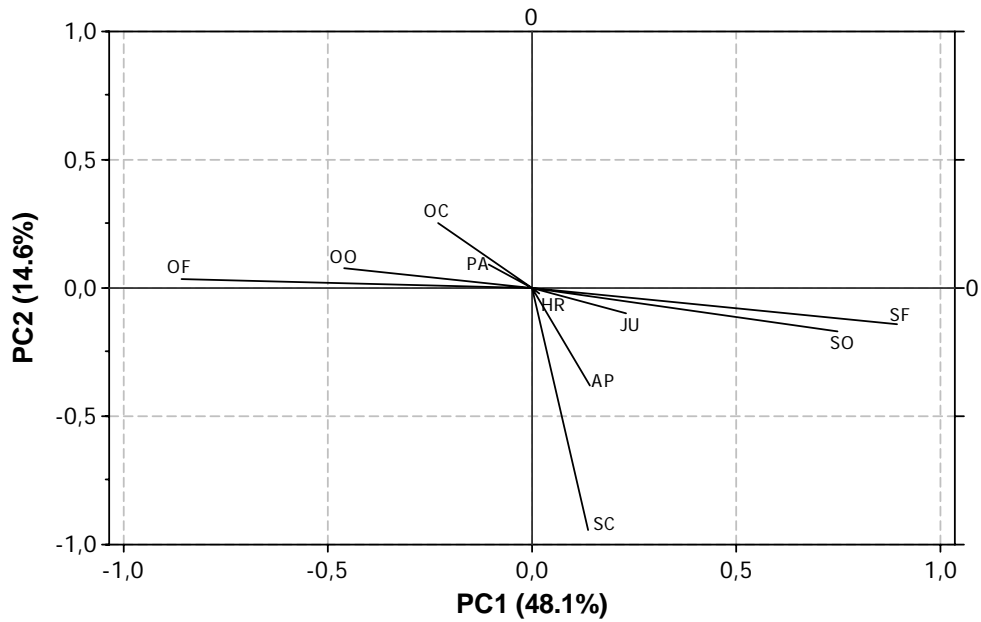
**Tabla 43.** Coeficientes de correlación entre los atributos sensoriales estudiados para el salmón cocinado *sous vide* almacenado a 2 °C durante 0, 4, 8, 12, 15, 18, 22 ó 25 días.

	AC	AP	CA	CP	OA	OP	SA	SP	DU	JU
<b>AP</b>	0,54 ***									
<b>CA</b>	-0,50 ***	-0,76 ***								
<b>CP</b>	0,34 ***	0,67 ***	-0,53 ***							
<b>OA</b>	-0,62 ***	-0,41 ***	0,53 ***	-0,31 ***						
<b>OP</b>	0,75 ***	0,43 ***	-0,52 ***	0,40 ***	-0,68 ***					
<b>SA</b>	-0,79 ***	-0,33 ***	0,37 ***	-0,25 **	0,73 ***	-0,75 ***				
<b>SP</b>	0,84 ***	0,43 ***	-0,46 ***	0,37 ***	-0,57 ***	0,82 ***	-0,81 ***			
<b>DU</b>	0,25 **	0,26 **	-0,30 ***	0,11	-0,20 *	0,10	-0,16	0,11		
<b>JU</b>	0,58 ***	0,47 ***	-0,40 ***	0,28 **	-0,38 ***	0,46 ***	-0,40 ***	0,56 ***	-0,09	
<b>PA</b>	-0,42 ***	-0,42 ***	0,44 ***	-0,26 **	0,24 **	-0,38 ***	0,20 *	-0,36 ***	-0,43 ***	-0,25 **

Nivel de significación: \*( $P \leq 0,05$ ), \*\*( $P \leq 0,01$ ), \*\*\*( $P \leq 0,001$ )

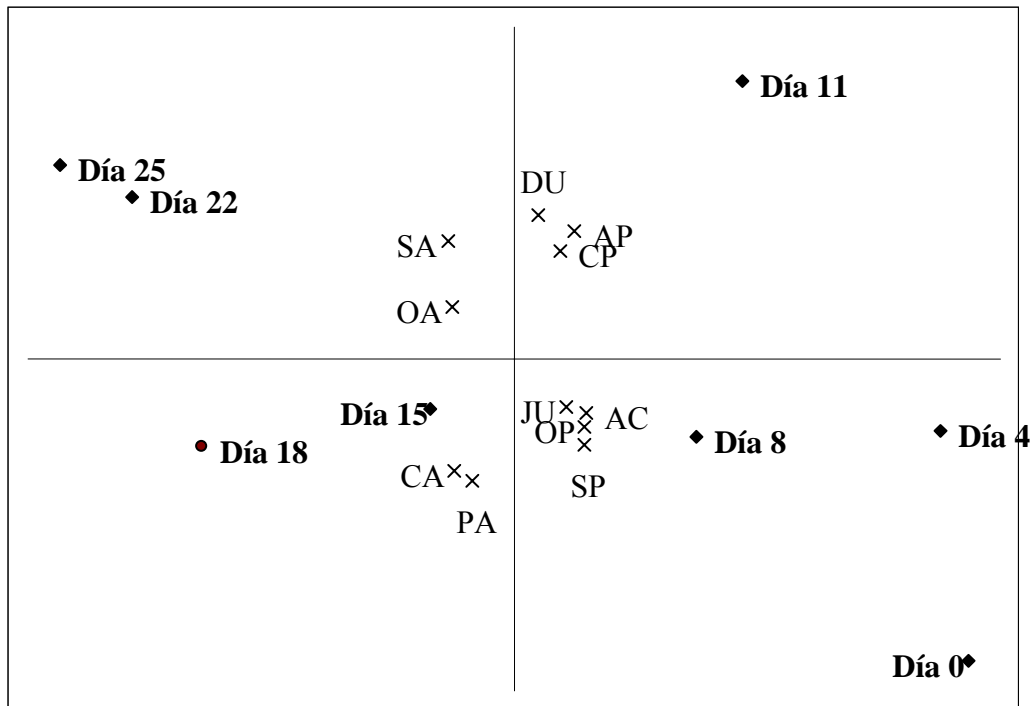
**AC:** Aceptación; **AP:** Apariencia; **CP:** Color propio a salmón cocinado; **CA:** Colores anómalos y desagradables; **OP:** Olor propio a salmón cocinado; **OA:** Olores anómalos y desagradables; **SP:** Sabor propio a salmón cocinado; **SA:** Sabores anómalos y desagradables; **JU:** Jugosidad; **DU:** Dureza; **PA:** Pastosidad.

**Figura 25.** Gráfico de los componentes principales (F1 y F2) con rotación VARIMAX para los atributos de olor propio y anómalo, color propio y anómalo, sabor propio y anómalo, dureza, jugosidad, pastosidad y apariencia del salmón *sous vide* durante 0, 4, 8, 11, 15, 18, 22 ó 25 días de almacenamiento en frío.



**CP:** Color propio a salmón cocinado; **CA:** Colores anómalos y desagradables; **OP:** Olor propio a salmón cocinado; **OA:** Olores anómalos y desagradables; **SP:** Sabor propio a salmón cocinado; **SA:** Sabores anómalos y desagradables; **JU:** Jugosidad; **DU:** Dureza; **PA:** Pastosidad; **AP:** Apariencia.

**Figura 26.** Análisis de componentes principales para el salmón *sous vide* almacenado en refrigeración. Representación de variables (atributos sensoriales y aceptación) e individuos agrupados según el día de almacenamiento en el plano determinado por los dos componentes principales.



**AC:** Aceptación; **AP:** Apariencia; **CP:** Color propio a salmón cocinado; **CA:** Colores anómalos y desagradables; **OP:** Olor propio a salmón cocinado; **OA:** Olores anómalos y desagradables; **SP:** Sabor propio a salmón cocinado; **SA:** Sabores anómalos y desagradables; **JU:** Jugosidad; **DU:** Dureza; **PA:** Pastosidad.

#### IV.5. DISCUSIÓN.

Enterobacterias totales, bacterias ácido lácticas y psicrófilos, son algunos de los principales microorganismos alterantes de los productos *sous vide* (Nyati, 2000; Carlin y col., 1999; Guerzoni y col., 1999). González-Fandos y col. (2004) detectaron recuentos superiores de enterobacterias totales (2,84 log ufc/g) en trucha *sous vide* procesada a 70 °C después de 45 días de almacenamiento a 10 °C. Sin embargo, otros autores han mostrado ausencia de enterobacterias totales en alimentos cocinados *sous vide* almacenados en refrigeración durante 35 días; así Nyati (2000), en diversos tipos de carne y filetes de pescado (70 °C/2 min) y González-Fandos y col. (2005) en filetes de salmón (90 °C/5-15 min y 65 °C/10 min).

Algunos autores han mostrado que la pérdida de atributos propios y aparición de olores y sabores anómalos en pescado y carne cocinada *sous vide* no es debida a un deterioro microbiológico (Vaudagna y col., 2002). Sin embargo, González-Fandos y col. (2005) observaron un descenso de olor propio en salmón *sous vide* a partir de tres días de almacenamiento en refrigeración debido a la aparición de olores anómalos producidos por cambios microbiológicos y químicos. Varios autores han investigado el desarrollo de sabores anómalos en varios tipos de carnes mediante los niveles de TBARs (Asghar y col., 1988; St Angelo, 1996). Por otra parte, Nyati (2000) mostró que platos a base de pescado procesados a 67-70 °C/2 min podrían tener una larga vida comercial (almacenados a 3 °C) sin mostrar una pérdida significativa ( $P < 0,05$ ) de sabor y textura.

Entre las ventajas asociadas al procesado *sous vide*, se encuentra la retención del color propio del alimento (Bertagnoli, 1987; Scarpa, 1988). El salmón *sous vide* conservó su apariencia inicial y no mostró ningún síntoma de deterioro físico. De igual forma, estudios realizados por Schafheitle (1990) y Nyati (2000) en carne y derivados no mostraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) durante el almacenamiento.

La tecnología *sous vide* resulta adecuada para mejorar y mantener la textura inicial del pescado (Schafheitle, 1990), aunque, según los resultados obtenidos, las condiciones del cocinado *sous vide* empleadas en el procesado del salmón fueron desfavorables con la jugosidad, resultando un pescado poco jugoso, aunque adecuadas para obtener una dureza aceptable y uniforme durante todo el periodo de almacenamiento. La textura del salmón *sous vide* fue lo que menos se deterioró durante el almacenamiento en refrigeración. Al avanzar el tiempo de almacenamiento, podría esperarse que el tejido muscular se ablandara produciéndose un aumento de la pastosidad como consecuencia de un deterioro de las fibras musculares, sin embargo, la pastosidad y dureza se mantuvo constante durante todo el periodo. Estos resultados coincidieron con los obtenidos por Armstrong y McIlveen (2000), en carne de pollo *sous vide* refrigerada durante 30 días. La jugosidad es un atributo muy importante a tener en cuenta en la aceptabilidad del pescado cocinado (Ruiz-Carrascal y col., 2000). La jugosidad del salmón *sous vide* se vió afectada por el almacenamiento, mostrando una textura cada vez más seca. La textura del pescado se podría mejorar al emplear temperaturas inferiores a 80 °C, por el contrario, el uso de temperaturas superiores a 90 °C o tiempos largos puede originar una textura seca en el pescado pudiendo afectar también a otros componentes de la textura (Palka y Daun, 1999; González-Fandos y col., 2005).

El análisis de correlaciones y el análisis de componentes principales mostraron que el sabor anómalo y el color, olor y sabor propio fueron los atributos de mayor peso en la evaluación del deterioro sensorial del salmón *sous vide* durante su almacenamiento en refrigeración. Sin embargo, el color propio no tuvo un papel tan relevante como lo fue el olor anómalo. El hecho de utilizar un panel entrenado, conocedor del producto, puede ser la razón de que la presencia de precipitados proteicos no haya influido de forma negativa en la valoración del color propio del salmón *sous vide*.

En base a criterios exclusivamente sensoriales se puede concluir que el salmón *sous vide* cocinado a 80 °C/45 min presenta una vida comercial inferior a

15 días almacenado a 2 °C. Llama la atención que este tiempo es muy inferior a las 5 semanas establecidas en el ensayo correspondiente al Capítulo III. Dos factores podría explicar estas diferencias entre ensayos: el pescado puede ser una materia prima bastante heterogénea y la frescura del mismo puede variar, incluso si se usa un único proveedor, debido a multitud de factores (campanas de pesca, stocks de producto, época del año, etc.). Por otro lado, a medida que aumenta la experiencia en evaluación sensorial de un panel, éste se convierte en un instrumento de detección cada vez más preciso, se detectan antes los matices desfavorables, lo que puede reducir los periodos de caducidad en estudios de vida comercial.

Este tiempo de vida comercial del salmón *sous vide* coincide con otros estudios realizados en pescado y productos derivados *sous vide* (Dalgaard, 2000). Sin embargo, González-Fandos y col. (2004 y 2005) mostraron periodos de caducidad superiores a 45 días (salmón 90 °C/15 min; trucha 90 °C/3,3 min). En ocasiones, estos periodos están sobreestimados al prevalecer los criterios microbiológicos a los sensoriales o al realizar un análisis sensorial deficiente donde sólo se estudia el deterioro de aspectos visuales y/u olfatorios o sabor propio en las muestras recién cocinadas. Además, la contribución de los aspectos sensoriales a la calidad global de los alimentos *sous vide* es muy importante, siendo los platos que contienen salsas, hierbas, especias, etc. los que presentan, por lo general, una vida útil más prolongada. Durante el almacenamiento, los cambios en las características sensoriales de los platos cárnicos o con una base de pescado y cocinados mediante el método *sous vide* podrían ser enmascarados por el empleo de salsas (Schafheitle, 1990; Cremer y col., 1985) y por la aplicación de especias las cuales es bien conocido que mantienen la calidad de algunos productos e incrementan su vida útil (Hansen y col., 1995; Antoun y Tsimidou, 1997).

Teniendo en cuenta la importancia que tiene para la industria de catering el hecho de obtener platos elaborados con una vida útil de 1-2 semanas (Lewis y

Light, 1988), el procedimiento *sous vide* empleado podría implementarse de manera segura y satisfactoria.

#### IV.6. CONCLUSIONES.

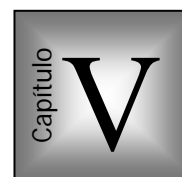
**Primera.** El tratamiento térmico de 80 °C/43 min asegura una correcta pasteurización de las porciones de salmón frente a enterobacterias totales, indicando que las condiciones higiénicas del procesado *sous vide* son adecuadas en todas las etapas del cocinado.

**Segunda.** El deterioro sensorial del salmón cocinado queda patente por la presencia de atributos anómalos y desagradables en cada uno de los ámbitos del análisis (color, olor, sabor y textura). Estos matices alcanzan intensidades lo suficientemente altas como para enmascarar las propiedades sensoriales originales del salmón cocinado, produciendo una pérdida de calidad global.

**Tercera.** La pérdida de olor y sabor propio a salmón cocinado, junto con la aparición de sabores anómalos son los principales factores que contribuyen al deterioro sensorial del salmón cocinado por el método *sous vide* y conservado en refrigeración, mientras que las alteraciones de la textura y la apariencia juegan un papel menos relevante.

**Cuarta.** Las porciones de salmón cocinadas mediante la tecnología *sous vide*, a una temperatura interna de 75 °C durante un minuto, tienen una vida útil comprendida entre 15 y 18 días cuando son almacenadas a vacío y a una temperatura de 2 °C. Dicha vida comercial puede ser calculada evaluando la aceptación, los olores y sabores desfavorables o aplicando un análisis multivariante al conjunto de los descriptores sensoriales.

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE COCINADO  
DE LA CARNE DE CERDO CON SALSA DE TOMATE  
*SOUS VIDE* ENVASADA EN BARQUETA Y ATMÓSFERA  
MODIFICADA.



## V.1. INTRODUCCIÓN.

La carne de cerdo con salsa de tomate es una receta típica española elaborada con ingredientes tradicionales de nuestro país. Se trata de un plato preparado con un mercado potencial bastante amplio que se consume en gran cantidad de bares, comedores, restaurantes y lugares de “comida para llevar”. Por ello, una producción segura, a gran escala y con una amplia vida comercial puede resultar interesante para su distribución en los diferentes establecimientos de consumo.

La tecnología *sous vide* puede ser empleada por la industria de platos preparados para elaborar carnes en salsa de alta calidad sensorial, sobre todo si se emplean carne poco jugosas o excesivamente fibrosas, proporcionando a la vez una extensa vida comercial (Hrdina-Dubsky, 1989; Creed y Reeve, 1998). La tendencia actual es cocinar la carne dentro del envase final, en su propio jugo o acompañada de salsas, con el objeto de unificar en un solo proceso preparación culinaria, tratamiento de conservación y, en algunos casos, la presentación final del plato. Con este fin, se emplean barquetas plásticas que facilitan la manipulación del producto, sobre todo cuando se utilizan ingredientes líquidos, como salsas, que a su vez permiten ser utilizados como envase final durante la regeneración de los platos, e incluso, para la venta directa de platos cocinados catalogados como semiconservas. Para evitar que la barqueta se colapse al aplicar el vacío, generalmente se opta por introducir atmósferas ricas en nitrógeno y dióxido de carbono que previenen la oxidación y la alteración microbiológica de los platos preparados.



Cuando se pretende modificar la tecnología culinaria de un determinado plato, resulta obligado replantearse cuales van a ser las nuevas condiciones durante el procesado. Previamente al lanzamiento de un nuevo producto, es necesario establecer las condiciones de cocinado idóneas para conseguir la mejor calidad sensorial posible, garantizando a la vez una adecuada pasteurización que asegure una conservación extensa.

Como se ha mencionado en otros capítulos, la duración del tratamiento térmico depende, entre otros factores, del grado de fragmentación de la carne, de la composición de la carne y, más en concreto, de la proporción de colágeno. La cantidad de colágeno en la carne de cerdo varía en función de la parte de procedencia. Generalmente, la carne de cerdo con salsa de tomate se elabora con carne de jamón, paletilla y cabeza de lomo, piezas denominadas genéricamente por los carniceros como “magra de cerdo”. Por ejemplo, la parte trasera del cerdo, en concreto la parte del jamón, está constituida por músculos de gran volumen, como el *quadriceps femoris*, *biceps femoris*, *abductor*, *gluteus profundus*, *semimembranosus* y *semitendinosus*, así como otros de menor envergadura. El jamón o la paletilla son más fibrosos que otras piezas más nobles, como el lomo o el solomillo, presentan un considerable contenido en tejido conectivo que sugiere aplicar cocinados más suaves y duraderos que favorezcan la gelatinización del colágeno sin una excesiva pérdida de jugosidad de la carne.

En condiciones normales, el tiempo de cocinado de una pieza de carne es directamente proporcional al tamaño de las porciones. Calcular el tiempo de cocinado de la carne fragmentada sería relativamente sencillo si ésta no estuviera acompañada de una salsa junto con otros ingredientes, como vegetales crudos, cuyos tiempos pueden variar bastante, pues en general, los vegetales precisan de temperaturas de cocción diferentes a la carne. Los tiempos de cocinado deficientes o excesivos pueden afectar negativamente a la calidad sensorial de los vegetales cocinados, como, por ejemplo, resaltar el efecto sobre el color rojo característico del tomate procesado, dando lugar a tonalidades más oscuras, o ablandar en exceso las zanahorias, guisantes y otros vegetales. A lo anterior, hay que sumar la

dificultad añadida que supone cocinar la carne en el envase definitivo, donde no es posible introducir los ingredientes vegetales de forma gradual.

La cuestión se resuelve precocinando algunos ingredientes por separado, para después, una vez conformado el plato completo, cocinar por el método *sous vide* el principal ingrediente del plato, es decir, la carne troceada, dentro del envase estanco. En ese caso, hay que determinar el tiempo idóneo de cocinado para conseguir una carne en salsa con las mejores cualidades sensoriales posibles, antes de estudiar su capacidad de conservación.

## **V.2. OBJETIVO.**

El objetivo fue determinar el tiempo óptimo de cocinado a una temperatura de horno de 70 °C, según atributos sensoriales, para carne de cerdo con salsa de tomate *sous vide*, envasada en barquetas y atmósfera modificada.

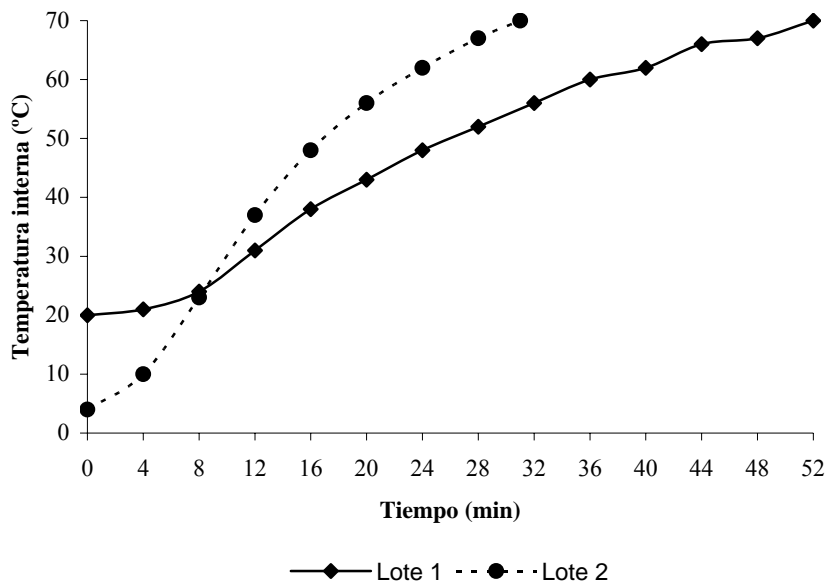
## **V.3. MATERIAL Y MÉTODOS.**

Para determinar el tiempo óptimo de cocinado se prepararon dos lotes de 16 platos preparados cada uno, empleando carne de cerdo blanco procedente del jamón y salsa de tomate con verduras. Los ingredientes de la salsa de tomate fueron: cebolla frita comercial (10%), azúcar (5%), tomate frito comercial (65,5%), sal (0,5%), aceite de oliva virgen (1%) y tomate concentrado (18%), los cuales se cocinaron previamente a 150 °C durante 90 min en una marmita con agitación. La proporción de carne y salsa fue 220 g de carne de cerdo (cortada en cubos de 4-5 cm) y 280 g de salsa de tomate. La salsa preparada y la carne cruda fragmentada se envasaron en barquetas (PC/45 TL, Hillfast Iberica, S.A., Barcelona, Spain) de dimensiones 130x180x40 mm, capacidad de 750 ± 0,5 ml y rango de temperaturas comprendido entre -25 °C y +115 °C, aplicando un vacío inicial de 101 mbar, 30 mbar de mezcla de gases inicial (80% N<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>) y

70 mbar de mezcla de gases final. Finalmente, las muestras se cocinaron, enfriaron y almacenaron según lo descrito en el apartado 3.1.2 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS.

Cada lote de barquetas fue cocinado a la vez a una temperatura de horno de 70 °C durante 5, 6, 7 ú 8 horas, de acuerdo con la praxis previa de la empresa colaboradora. La **Figura 27** muestra la evolución de la temperatura en el centro del producto durante el cocinado hasta alcanzar 70 °C en el centro de la barqueta.

**Figura 27.** Evolución de la temperatura interna hasta alcanzar 70 °C para los lotes 1 y 2 para carne de cerdo con salsa de tomate envasada en barquetas y atmósfera modificada.



El primer lote partió de una temperatura inicial de 20 °C debido al escaso tiempo transcurrido desde el previo precocinado de la salsa, a pesar de realizarse en una sala refrigerada. El segundo lote presentó una temperatura inicial interna más baja (4°C) porque las muestras permanecieron almacenadas en refrigeración (2°C) tras su preparación. Los lotes 1 y 2 necesitaron 52 y 31 min

respectivamente, para alcanzar 70 °C en el centro del producto. Haciendo un promedio de ambos lotes, se necesitaron 40 minutos para que las barquetas alcanzaran la temperatura de horno en todo sus contenido, lo que supuso un 13,3% del tiempo total aplicado en el cocinado más corto (5 h) y un 8,3% en el cocinado más largo (8 h). Tras enfriar las barquetas en un abatidor de temperatura, las muestras fueron almacenadas a 2 °C durante 24 horas antes de ser analizadas sensorialmente.

Al tratarse de un plato que combina diversos ingredientes se consideró oportuno conocer la composición general del mismo. Para ello se realizó un homogeneizado respetando las proporciones de carne y salsa (44% carne + 66% salsa) y se procedió a determinar el contenido en humedad, proteína total, grasa total en materia seca y cenizas según lo descrito en el apartado 3.2.5 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS. La **Tabla 44** muestra los valores medios y desviaciones típicas del contenido en proteínas, grasas, humedad y cenizas (g/100 g muestra) para carne de cerdo con salsa de tomate recién cocinada.

**Tabla 44.** Contenido en proteínas, grasas, humedad y cenizas para carne de cerdo con salsa de tomate recién cocinada.

<b>Composición general</b>	<b>(%)</b>
Proteína total	13,27 ± 0,79
Grasa total	5,05 ± 0,41
Humedad	71,19 ± 0,44
Cenizas	2,29 ± 0,19

La calidad sensorial del producto recién cocinado fue analizada mediante un análisis descriptivo cuantitativo (QDA) (ver apartado 3.4 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS). Dicho panel acordó cuales serían los 11 atributos sensoriales que a priori podrían aportar más información sobre el efecto del tiempo de cocinado. La **Tabla 45** muestra las descripciones de los atributos

empleados en el análisis sensorial. Se empleó una escala de intervalos de 7 puntos con una definición diferente para cada uno de los extremos según el atributo analizado (**Tabla 46**).

**Tabla 45.** Descripciones de los atributos de calidad utilizados en el análisis sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate *sous vide*.

---

<b>Atributo</b>	<b>Descripción</b>
<i>Carne</i>	
Terneza de la carne	Facilidad para masticar la carne.
Jugosidad de la carne	Cantidad de líquido que se libera al masticar la carne.
<i>Salsa</i>	
Consistencia	La salsa debe presentar una viscosidad adecuada.
Emulsión	La salsa debe mostrar la integración de sus componentes y no presentar una separación de sus fases (grasa-agua).
Color	La salsa debe presentar un color rojo oscuro.
Textura de los vegetales	Los vegetales deben tener una textura adecuada, ni dura, ni blanda, sino crujiente y entera.
<i>Carne + salsa</i>	
Color	Engloba el color del producto en conjunto.
Olor	Engloba el olor del producto en conjunto.
Sabor	Engloba el sabor del producto en conjunto.
Apariencia	Engloba el aspecto visual general del producto en conjunto.
Aceptación	Engloba todos los parámetros de calidad del producto.

---

**Tabla 46.** Significado de los extremos de la escala para los atributos de calidad utilizados en el análisis sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate *sous vide*.

Atributos	1	→	7
Textura de la carne y los vegetales	Percepción mínima		Percepción máxima
Consistencia (salsa)	Viscosidad mínima		Viscosidad máxima
Emulsión	Separación mínima		Separación máxima
Color rojo salsa	Rojo claro		Rojo oscuro
Color, olor y sabor (carne + salsa)	Percepción mínima		Percepción máxima
Apariencia	Percepción mínima		Percepción máxima
Aceptación	Aceptación mínima		Aceptación máxima

Se realizó un análisis estadístico descriptivo considerando el tiempo de cocinado como tratamiento. El efecto del tiempo sobre la calidad sensorial del producto se determinó mediante ANOVA (Test de medias de Scheffe).

#### V.4. RESULTADOS.

La **Tabla 47** muestra las puntuaciones medias y desviaciones típicas para los distintos descriptores utilizados para caracterizar la calidad sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate *sous vide*, envasada en barquetas y atmósfera modificada, cocinada a temperatura de horno de 70 °C durante 5, 6, 7 ú 8 horas. Todas las muestras, independientemente del tiempo de cocinado aplicado, mostraron puntuaciones superiores a 4,00 para todos y cada uno de los atributos sensoriales estudiados, lo que indicó una valoración positiva de la calidad sensorial de la carne en salsa.

Las muestras cocinadas durante 7 horas tuvieron las puntuaciones más altas en 9 de los 11 atributos estudiados, a excepción del color (6 h), la consistencia de la salsa (5 h) y la valoración de la emulsión de la salsa (5 h). No se

observaron diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ) en los valores medios obtenidos a distintos tiempos de cocinado para ninguno de los parámetros analizados, a excepción de la terneza de la carne. Los atributos mejor valorados, independientemente del tiempo de cocinado, fueron los relacionados con la salsa de tomate.

La calidad de la carne, en concreto su textura, fue el principal aspecto sensorial a valorar en el presente estudio. El tiempo de cocinado del producto sólo afectó a la terneza de la carne, observándose un aumento significativo ( $P < 0,05$ ) de ésta cuando la carne fue cocinada durante 7 horas con respecto al tiempo más corto. Sin embargo, cocinar la carne durante más tiempo no llegó a proporcionar una carne más tierna. La carne se hizo más tierna al incrementar el tiempo de cocinado de 5 a 7 horas, pero mantuvo una terneza similar al aumentar el tiempo de 7 a 8 horas. De esta forma, las barquetas cocinadas durante 5 horas presentaron la carne cocinada más dura, con una puntuación media de 4,38 mientras que las barquetas cocinadas durante 7 horas presentaron la carne más tierna, con una puntuación media de 5,45. Por su parte, las barquetas cocinadas durante 6 y 8 horas mostraron valores intermedios, con puntuaciones medias de 4,86 y 5,14, respectivamente.

Las puntuaciones medias registradas para la jugosidad mostraron una evolución similar que para la terneza, presentando la mejor valoración a las 7h, si bien, no es posible afirmar ( $P > 0,05$ ) que se produjo una mejora apreciable de la jugosidad a este tiempo. Por tanto, la textura de la carne de cerdo en salsa de tomate cocinada por el método *sous vide* fue deficiente e inferior a lo esperado.

Pese a la complejidad que tiene valorar por separado los distintos ingredientes de un plato cocinado, se recabó información sobre algunos aspectos sensoriales propios de la salsa de tomate, en concreto, la textura y el color, que podrían estar más relacionados con el tratamiento térmico. Dado que el tiempo de cocinado no afectó a ninguna de las características estudiadas de la salsa de

tomate, lo cual es bastante lógico si se tiene en cuenta que era precocinada, los datos serán expuestos con independencia del tiempo de cocinado.

Al analizar parámetros de textura, la salsa de tomate presentó una consistencia adecuada, valorada con una nota media de 6,00, y una correcta emulsión de ambas fases acuosa y lipídica, cuya puntuación media fue próxima a 7,00. La textura de los vegetales troceados, crujiente y entera, también fue valorada positivamente por el panel con una nota media en torno a 6,00. Así mismo, la calificación conjunta del color rojo oscuro característico del tomate frito fue también favorable, obteniendo una nota media cercana a 6,00.

La valoración del plato preparado en su conjunto fue coherente con los resultados anteriores. El color, la apariencia y el sabor fueron puntuados con una nota media algo menor de 6,00, mientras que el olor fue algo peor valorado, obteniendo una nota media en torno a 5,00. En función de la valoración del plato en su conjunto, los grupos de muestras perteneciente a cada tratamiento fueron ordenados de mayor a menor, obteniendo las puntuaciones más altas las muestras cocinadas durante 7 horas (5,79), seguidas por las muestras sometidas a 8 (5,67), 6 (5,33) y 5 horas de cocción (5,29), produciéndose una valoración positiva con independencia del tiempo de cocinado. En cualquier caso, las muestras cocinadas a 70 °C durante 7 h fueron las mejor valoradas en la mayoría de parámetros de calidad sensorial estudiados, resaltando por su ternura, aunque no se pudieron establecer efectos debido a la alta desviación típica obtenida.



**Tabla 47.** Puntuaciones medias y desviaciones típicas para los descriptores empleados en el análisis sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate *sous vide*, envasada en barquetas y atmósfera modificada y cocinada a temperatura de horno de 70 °C durante 5, 6, 7 ú 8 horas.

70°C/t (h)	5 h	6 h	7 h	8 h
	M ± D	M ± D	M ± D	M ± D
<b>Carne</b>				
Terneza	4,38 ± 1,25 <sup>b</sup>	4,86 ± 0,90 <sup>ab</sup>	5,45 ± 1,14 <sup>a</sup>	5,14 ± 0,98 <sup>ab</sup>
Jugosidad	4,62 ± 1,17	4,86 ± 0,84	5,21 ± 0,98	4,98 ± 0,98
<b>Salsa</b>				
Consistencia	6,07 ± 0,71	6,05 ± 0,80	6,05 ± 0,92	5,98 ± 0,93
Emulsión	6,76 ± 0,51	6,71 ± 0,54	6,71 ± 0,54	6,69 ± 0,64
Vegetales	5,74 ± 0,78	5,88 ± 0,86	6,19 ± 0,87	5,88 ± 0,86
Color	6,05 ± 0,59	5,88 ± 0,63	6,12 ± 0,82	5,86 ± 0,67
<b>Carne + salsa</b>				
Color	5,71 ± 0,78	5,76 ± 0,70	5,71 ± 0,73	5,71 ± 0,78
Apariencia	5,80 ± 0,77	5,73 ± 0,80	5,97 ± 0,67	5,80 ± 0,68
Olor	4,81 ± 0,97	4,86 ± 0,98	5,17 ± 1,08	4,88 ± 0,99
Sabor	5,64 ± 0,85	5,71 ± 0,62	5,83 ± 0,73	5,69 ± 0,84
General	5,29 ± 0,77	5,33 ± 0,76	5,79 ± 0,80	5,67 ± 0,69

\* Superíndices distintos representan diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).

## V.5. DISCUSIÓN.

La terneza y jugosidad influyen decisivamente en la aceptación de la carne cocinada (Grunert, 1997), por este motivo, el principal objetivo de cocinar la carne a baja temperatura y, por ende, de la tecnología *sous vide*, es obtener carne cocinada más tierna y jugosa que la preparada por el procedimiento tradicional equivalente. Como se ha documentado, el cocinado *sous vide* permite mejorar la textura de la carne debido a un menor daño térmico y unas pérdidas de jugo más moderadas (Unger, 1985). Así pues, la terneza y jugosidad son importantes para

establecer el tiempo óptimo de cocinado en carnes *sous vide*. Según los resultados de la prueba sensorial, en las condiciones ensayadas y teniendo en cuenta el tipo y tamaño de las barquetas utilizadas, el tiempo de cocinado que proporcionaría una mejor textura de la carne en salsa sería de 7 horas, y así se recomendó a la empresa colaboradora.

La evolución de la terneza de la carne al aumentar el tiempo de cocinado sería equivalente a la encontrada por otros autores al aumentar la temperatura. Josell y Tornberg (1994), describieron ligeras mejoras de la terneza al cocinar la carne de cerdo a temperaturas entre 50 y 65 °C, así como cierto endurecimiento al aumentar la temperatura de cocinado a 80 °C. En cualquier caso, las variaciones de terneza observadas entre 60 y 75 °C fueron muy pequeñas, similares a las registradas en el presente estudio. Tratamientos térmicos superiores a 7 horas produjeron una pérdida de terneza similar a la observada por Josell y Tornberg (1994) cuando incrementaron la temperatura a 80 °C.

Por otra parte, Church y Parsons (2000) observaron una mejora en la jugosidad y terneza de la carne de pollo cuando aumentaron la temperatura (de 70 a 80 °C) y el tiempo (de 2 a 10 ó 30 min) del tratamiento *sous vide*. Como se ha visto, la jugosidad de la carne cocinada mostró una evolución similar a la terneza con respecto al tiempo, si bien sus variaciones no fueron significativas. Es bien conocido que el efecto del tratamiento térmico sobre los alimentos depende, tanto de la temperatura, como del tiempo empleado. Por tanto, cabría esperar un aumento progresivo de la jugosidad hasta que las proteínas de la carne, principales responsables de la retención de jugos, completaron su proceso de gelificación por calor. Una vez producida la coagulación, al continuar aplicando calor se produce una paulatina pérdida de jugosidad debido a la deshidratación progresiva de la carne cocinada. Este hecho muestra la ventaja de la tecnología *sous vide* al cocinar la carne envasada en un recipiente estanco y en una salsa que no se deshidrata por la cocción. Este método, no sólo evita la pérdida de jugos, manteniendo una textura más blanda y jugosa, si no que además mejora la integración entre los diferentes componentes de la salsa y la carne (Unger, 1985; Schafheitle, 1990;

Nyati, 2000). Con todo esto, las muestras cocinadas 70 °C proporcionan una excelente textura, siendo una temperatura de cocinado habitual en las empresas de catering que elaboran platos a base de carne por el método *sous vide*.

El color rojo característico del tomate procesado es un importante factor en la aceptación visual de este tipo de platos cárnicos acompañados con salsas, cuyo ingrediente mayoritario es el tomate (Abushita y col., 2000). Por lo pronto, el color marrón grisáceo típico de la carne cocida y el color característico de las verduras presentes quedan enmascarados por el color rojo del tomate, un potente colorante. Tratamientos térmicos prolongados pueden alterar el color rojo del tomate procesado, produciendo un oscurecimiento característico, debido a la degradación de las moléculas de licopeno y a la formación de productos resultantes de la reacción de Maillard (Krebbers y col., 2003). La salsa de tomate, independientemente del tiempo de cocinado, experimentó cierto oscurecimiento con respecto al color de la salsa precocinada, debido posiblemente a los largos tratamientos térmicos empleados (de 5 a 8 horas). Según el análisis del panel, dicha salsa mostró un color rojo marcadamente parduzco para un tomate frito.

La textura de la salsa es otro aspecto que contribuye a la calidad sensorial del plato preparado, en especial, la consistencia de la salsa de tomate (Krebbers y col., 2003). Las salsas vegetales contienen gran cantidad de ingredientes naturales espesantes que aumentan la viscosidad de la misma y estabilizan la emulsión, más si se añaden verduras finamente picadas, como la cebolla. El propio tomate concentrado junto con otros ingredientes vegetales finamente picados suelen ser los espesantes naturales de este tipo de salsas, aunque se pueden emplear féculas, fibras y otros espesantes para aumentar la consistencia de la salsa. El calor deshace la estructura de dichos ingredientes vegetales, degrada los polisacáridos y las proteínas, aumentando la viscosidad del medio, especialmente si existen fugas de vapor de agua. El cocinado *sous vide* minimiza la deshidratación de la salsa y el intercambio de líquidos con la carne durante el cocinado. La valoración de la salsa fue bastante alta, consiguiéndose una adecuada viscosidad en todos los casos. No se apreció separación de fases, ni tan siquiera al aplicar tiempos más

largos (7 ú 8 horas), donde los agentes emulsionantes pueden estar más degradados y existir un mayor riesgo de pérdida de la emulsión.

Como se ha comentado, el cocinado de carnes y verduras en un mismo recipiente resulta difícil por la diferencia de temperaturas que requiere cada ingrediente para alcanzar una textura adecuada. En el cocinado de verduras se emplean temperaturas comprendidas entre 70 y 100 °C, mientras que las carnes necesitan temperaturas que oscilan entre 65 y 70 °C (Roca y Brugues, 2004). En este caso, se consiguió, gracias al precocinado y al horneado a 70 °C, verduras crujientes y enteras en los 4 tiempos ensayados.

La valoración conjunta de un alimento compuesto por diferentes ingredientes que interaccionan entre sí presenta cierta complejidad, ya que en su aceptabilidad puede pesar más o menos las características de un determinado ingrediente. La valoración conjunta del color y la apariencia, en definitiva, de la calidad visual de un plato elaborado con varios ingredientes de distinta naturaleza no escapa de esta observación. La calidad visual de la carne en salsa fue valorada por el panel de forma bastante positiva, con independencia del tiempo de cocinado aplicado.

La carne de cerdo con salsa de tomate *sous vide* mostró un buen sabor, con independencia del tiempo de cocinado empleado, aunque la calidad del olor fue menor de la esperada, percibiéndose matices a recalentado. Armstrong y McIlveen (2000), también observaron una calidad baja en relación al olor y sabor en salsa boloñesa de carne cocinada por el método *sous vide*, al mismo tiempo que un color rojo parduzco en el producto recién cocinado que mejoró en los primeros 20 días de almacenamiento refrigerado. Sin embargo, Simpson y col. (1994) registraron puntuaciones altas en olor y color para espaguetis con salsa boloñesa con carne cocinados por el método *sous vide*.

El olor y el sabor son parámetros de calidad cruciales en cualquier alimento, como por ejemplo, en la carne con salsa de tomate (Krebbbers y col.,

2003). Las bondades del sistema *sous vide* ya han sido abundantemente comentadas. Aplicar temperaturas moderadas en ausencia de oxígeno genera un suave aroma y sabor a carne cocida, sin proporcionar sabor a tostado, cuyo bouquet debe desarrollarse y completarse con una salsa vegetal. La carne cocinada y/o almacenada en presencia de oxígeno puede desarrollar olores y sabores a rancio y recalentado después de unas pocas horas de almacenamiento en refrigeración (Tims y Watts, 1958).

Visto todo lo anterior, la aceptación de la carne de cerdo con salsa de tomate fue puntuada baja, en comparación con otros atributos, probablemente debido a la deficiente valoración de la textura, aunque en su conjunto estuvo bien valorada por el panel. La carne de cerdo con salsa de tomate envasada en atmósfera modificada y cocinada en barquetas a 70 °C durante 5, 6, 7 ó 8 horas mostró una calidad sensorial bastante similar. El producto cocinado se caracterizó por un color rojo oscuro, un ligero olor a recalentado y un sabor característico a carne cocida con tomate frito. El tratamiento de 70 °C/7 h fue el más apropiado para este tipo de producto por conseguir una carne más tierna. A pesar de esto, la textura no acaba de destacar para ser una carne cocinada por el método *sous vide*, debido en parte a que la magra de jamón posee abundante tejido conectivo y quizás precisaría de tratamientos térmicos más intensos que mejorasen la gelatinización del colágeno. Por el contrario, la salsa de tomate y los vegetales sí tuvieron una consistencia y textura adecuada. Un tratamiento de 70 °C/7 h es intermedio a los empleados por otros autores para platos cárnicos con salsa de tomate y vegetales. Armstrong y McIlveen (2000), emplearon tratamientos de 70 °C/ 900 min para una salsa boloñesa de carne y 90 °C/45 min para carne de pollo con salsa (1,7% de tomate). Por otra parte, Simpson y col. (1994) emplearon tratamientos *sous vide* de 65 °C/71-105 min y 75 °C/37-40 min en espaguetis con salsa boloñesa de carne.

## V.6. CONCLUSIONES.

**Primera.** Las barquetas plásticas termoselladas facilitan el cocinado *sous vide* de las carnes combinadas con salsas, mostrando una correcta transmisión de calor que favorece el desarrollo de las cualidades sensoriales propias de cada producto. La inyección de una atmósfera ausente de oxígeno no produce condensaciones en el envase, ni confiere atributos sensoriales anómalos al producto recién cocinado.

**Segunda.** El envasado en barqueta y atmósfera modificada resulta adecuado para cocinar platos cárnicos con salsas en un envase que puede ser comercializado directamente. No obstante, es necesario realizar estudios adicionales que permitan conocer el deterioro de estos platos durante su almacenamiento. También, habría que establecer comparaciones con el envasado a vacío en bolsas plásticas, el envasado más utilizado en la tecnología *sous vide*, con el fin de conocer la eficacia de ambos métodos de envasado sobre la calidad sensorial y la capacidad de conservación de los platos preparados *sous vide*.

**Tercera.** Los tiempos de cocinado ensayados apenas influyen en los parámetros sensoriales estudiados en la carne de cerdo cocinada en salsa de tomate “*sous vide*”. Ninguno de los tratamientos ensayados proporciona una carne cocinada que destaque por su ternura y jugosidad. Aunque, tiempos superiores a 6 horas a 70 °C favorecen la correcta cocción de la carne, consiguiendo una textura ligeramente superior, sin embargo, la calidad sensorial de la salsa y del plato preparado en general, es independiente del tiempo aplicado.



EFECTO DEL TIPO DE ENVASADO (VACÍO Y EN ATMÓSFERA MODIFICADA) SOBRE LA VIDA COMERCIAL DE LA CARNE COCINADA CON SALSA DE TOMATE *SOUS VIDE*.



## VI.1. INTRODUCCIÓN.

El método *sous vide* se caracteriza por un evasado y posterior cocinado de los alimentos bajo condiciones controladas de temperatura y tiempo. Las características del envase son claves para garantizar una adecuada conservación de los platos cárnicos *sous vide*, facilitar su manipulación y almacenamiento, e incluso, mejorar su apariencia cara al consumidor. Los alimentos *sous vide* pueden ser envasados a vacío en bolsas flexibles o en barquetas plásticas semirígidas (Ghazala y col., 1995). El envasado debe asegurar una adecuada transferencia de calor con el fin de minimizar el deterioro microbiológico, físico-químico y/o sensorial (De Baerdemaeker y Nicolai, 1995; Ghazala y col., 1995). Al mismo tiempo, tiene que ser capaz de proteger al alimento frente a los cambios de temperatura, luz, humedad, disponibilidad de oxígeno, interacción envase-alimento o posibles daños físicos durante el almacenamiento (Kebelde y col., 1998). El empleo de bolsas plásticas termorresistentes tiene como principales ventajas la eliminación completa del oxígeno y una máxima transferencia de calor al alimento durante el cocinado. Sin embargo, el llenado, envasado y manipulación de las bolsas resultan complicados en platos con salsas o porciones líquidas y su almacenamiento en grandes cantidades puede producir rotura de las mismas. Sumado a esto, la presentación del producto envasado resulta poco atractiva al consumidor y, en ocasiones, se requiere de otros recipientes para su regeneración y consumo.

Una alternativa al empleo de bolsas en el cocinado *sous vide* es el uso de barquetas plásticas selladas con *films* de baja permeabilidad al oxígeno y al vapor de agua. Este hecho podría mejorar los problemas generados por el empleo de



bolsas durante las distintas etapas del cocinado *sous vide*, ya que se trata de un envase más resistente y de fácil llenado (con alimentos líquidos), más apetecible al consumidor y con la posibilidad de ser empleado como recipiente para su regeneración y consumo directo. Sin embargo, el empleo de barquetas plásticas implica el uso de gases o mezcla de ellos (80% N<sub>2</sub> y 20% CO<sub>2</sub>) para evitar el colapso y eliminar del oxígeno existente en el espacio de cabeza. Los posibles inconvenientes que pueden presentar el uso de barquetas frente al envasado a vacío en bolsas son: imposibilidad de alcanzar condiciones de anaerobiosis por colapso de las barquetas, menor transferencia de calor, formación de condensaciones en el envase y migración de humedad en el producto cocinado (Lingle, 1992).

El deterioro de los platos preparados *sous vide* depende, en gran medida, del tipo de envasado utilizado. La atmósfera generada en el interior del envase, la transmisión de calor al centro del alimento y la permeabilidad a los gases y al vapor de agua son cuestiones importantes a tener en cuenta si se pretende retrasar al máximo el deterioro y mejorar la conservación de los platos preparados *sous vide*. El cocinado *sous vide* se caracteriza por un envasado a vacío, aunque en ocasiones, el empleo de barquetas no lo permite y necesita la inyección de una atmósfera que ayude a eliminar el oxígeno residual. El envase utilizado debe facilitar una rápida penetración del calor que asegure, en el menor tiempo posible, temperaturas de pasteurización en el centro del alimento. La elección de los plásticos es crucial y estos deben resistir altas temperaturas durante tiempos muy largos con el objetivo de evitar la pérdida de sus propiedades barrera, lo que implicaría una rápida alteración del producto durante su almacenamiento.

La mayoría de estudios centrados en la calidad y vida comercial de los platos cárnicos *sous vide* emplean un envasado a vacío en bolsas plásticas termorresistentes (Armstrong y McIlveen, 2000; Nyati, 2000; Vaudagna y col., 2002; Wang y col., 2004). Sin embargo, son escasos los estudios donde utilizan barquetas plásticas con atmósfera modificada.

## VI.2. OBJETIVO.

El objetivo fue el estudio comparativo del deterioro microbiológico, físico-químico y sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate cocinada a vacío y en atmósfera modificada empleando la tecnología *sous vide* y almacenadas en refrigeración a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días. La vida comercial fue determinada en función de la aceptación sensorial.

## VI.3. MATERIAL Y MÉTODOS.

Para estudiar el efecto del envasado se prepararon dos lotes de 64 muestras para cada tipo de envasado. La carne de cerdo blanco procedente de la parte del jamón y la salsa de tomate se envasó a vacío en bolsas (200 x 295 mm) plásticas termorresistentes (VA – cocinado a vacío) y en barquetas (130 x 180 x 40 mm) envasadas en atmósfera modificada (AM – cocinado en atmósfera modificada).

Las muestras AM se prepararon y envasaron de igual forma que lo descrito en el Capítulo V para carne de cerdo con salsa de tomate y las muestras VA como se explica en el apartado 3.1.2 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS, respetando las mismas proporciones de carne y salsa que en las muestras AM. Todas las muestras se cocinaron, enfriaron y almacenaron según lo establecido en el apartado 3.1.2 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS.

Tanto muestras VA como AM se cocinaron a la vez a una temperatura de horno de 70 °C durante 7 horas, siendo la temperatura en el centro del producto de 70 °C durante 6 h y 44 min para muestras VA y 70 °C durante 6 h y 15 min para muestras AM. Tras el enfriamiento, todas las muestras se almacenaron a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días en una cámara de refrigeración en ausencia de luz para evaluar y comparar el deterioro de las muestras VA y AM.

Para el estudio del deterioro microbiológico se analizaron los recuentos de aerobios y anaerobios psicrófilos, bacterias ácido lácticas, enterobacterias totales y mohos y levaduras según lo descrito en el apartado 3.3 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS.

El deterioro físico-químico se evaluó mediante el análisis de la actividad de agua, pH y acidez total según lo descrito en el apartado 3.2 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS. La preparación de la muestra resulta crucial en la medida de la textura instrumental por la necesidad de disponer de muestras lo más homogéneas posibles en cuanto a sus dimensiones y forma se refiere (Bourne, 2002). Debido a esta cuestión y a la dificultad de conseguir muestras de dimensiones lo más similares posibles no se realizó la medida instrumental de textura en carne de cerdo con salsa de tomate. La medida de las coordenadas CIELab no se realizó sobre la carne por tratarse de un producto con salsa.

El estudio del deterioro sensorial se realizó mediante un análisis descriptivo cuantitativo (QDA). El procedimiento fue similar al descrito en el apartado 3.4 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS. En este caso, tanto las muestras AM y VA fueron recalentadas en microondas según lo descrito en el apartado 3.4.1 de la misma sección. Para estudiar el deterioro de las muestras AM y VA se analizaron 19 atributos sensoriales, 9 de deterioro y 10 de calidad. La **Tabla 48** muestra la descripción de los atributos sensoriales empleados en el estudio del deterioro sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate cocinada a vacío y atmósfera modificada. Para esto se empleó una escala de intervalos de 7 puntos donde los extremos presentaron un significado diferente en función del tipo de atributo. La **Tabla 49** muestra el significado de los extremos en la escala para los atributos de deterioro y calidad sensorial. Para el entrenamiento, los panelistas analizaron el producto recién cocinado y almacenado durante 95 días de almacenamiento a 2 °C con el fin de asimilar los posibles atributos causantes del deterioro y facilitar su identificación con los extremos de la escala. La calidad del producto se consideró inaceptable cuando las puntuaciones fueron inferiores a 4,00.

El análisis estadístico se realizó según lo descrito en el apartado 3.5 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS. Para ello, se realizó un análisis estadístico descriptivo considerando el día de almacenamiento y el tipo de envasado como tratamientos. El efecto del almacenamiento y el tipo de envasado se determinó mediante ANOVA (Test de medias de Scheffe).

**Tabla 48.** Descripción de los atributos sensoriales empleados en el estudio del deterioro sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate cocinada a vacío y atmósfera modificada.

		<b>Descripción</b>	
<b>Atributos de deterioro</b>	Olor WOF	OW	Olor asociado a “cartón”, “humedad”, etc.
	Olor rancio	OR	Olor asociado a carne oxidada y ligeramente ácida.
	Olor ácido	OA	Olor asociado al provocado por disoluciones de sustancias ácidas.
	Sabor WOF	SW	Sabor asociado a carne oxidada y ligeramente ácida.
	Sabor rancio	SR	Sabor asociado a “cartón”, “humedad”, etc.
	Sabor ácido	SA	Sabor asociado al provocado por disoluciones de sustancias ácidas.
	Oscurecimiento	OS	Pérdida de brillo del color del producto dando lugar a tonalidades más oscuras.
	Ablandamiento	AB	Pérdida de firmeza dando lugar a carne y vegetales menos duros.
Emulsión	EM	Pérdida de viscosidad debido a la condensación de agua en el interior del envase.	
<b>Atributos de calidad</b>	<b>Carne</b>		
	Terneza	TE	El tipo de carne y condiciones de cocinado le proporcionan una terneza característica.
	Jugosidad	JU	El tipo de carne, condiciones de cocinado y presencia de salsa le confieren a la carne una jugosidad característica.
	<b>Salsa</b>		
	Consistencia (salsa)	CN	La salsa debe presentar una viscosidad adecuada y mostrar integración de sus componentes.
	Salsa de tomate	ST	La salsa debe presentar un color rojo oscuro y un olor y sabor ligeramente ácido a tomate frito.
	Textura vegetales	TV	Los vegetales deben tener una textura adecuada, no dura, sino crujiente y entera.
	<b>Carne + Salsa</b>		
	Color	CC	Engloba el color del producto en conjunto.
	Olor	CO	Engloba el olor del producto en conjunto.
Sabor	CS	Engloba el sabor del producto en conjunto.	
Aceptación	AC	Engloba todos los parámetros de calidad del producto (carne + salsa).	

**Tabla 49.** Definición de los extremos en la escala utilizada en el análisis sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate envasada a vacío y en atmósfera modificada para los atributos de deterioro y calidad sensorial.

Atributos	1	—————>	7
Textura de la carne y los vegetales	Percepción mínima		Percepción máxima
Color, olor y sabor (deterioro y calidad)	No perceptible		Percepción máxima
Oscurecimiento	No perceptible		Percepción máxima
Ablandamiento	No perceptible		Percepción máxima
Emulsión	Separación nula		Separación máxima
Consistencia	Viscosidad mínima		Viscosidad máxima
Salsa de tomate	Percepción mínima		Percepción máxima
Aceptación	Aceptación mínima		Aceptación máxima

#### VI.4. RESULTADOS.

##### VI.4.1. Penetración de calor.

La **Figura 28** muestra la evolución de la temperatura interna durante el cocinado de la carne de cerdo con salsa de tomate envasada a vacío en bolsas plásticas termorresistentes y en barquetas envasadas en atmósfera modificada. La temperatura interna inicial de las muestras VA y AM fue de 13 y 11,5 °C respectivamente. El cocinado VA mostró una velocidad máxima de penetración de calor de 3,9 °C/min en el intervalo 8-12 min, alcanzando 70 °C en 26 min. Por otra parte, la velocidad máxima en el cocinado AM fue de 2,6 °C/min entre 12-16 min, necesitando 60 min para alcanzar 70 °C en el centro del producto. La velocidad media de calentamiento en el cocinado VA (2 °C/min) fue doble que en AM (1 °C/min).

El envasado a vacío en bolsas termorresistentes favoreció la penetración de calor permitiendo alcanzar la temperatura deseada en la mitad de tiempo que empleando un envasado en barquetas y atmósfera modificada.

#### VI.4.2. Calidad sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate *sous vide* recién cocinada.

La **Tabla 50** y **Tabla 51** muestran los índices de calidad sensorial para la carne de cerdo con salsa de tomate AM y VA, respectivamente, almacenada a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días. La calidad sensorial del producto recién cocinado se estableció únicamente en función de los 9 parámetros de calidad estudiados. La valoración de la consistencia de la salsa (5,83) destacó por encima del resto en las muestras AM recién cocinadas. Por el contrario, la jugosidad de la carne fue el parámetro menos valorado con una puntuación media de 4,89. Todos los atributos de calidad estudiados mostraron puntuaciones iniciales superiores a 5,00, excepto los relacionados con la calidad de la carne (terneza y jugosidad). Según las puntuaciones recibidas, se diferenciaron tres grupos con diferentes rangos de puntuaciones. Los parámetros que conformaron la calidad de la salsa (consistencia, textura de los vegetales y calidad global), junto con la calidad del color, fueron los que presentaron puntuaciones más altas, comprendidas entre 5,61 y 5,83. Por el contrario, los atributos relacionados con la calidad de la carne (terneza y jugosidad) fueron los que mostraron puntuaciones más bajas, comprendidas entre 4,89 y 4,97. La calidad sobre el olor y sabor, así como la aceptación del producto, quedaron en un plano intermedio, con puntuaciones de 5,06 y 5,36, respectivamente. La aceptación de las muestras AM recibió una puntuación media de 5,25.

Para las muestras VA, todos los atributos mostraron puntuaciones superiores o iguales a 5,00, excepto el olor y la terneza de la carne. El parámetro mejor valorado también fue la consistencia de la salsa, obteniendo la misma puntuación que la recibida por la textura de los vegetales, con una nota media de

5,41. A diferencia de lo que ocurría en las muestras AM, los atributos menos valorados fueron el olor y la terniza de la carne con una puntuación media de 4,88. En el caso de las muestras VA, se diferenciaron dos grupos: el primer grupo con puntuaciones comprendidas entre 5,00 y 5,50, donde se agruparon el color, sabor, consistencia de la salsa, jugosidad de la carne, calidad de la salsa, textura de los vegetales y aceptación del producto y en un segundo grupo, con puntuaciones entre 4,50 y 4,99, al que pertenecieron los atributos de olor y terniza de la carne. La aceptación de las muestras VA mostró una puntuación media de 5,09, algo inferior a la recibida por las muestras AM.

La valoración de todos los atributos de calidad sensorial, excepto la jugosidad de la carne, fue superior en las muestras AM. La diferencia en las puntuaciones recibidas para este atributo fue mínima para muestras AM y VA. A pesar de esto, el tipo de envasado empleado no tuvo ningún efecto significativo ( $P>0,05$ ) sobre la calidad sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate *sous vide* recién cocinada.

#### VI.4.3. Deterioro de carne de cerdo con salsa de tomate.

La **Tabla 52** muestra los valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro microbiológico (log ufc/g) para la carne de cerdo con salsa de tomate AM y VA almacenada a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días. Las muestras AM mostraron recuentos inferiores al límite de detección en los 5 microorganismos testados durante todo el periodo de almacenamiento. Por otra parte, las muestras VA presentaron idéntico resultado en el caso de enterobacterias totales, bacterias ácido lácticas y anaerobios psicrófilos, sin embargo, se observó un crecimiento de mohos y levaduras y aerobios psicrófilos al final del periodo de almacenamiento. Se detectaron recuentos medios de 1,64 log ufc/g para mohos y levaduras en el día 90 y entre 1,11 y 2,37 log ufc/g para aerobios psicrófilos durante los últimos 21 días de almacenamiento. A pesar de este crecimiento final, el almacenamiento no tuvo ningún efecto ( $P>0,05$ ) sobre el



crecimiento microbiano, tanto en muestras AM, como VA. Tampoco se apreciaron diferencias estadísticamente significativas ( $P>0,05$ ) entre muestras AM y VA para los 5 microorganismos testados en ningún punto de control, debido en parte, a las altas desviaciones típicas obtenidas como consecuencia del cierre individualizado de cada bolsa que permitió una mayor o menor penetración de gases y vapor de agua.

Tanto el cocinado AM como VA fueron igual de efectivos para inactivar los microorganismos testados, detectándose recuentos bajos de aerobios psicrófilos y mohos y levaduras en muestras VA en los últimos días de almacenamiento. La ausencia de enterobacterias totales en ambos tipos de muestras fue garantía de una higiénica manipulación de los alimentos durante el procesado.

La **Tabla 53** muestra los valores medios y desviaciones típicas para los índices de deterioro físico-químico para carne de cerdo con salsa de tomate AM y VA almacenada a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.

La actividad de agua no varió durante el almacenamiento, tanto en las muestras AM, como VA, manteniéndose en ambos casos en un valor medio de 0,93. Los valores medios de pH presentaron fluctuaciones estadísticamente significativas ( $P<0,05$ ) durante el almacenamiento en los dos tipos de cocinado. Las muestras AM presentaron valores iniciales de 5,16 y finales de 5,01, con valores máximos de 5,34 (día 26) y mínimos de 4,93 (día 69). A su vez, las muestras VA mostraron valores iniciales de 4,82 y finales de 4,86, con valores máximos de 5,09 (día 13) y mínimos de 4,76 (día 82). Las muestras AM presentaron valores medios de pH superiores ( $P<0,05$ ) a los VA en los días 0, 13, 26, 56, 82 y 90 y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P>0,05$ ) en los días 41 y 69. El contenido en ácido láctico presentó una evolución ascendente en ambos tipos. Las muestras AM mostraron valores iniciales de 0,06% y finales de 0,14%, mostrando diferencias estadísticamente significativas ( $P<0,05$ ) sólo en el día 0 con respecto al resto. Por otra parte, las muestras VA

presentaron valores medios iniciales de 0,05% para aumentar en los primeros 41 días hasta un 0,12%, valor que se mantuvo constante ( $P>0,05$ ) hasta el final del almacenamiento. Todos los valores medios de acidez mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P<0,05$ ) con los registrados en el día 0; también entre los días 13 y 26 y los días 41, 56, 69, 82 y 90. Sólo en el día 26 se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $P<0,05$ ) en el contenido en ácido láctico para los diferentes tipos de cocinado, mostrando valores superiores las muestras AM.

La carne con salsa de tomate cocinada tanto en bolsa, como en barqueta, no sufrió acidificación ni fugas de vapor de agua que alteraran los parámetros físico-químicos durante el almacenamiento refrigerado.

La **Tabla 54** y **55** muestran los índices de deterioro sensorial para la carne de cerdo con salsa de tomate AM y VA, respectivamente, almacenada a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.

Los atributos de olor característicos del deterioro (olor rancio, WOF y ácido) no se detectaron significativamente ( $P>0,05$ ) en ambos tipos de muestras durante el almacenamiento. De igual forma, los atributos de sabor rancio, WOF y ácido se comportaron de forma similar, con la excepción del sabor rancio en muestras AM y sabor WOF en muestras VA. En estos casos, el sabor rancio presentó valores mínimos de 1,03 (no perceptible) (día 13) y máximos de 2,46 (día 90), comenzando a ser perceptible significativamente ( $P<0,05$ ) a partir del día 82. Por otra parte, el sabor WOF presentó diferencias estadísticamente significativas ( $P<0,05$ ) entre los días 13 (1,34) y 69 (2,66). Este aumento puntual del sabor WOF no se mantuvo constante durante todo el almacenamiento.

En relación a los atributos anteriores, sólo se observaron diferencias puntuales ( $P<0,05$ ) en el olor WOF (día 26) entre los diferentes tipos de envasado empleados. En este caso, las muestras AM mostraron una menor puntuación (1,30) que las muestras VA (1,85). Sumado a esto, sólo las muestras AM

mostraron cierta rancidez después de 82 días de almacenamiento y las muestras VA no desarrollaron olores y sabores característicos del deterioro que pudieran ser detectados por el panel, debido posiblemente al envasado a vacío.

Durante el almacenamiento no se observó un ablandamiento significativo ( $P>0,05$ ) de la carne en ambos casos. Sin embargo, se observó un descenso en la calidad de la carne debido a una pérdida significativa ( $P<0,05$ ) de la terneza y jugosidad, que resultó estadísticamente significativa ( $P<0,05$ ) a partir del día 41. En relación a la terneza, las muestras AM y VA partieron de puntuaciones iniciales de 4,97 y 4,88, respectivamente, para alcanzar 3,21 y 3,08, respectivamente, después de 90 días de almacenamiento. Por otra parte, la jugosidad varió desde 4,89 (día 0) a 3,00 (día 90) en muestras AM y de 5,00 (día 0) a 2,92 (día 90) en muestras VA.

Sólo se observaron diferencias puntuales ( $P<0,05$ ) en el ablandamiento de la carne entre los dos tipos de envasado, mostrando las muestras AM una menor puntuación (1,34) que las muestras VA (2,12) en el día 56. En relación al deterioro de la carne, la terneza y jugosidad mostraron una misma evolución descendente en ambos tipos de envasado, produciéndose en ambos casos, un descenso significativo ( $P<0,05$ ) en el día 41. Por otra parte, la pérdida de la terneza de la carne se adelantó 49 días en las muestras AM con respecto a VA.

En la salsa, la consistencia no mostró variaciones estadísticamente significativas ( $P>0,05$ ) en ambos casos. Sólo se observó un descenso significativo ( $P<0,05$ ) en la calidad de la salsa al final del almacenamiento en muestras AM. Las puntuaciones variaron desde 5,72 (día 0) a 4,58 (día 90). Este descenso no se relacionó con cambios en la textura de los vegetales, ni con la pérdida de la emulsión grasa-agua. Este hecho no se produjo en muestras VA, donde la emulsión, textura de los vegetales y calidad de la salsa no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P>0,05$ ).

Sólo se observaron diferencias puntuales ( $P < 0,05$ ) entre los dos tipos de envasado en el día 13 para el atributo relacionado con la consistencia de la salsa, mostrando las muestras AM una mayor puntuación (6,00) que las VA (5,12). La pérdida de calidad de la salsa de tomate en las muestras VA permaneció constante durante el almacenamiento sin existir variaciones significativas, hecho que no ocurrió en las muestras AM donde si que existió un descenso progresivo.

Tanto en muestras AM como en VA, se observó un descenso significativo ( $P < 0,05$ ) en el olor y el sabor, mientras que el color permaneció constante ( $P > 0,05$ ) sin detectarse un oscurecimiento significativo ( $P > 0,05$ ). En muestras AM, las puntuaciones del olor y el sabor estuvieron comprendidas entre 5,12 (día 13)-3,54 (día 90) y 5,36 (día 0)-3,21 (día 90), respectivamente. Por otra parte, las puntuaciones del olor y el sabor descendieron desde valores iniciales de 4,88 y 5,16 a finales de 3,17 y 2,75, respectivamente, en muestras VA.

Como consecuencia de todo esto, se observó una pérdida de aceptación desde 5,25 a 3,58 en muestras AM y de 5,09 a 3,12 en muestras VA. En ambos casos, la pérdida de olor característico del producto cocinado comenzó a ser significativa ( $P < 0,05$ ) a partir del día 90, sin embargo, la pérdida de sabor propio fue más prematura, siendo significativa ( $P < 0,05$ ) a partir del día 56 en muestras AM y del día 82 en VA. Las muestras VA y AM registraron notas medias de aceptación inferiores en el día 56 al límite de aceptación establecido ( $< 4,00$ ), en concreto, 3,84 y 3,83, respectivamente. En ambos casos, las muestras se consideraron inaceptables ( $< 4,00$ ) a partir del día 41 con independencia del tipo de envasado empleado.

Las **Tablas 56** y **57** recogen los coeficientes de correlación entre la aceptación y el resto de atributos sensoriales para la carne con salsa de tomate *sous vide* envasada en barquetas y bolsas, respectivamente. El valor de la aceptación tanto de muestras envasadas en barquetas, como en bolsas, estuvo correlacionado ( $P < 0,05$ ) con 13 atributos sensoriales. En el caso de muestras AM, los coeficientes R ordenados de mayor a menor fueron: calidad del sabor >

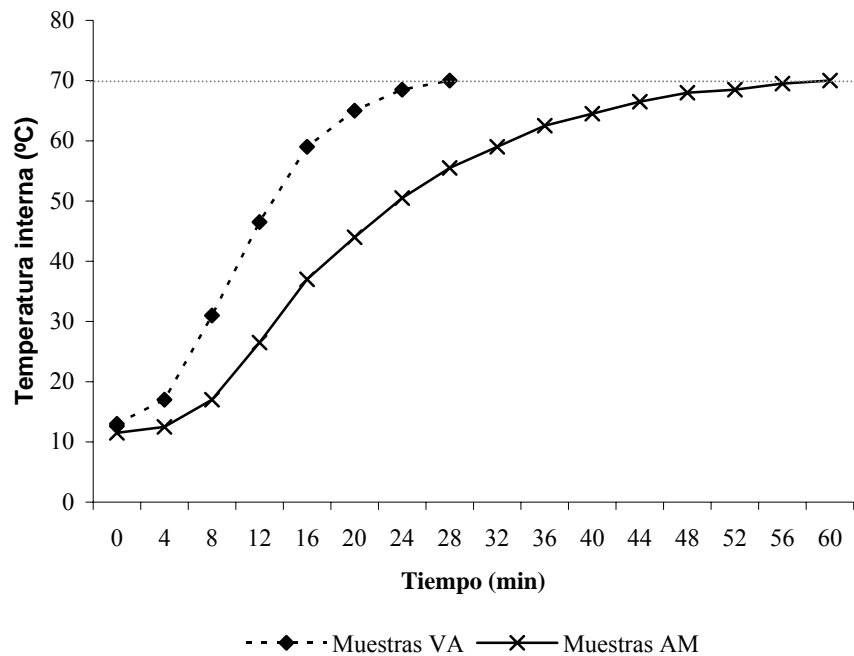
calidad del olor > sabor rancio > terneza de la carne > jugosidad de la carne  $\approx$  calidad de la salsa > calidad del color > olor rancio  $\approx$  sabor WOF > consistencia de la salsa  $\approx$  terneza de los vegetales > olor WOF > oscurecimiento. La pérdida de aceptación de la carne con salsa de tomate cocinada en barquetas estuvo fuertemente correlacionada con el deterioro del sabor (0,91) y olor (0,80) característico de la carne cocinada. De forma secundaria, también afectó el desarrollo de un sabor rancio (-0,59), la pérdida de terneza (0,57) y jugosidad (0,56) de la carne, así como, el descenso de la calidad de la salsa de tomate (0,56). Para muestras VA, los atributos correlacionados ordenados de mayor a menor R fueron: calidad del sabor > calidad del olor > calidad de la salsa > sabor rancio > terneza de la carne > calidad del color > sabor WOF > jugosidad de la carne > consistencia de la salsa > terneza de los vegetales > oscurecimiento > ablandamiento > olor WOF. Igual que ocurrió en las muestras AM, el descenso registrado en la aceptación de las muestras VA estuvo fuertemente correlacionado con la pérdida de la calidad del sabor (0,92) y olor (0,82). También afectó, pero en menor medida, el deterioro de la calidad de la salsa de tomate (0,60) y el color del producto cocinado (0,54), el empeoramiento de la terneza (0,56) y la jugosidad (0,52) de la carne y la aparición de un sabor rancio (-0,58) y WOF (-0,53).

La pérdida de calidad de los atributos característicos de olor y sabor evolucionó de igual forma en ambos casos, con la única diferencia que la pérdida del sabor se adelantó 26 días en las muestras VA. Según criterios sensoriales, la vida comercial de las muestras envasadas en bolsas plásticas y en barquetas fue similar, siendo como máximo de 41 días a una temperatura de refrigeración de 2 °C, aunque la aceptación de las muestras AM mostró un descenso no constante en el día 56.

La carne de cerdo con salsa de tomate cocinada tanto AM, como VA, se caracterizó por la pérdida de los atributos de olor y sabor, sumado a una menor terneza y jugosidad de la carne. Además, las muestras AM también se caracterizaron por la aparición de una ligera rancidez y un descenso de la calidad de la salsa de tomate. De esta forma, la vida comercial de la carne de cerdo con

salsa de tomate cocinada en AM y VA fue de 41 días en refrigeración a 2 °C, respectivamente. No se observaron diferencias importantes en los atributos sensoriales estudiados que pudieran establecer un tipo de envasado como el más eficaz para retrasar el deterioro sensorial del producto almacenado en refrigeración a 2 °C.

**Figura 28.** Evolución de la temperatura media interna durante el cocinado de la carne de cerdo con salsa de tomate envasada a vacío y en atmósfera modificada.



**Tabla 50.** Valores medios y desviaciones típicas para los índices de calidad sensorial de carne de cerdo con salsa de tomate cocinada en barquetas plásticas envasadas en atmósfera modificada (AM) y almacenadas en refrigeración a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.

Días	0	13	26	41	56	69	82	90
<b>TE</b>	4,97 ± 0,98 <sup>a</sup>	4,31 ± 1,25 <sup>ab</sup>	4,25 ± 1,51 <sup>ab</sup>	3,56 ± 1,09 <sup>b</sup>	3,50 ± 1,09 <sup>b</sup>	3,62 ± 0,74 <sup>ab</sup>	3,62 ± 1,07 <sup>ab</sup>	3,21 ± 0,58 <sup>b</sup>
<b>JU</b>	4,89 ± 0,96 <sup>a</sup>	4,00 ± 0,97 <sup>ab</sup>	3,70 ± 1,42 <sup>ab</sup>	3,50 ± 1,03 <sup>b</sup>	3,31 ± 1,01 <sup>b</sup>	3,47 ± 0,86 <sup>b</sup>	3,33 ± 1,15 <sup>b</sup>	3,00 ± 0,85 <sup>b</sup>
<b>CN</b>	5,83 ± 0,92	5,62 ± 0,81	6,10 ± 0,99	5,19 ± 1,17	5,37 ± 1,02	5,56 ± 0,79	5,21 ± 1,07	5,42 ± 0,90
<b>ST</b>	5,72 ± 0,83 <sup>a</sup>	5,62 ± 0,81 <sup>ab</sup>	5,50 ± 0,71 <sup>ab</sup>	4,87 ± 0,88 <sup>ab</sup>	4,75 ± 0,77 <sup>ab</sup>	4,97 ± 0,56 <sup>ab</sup>	5,04 ± 0,81 <sup>ab</sup>	4,58 ± 0,67 <sup>b</sup>
<b>TV</b>	5,61 ± 0,85	6,00 ± 0,82 <sup>x</sup>	5,90 ± 0,88	5,12 ± 1,09	5,44 ± 0,81	5,06 ± 0,77	5,12 ± 0,74	5,33 ± 0,78
<b>CC</b>	5,61 ± 1,04	5,44 ± 0,73	5,80 ± 0,92	5,31 ± 1,01	5,03 ± 0,85	5,31 ± 1,08	5,25 ± 1,05	5,00 ± 0,60
<b>CO</b>	5,06 ± 1,00 <sup>a</sup>	5,12 ± 0,72 <sup>a</sup>	5,10 ± 0,74 <sup>a</sup>	4,50 ± 1,03 <sup>ab</sup>	4,06 ± 0,68 <sup>ab</sup>	4,12 ± 0,88 <sup>ab</sup>	4,04 ± 0,75 <sup>ab</sup>	3,54 ± 0,66 <sup>b</sup>
<b>CS</b>	5,36 ± 0,97 <sup>a</sup>	5,09 ± 0,97 <sup>ab</sup>	4,90 ± 0,99 <sup>abc</sup>	4,06 ± 1,48 <sup>abcd</sup>	3,87 ± 1,02 <sup>bcd</sup>	3,84 ± 0,57 <sup>bcd</sup>	3,42 ± 0,97 <sup>cd</sup>	3,21 ± 0,69 <sup>d</sup>
<b>AC</b>	5,25 ± 0,88 <sup>a</sup>	5,19 ± 0,81 <sup>ab</sup>	5,10 ± 0,91 <sup>abc</sup>	4,28 ± 1,18 <sup>abcd</sup>	3,84 ± 0,91 <sup>cd</sup>	4,09 ± 0,49 <sup>bcd</sup>	3,83 ± 0,86 <sup>cd</sup>	3,58 ± 0,56 <sup>d</sup>

\* x, y: Diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) entre AM y VA.

\*\* a, b, c, d: Diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) entre el día de almacenamiento para el mismo tipo de cocinado.

**TE:** Terneza de la carne; **JU:** Jugosidad de la carne; **CN:** Consistencia de la salsa; **ST:** Calidad global de la salsa de tomate; **TV:** Terneza de los vegetales; **CC:** Calidad del color global; **CO:** Calidad del olor global; **CS:** Calidad del sabor global; **AC:** Aceptación.

**Tabla 51.** Valores medios y desviaciones típicas para los índices de calidad sensorial de carne de cerdo con salsa de tomate cocinada en bolsas plásticas envasadas a vacío (VA) y almacenadas en refrigeración a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.

Días	0	13	26	41	56	69	82	90
<b>TE</b>	4,88 ± 1,65 <sup>a</sup>	4,47 ± 1,02 <sup>ab</sup>	4,90 ± 1,47 <sup>ab</sup>	3,37 ± 1,71 <sup>ab</sup>	3,97 ± 1,01 <sup>ab</sup>	3,75 ± 0,95 <sup>ab</sup>	3,29 ± 0,69 <sup>ab</sup>	3,08 ± 0,82 <sup>b</sup>
<b>JU</b>	5,00 ± 1,22 <sup>a</sup>	4,25 ± 1,00 <sup>ab</sup>	3,60 ± 1,35 <sup>ab</sup>	3,37 ± 1,54 <sup>b</sup>	3,87 ± 0,96 <sup>ab</sup>	3,56 ± 0,98 <sup>ab</sup>	3,12 ± 0,91 <sup>b</sup>	2,92 ± 1,02 <sup>b</sup>
<b>CN</b>	5,41 ± 1,37	5,12 ± 1,09	5,80 ± 1,23	4,62 ± 1,31	5,09 ± 0,90	5,03 ± 1,01	5,21 ± 1,12	5,08 ± 1,08
<b>ST</b>	5,35 ± 1,17	5,19 ± 1,09	5,20 ± 0,92	4,56 ± 1,15	4,72 ± 0,68	4,59 ± 0,61	5,04 ± 0,86	4,17 ± 0,72
<b>TV</b>	5,41 ± 1,06	5,12 ± 1,26 <sup>y</sup>	5,50 ± 0,97	4,56 ± 1,09	4,97 ± 0,83	5,19 ± 0,65	4,92 ± 1,02	5,25 ± 0,84
<b>CC</b>	5,38 ± 1,11	4,97 ± 1,16	5,55 ± 0,96	5,00 ± 1,15	4,87 ± 1,09	5,06 ± 1,11	5,17 ± 1,19	4,50 ± 0,88
<b>CO</b>	4,88 ± 1,27 <sup>a</sup>	4,59 ± 0,84 <sup>ab</sup>	4,70 ± 1,34 <sup>ab</sup>	4,00 ± 1,37 <sup>ab</sup>	3,78 ± 0,79 <sup>ab</sup>	3,69 ± 0,96 <sup>ab</sup>	3,75 ± 0,72 <sup>ab</sup>	3,17 ± 0,58 <sup>b</sup>
<b>CS</b>	5,16 ± 1,54 <sup>a</sup>	4,59 ± 1,40 <sup>ab</sup>	4,20 ± 1,21 <sup>abc</sup>	3,69 ± 1,54 <sup>abc</sup>	3,72 ± 1,12 <sup>abc</sup>	3,53 ± 1,16 <sup>abc</sup>	3,33 ± 0,91 <sup>bc</sup>	2,75 ± 0,62 <sup>c</sup>
<b>AC</b>	5,09 ± 1,36 <sup>a</sup>	4,75 ± 1,08 <sup>ab</sup>	4,45 ± 1,01 <sup>abc</sup>	4,00 ± 1,02 <sup>abc</sup>	3,66 ± 1,03 <sup>bc</sup>	3,72 ± 0,89 <sup>bc</sup>	3,62 ± 0,71 <sup>bc</sup>	3,12 ± 0,61 <sup>c</sup>

\* x, y: Diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) entre AM y VA.

\*\* a, b, c: Diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) entre el día de almacenamiento para el mismo tipo de cocinado.

**TE:** Terneza de la carne; **JU:** Jugosidad de la carne; **CN:** Consistencia de la salsa; **ST:** Calidad global de la salsa de tomate; **TV:** Terneza de los vegetales; **CC:** Calidad del color global; **CO:** Calidad del olor global; **CS:** Calidad del sabor global; **AC:** Aceptación.



**Tabla 52.** Valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro microbiológicos (log ufc/g) para carne de cerdo con salsa de tomate AM y VA almacenada a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.

Días a 2 °C	<b>ML</b>	<b>AEP</b>	<b>ANP</b>	<b>BAL</b>	<b>EN</b>	
	M ± D	M ± D	M ± D	M ± D	M ± D	
<b>AM</b>	<b>0</b>	ND	<1	ND	ND	ND
	<b>13</b>	<1	ND	ND	ND	ND
	<b>26</b>	ND	ND	ND	<1	ND
	<b>41</b>	<1	ND	ND	ND	ND
	<b>56</b>	<1	ND	ND	<1	ND
	<b>69</b>	ND	ND	ND	ND	ND
	<b>82</b>	ND	ND	ND	ND	ND
	<b>90</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>VA</b>	<b>0</b>	<1	ND	ND	<1	ND
	<b>13</b>	<1	<1	<1	ND	ND
	<b>26</b>	ND	ND	ND	<1	ND
	<b>41</b>	<1	ND	ND	ND	ND
	<b>56</b>	<1	ND	ND	<1	ND
	<b>69</b>	ND	1,11 ± 1,28	ND	ND	ND
	<b>82</b>	<1	1,99 ± 1,79	ND	ND	ND
	<b>90</b>	1,64 ± 1,89	2,37 ± 2,74	ND	ND	ND

\* **ND:** No detectado; **ML:** Mohos y levaduras; **AEP:** Aerobios psicrófilos; **ANP:** Anaerobios psicrófilos; **BAL:** Bacterias ácido lácticas; **EN:** Enterobacterias totales.

**Tabla 53.** Valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro físico-químico para carne de cerdo con salsa de tomate AM y VA.

Muestras	Días a 2 °C	$a_w$	pH	Ácido láctico (%)
		M ± D	M ± D	M ± D
AM	0	0,93 ± 0,00	5,16 ± 0,06 <sup>bc, x</sup>	0,06 ± 0,00 <sup>b</sup>
	13	0,93 ± 0,00	5,21 ± 0,05 <sup>b, x</sup>	0,10 ± 0,01 <sup>a</sup>
	26	0,93 ± 0,00	5,34 ± 0,06 <sup>a, x</sup>	0,12 ± 0,00 <sup>a, x</sup>
	41	0,93 ± 0,00	5,01 ± 0,06 <sup>de</sup>	0,13 ± 0,00 <sup>a</sup>
	56	0,94 ± 0,00	5,10 ± 0,01 <sup>cd, x</sup>	0,12 ± 0,00 <sup>a</sup>
	69	0,93 ± 0,00	4,93 ± 0,04 <sup>e</sup>	0,11 ± 0,00 <sup>a</sup>
	82	0,93 ± 0,00	5,06 ± 0,01 <sup>cd, x</sup>	0,12 ± 0,00 <sup>a</sup>
	90	0,93 ± 0,00	5,01 ± 0,00 <sup>de, x</sup>	0,14 ± 0,04 <sup>a</sup>
VA	0	0,93 ± 0,00	4,82 ± 0,13 <sup>bc, y</sup>	0,05 ± 0,00 <sup>c</sup>
	13	0,93 ± 0,00	5,09 ± 0,05 <sup>a, y</sup>	0,09 ± 0,01 <sup>b</sup>
	26	0,93 ± 0,00	4,96 ± 0,00 <sup>ab, y</sup>	0,09 ± 0,02 <sup>b, y</sup>
	41	0,93 ± 0,00	5,03 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,12 ± 0,01 <sup>a</sup>
	56	0,94 ± 0,00	4,98 ± 0,02 <sup>ab, y</sup>	0,12 ± 0,01 <sup>a</sup>
	69	0,93 ± 0,00	4,97 ± 0,01 <sup>ab</sup>	0,11 ± 0,02 <sup>ab</sup>
	82	0,93 ± 0,00	4,76 ± 0,14 <sup>c, y</sup>	0,12 ± 0,01 <sup>a</sup>
	90	0,93 ± 0,00	4,86 ± 0,06 <sup>bc, y</sup>	0,12 ± 0,00 <sup>a</sup>

\* x, y: Diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) entre AM y VA.

\*\* a, b, c, d, e: Diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) entre el día de almacenamiento para el mismo tipo de cocinado.

**Tabla 54.** Valores medios y desviaciones típicas para los índices de deterioro sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate cocinada en barquetas plásticas envasadas en atmósfera modificada (AM) y almacenadas en refrigeración a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.

Días	0	13	26	41	56	69	82	90
<b>OW</b>	1,39 ± 0,65	1,37 ± 0,69	1,30 ± 0,48 <sup>y</sup>	2,09 ± 1,04	1,84 ± 0,83	2,09 ± 1,19	1,62 ± 0,48	1,75 ± 1,05
<b>OR</b>	1,17 ± 0,38	1,12 ± 0,34	1,20 ± 0,42	1,44 ± 0,70	1,12 ± 0,34	1,16 ± 0,44	1,83 ± 0,91	1,62 ± 0,64
<b>OA</b>	1,64 ± 0,70	1,59 ± 0,52	2,05 ± 0,68	1,91 ± 0,78	1,97 ± 0,90	2,12 ± 0,83	1,71 ± 0,86	1,79 ± 0,54
<b>SW</b>	1,31 ± 0,60	1,47 ± 0,78	1,45 ± 0,68	2,62 ± 1,13	2,25 ± 1,12	2,19 ± 1,38	1,96 ± 1,14	2,00 ± 1,02
<b>SR</b>	1,17 ± 0,48 <sup>b</sup>	1,03 ± 0,12 <sup>b</sup>	1,50 ± 0,53 <sup>ab</sup>	1,56 ± 0,68 <sup>ab</sup>	1,56 ± 1,05 <sup>ab</sup>	1,78 ± 0,63 <sup>ab</sup>	2,21 ± 0,99 <sup>a</sup>	2,46 ± 0,66 <sup>a</sup>
<b>SA</b>	1,75 ± 0,69	1,66 ± 0,47	1,60 ± 0,70	2,19 ± 0,93	2,12 ± 0,96	2,06 ± 0,60	1,75 ± 0,96	1,79 ± 0,75
<b>OS</b>	1,47 ± 0,61	1,22 ± 0,41	1,10 ± 0,32	1,50 ± 0,73	1,62 ± 0,62	1,37 ± 0,46	1,50 ± 0,67	1,67 ± 0,78
<b>AB</b>	1,39 ± 0,68	1,28 ± 0,51	1,20 ± 0,42	1,53 ± 0,81	1,34 ± 0,54 <sup>y</sup>	1,72 ± 0,82	1,25 ± 0,62	1,58 ± 0,63
<b>EM</b>	1,22 ± 0,43	1,19 ± 0,54	1,00 ± 0,00	1,25 ± 0,41	1,47 ± 0,59	1,19 ± 0,36	1,17 ± 0,32	1,25 ± 0,40

\* x, y: Diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) entre AM y VA.

\*\* a, b,: Diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) entre el día de almacenamiento para el mismo tipo de cocinado.

**OW:** Olor WOF; **OR:** Olor rancio; **OA:** Olor ácido; **SW:** Sabor WOF; **SR:** Sabor rancio; **SA:** Sabor ácido; **OS:** Oscurecimiento; **AB:** Ablandamiento; **EM:** Emulsión

**Tabla 55.** Valores medios y desviaciones típicas para los índices de deterioro sensorial de la carne de cerdo con salsa de tomate cocinada en bolsas plásticas envasadas a vacío (VA) y almacenadas en refrigeración a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.

Días	0	13	26	41	56	69	82	90
<b>OW</b>	1,68 ± 0,90	1,62 ± 0,74	1,85 ± 0,58 <sup>x</sup>	2,09 ± 0,99	2,25 ± 1,02	2,44 ± 1,03	1,50 ± 0,56	1,96 ± 1,08
<b>OR</b>	1,32 ± 0,68	1,81 ± 2,74	1,05 ± 0,16	1,41 ± 0,66	1,37 ± 0,50	1,31 ± 0,48	1,42 ± 0,51	1,50 ± 0,48
<b>OA</b>	1,50 ± 0,68	1,59 ± 0,61	1,70 ± 0,63	1,91 ± 0,73	1,78 ± 1,00	1,78 ± 0,75	2,25 ± 1,27	1,71 ± 0,50
<b>SW</b>	1,44 ± 0,75 <sup>ab</sup>	1,34 ± 0,60 <sup>b</sup>	1,55 ± 0,68 <sup>ab</sup>	2,56 ± 1,31 <sup>ab</sup>	2,16 ± 1,06 <sup>ab</sup>	2,66 ± 0,99 <sup>a</sup>	1,79 ± 0,66 <sup>ab</sup>	2,50 ± 0,90 <sup>ab</sup>
<b>SR</b>	1,38 ± 0,70	1,37 ± 0,74	1,45 ± 0,76	1,81 ± 1,06	1,94 ± 1,33	1,62 ± 0,74	2,17 ± 0,96	2,50 ± 1,09
<b>SA</b>	1,56 ± 0,61	1,81 ± 0,54	1,25 ± 0,42	2,28 ± 0,73	1,97 ± 0,76	1,66 ± 0,62	2,12 ± 1,33	1,87 ± 0,71
<b>OS</b>	1,65 ± 0,91	1,53 ± 0,64	1,00 ± 0,00	1,59 ± 0,80	1,66 ± 0,83	1,31 ± 0,44	1,50 ± 0,80	1,83 ± 1,03
<b>AB</b>	2,00 ± 1,26	1,75 ± 1,05	1,10 ± 0,32	1,94 ± 1,08	2,12 ± 1,36 <sup>x</sup>	2,00 ± 0,93	1,25 ± 0,62	1,79 ± 0,89
<b>EM</b>	1,18 ± 0,43	1,37 ± 1,02	1,00 ± 0,00	1,31 ± 0,57	1,41 ± 0,61	1,25 ± 0,41	1,25 ± 0,40	1,17 ± 0,25

\* x, y: Diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) entre AM y VA.

\*\* a, b: Diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) entre el día de almacenamiento para el mismo tipo de cocinado.

**OW:** Olor WOF; **OR:** Olor rancio; **OA:** Olor ácido; **SW:** Sabor WOF; **SR:** Sabor rancio; **SA:** Sabor ácido; **OS:** Oscurecimiento; **AB:** Ablandamiento; **EM:** Emulsión.

**Tabla 56.** Coeficientes de correlación entre la aceptación y los atributos sensoriales para la carne de cerdo con salsa de tomate *sous vide* envasada en barquetas y almacenada a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.

Atributos deterioro	R	P	Atributos calidad	R	P
<b>OW</b>	-0,30	***	<b>TE</b>	0,57	***
<b>OR</b>	-0,34	***	<b>JU</b>	0,56	***
<b>OA</b>	-0,11		<b>CN</b>	0,31	***
<b>SW</b>	-0,34	***	<b>ST</b>	0,56	***
<b>SR</b>	-0,59	***	<b>TV</b>	0,31	***
<b>SA</b>	-0,05		<b>CC</b>	0,43	***
<b>OS</b>	-0,20	*	<b>CO</b>	0,80	***
<b>AB</b>	-0,09		<b>CS</b>	0,91	***
<b>EM</b>	-0,09				

Nivel de significancia: \*(P≤0,05), \*\*(P≤0,01), \*\*\*(P≤0,001).

**OW:** Olor WOF; **OR:** Olor rancio; **OA:** Olor ácido; **SW:** Sabor WOF; **SR:** Sabor rancio; **SA:** Sabor ácido; **OS:** Oscurecimiento; **AB:** Ablandamiento; **TE:** Terneza de la carne; **JU:** Jugosidad de la carne; **CN:** Consistencia de la salsa; **ST:** Calidad global de la salsa de tomate; **TV:** Terneza de los vegetales; **CC:** Calidad del color global; **CO:** Calidad del olor global; **CS:** Calidad del sabor global.

**Tabla 57.** Coeficientes de correlación entre la aceptación y los atributos sensoriales para la carne de cerdo con salsa de tomate *sous vide* envasada en bolsas y almacenada a 2 °C durante 0, 13, 26, 41, 56, 69, 82 ó 90 días.

<b>Atributos deterioro</b>	<b>R</b>	<b>P</b>	<b>Atributos calidad</b>	<b>R</b>	<b>P</b>
<b>OW</b>	-0,23	*	<b>TE</b>	0,56	***
<b>OR</b>	-0,05		<b>JU</b>	0,52	***
<b>OA</b>	0,08		<b>CN</b>	0,39	***
<b>SW</b>	-0,53	***	<b>ST</b>	0,60	***
<b>SR</b>	-0,58	***	<b>TV</b>	0,36	***
<b>SA</b>	-0,07		<b>CC</b>	0,54	***
<b>OS</b>	-0,31	***	<b>CO</b>	0,82	***
<b>AB</b>	-0,30	***	<b>CS</b>	0,92	***
<b>EM</b>	-0,05				

Nivel de significancia: \*( $P \leq 0,05$ ), \*\*( $P \leq 0,01$ ), \*\*\*( $P \leq 0,001$ ).

**OW:** Olor WOF; **OR:** Olor rancio; **OA:** Olor ácido; **SW:** Sabor WOF; **SR:** Sabor rancio; **SA:** Sabor ácido; **OS:** Oscurecimiento; **AB:** Ablandamiento; **TE:** Terneza de la carne; **JU:** Jugosidad de la carne; **CN:** Consistencia de la salsa; **ST:** Calidad global de la salsa de tomate; **TV:** Terneza de los vegetales; **CC:** Calidad del color global; **CO:** Calidad del olor global; **CS:** Calidad del sabor global.

## VI.5. DISCUSIÓN.

El tiempo empleado para alcanzar la temperatura interna de cocinado en las muestras envasadas en bolsas fue aproximadamente la mitad que en barquetas. Esto podría explicarse por la conjunción de varios factores. Para una misma cantidad de producto, una bolsa elástica se ajusta mejor al alimento que una barqueta más o menos rígida, presentando una mayor área de intercambio que favorece la transmisión de calor. Además, la eliminación completa del aire tras compactar el alimento mejora la conductividad térmica y facilita su calentamiento.

El diseño de las barquetas dificulta la transmisión de calor debido a que las alas de soldadura impiden el transcurso del aire por la superficie lateral cuando el aire es proyectado desde arriba (Requena y Vanaclocha, 2004). Por otra parte, el espacio de cabeza entre el *film* y la superficie del producto ralentiza la transmisión directa al alimento produciéndose una pérdida de efectividad en la disipación del calor. No obstante, los hornos convectivos suelen estar diseñados para paliar este problema. Este efecto se ve incrementado en función del tipo de alimento, el efecto es más acusado en alimentos donde el calor se transmite principalmente por conducción, como es el caso de la carne, que en alimentos donde la transmisión se produce principalmente por convección, como ocurre en los alimentos líquidos (Requena y Vanaclocha, 2004).

De esta forma, la penetración de calor en el alimento sería más eficaz en una bolsa que en una barqueta, lo que se traduce en una mayor velocidad de calentamiento al interior del producto. Ante estas diferencias, resulta indispensable controlar la temperatura interna del producto en las cocinas centrales, más si se tienen que conservar los platos durante un tiempo considerable antes de ser consumidos en sistemas de catering. Como se ha visto, un mismo tratamiento culinario puede producir cierta sobrecocción de la carne con salsa dependiendo del envase utilizado, especialmente, de los ingredientes sólidos. No obstante, pese a que las rampas de calentamiento fueron diferentes, la calidad sensorial de las muestras recién cocinadas fue prácticamente similar para la carne de cerdo *sous vide* envasada en bolsas y barquetas, ya que sólo se detectaron mínimas diferencias en la calidad de la salsa y el color entre las muestras AM y VA.

Teniendo en cuenta las diferencias observadas en las rampas de calentamiento hasta alcanzar 70 °C, se podría esperar una eficacia algo mayor del proceso de pasteurización en muestras VA. Sin embargo, éstas fueron las únicas donde hubo un leve crecimiento de mohos, levaduras y aerobios psicrófilos al final del almacenamiento, si bien la variabilidad de los recuentos obtenidos sugiere que podría haber habido algún fallo en el sellado de los envases. La mayor

estabilidad microbiológica de las muestras AM no se pudo atribuir a un único factor, ya que la atmósfera y la permeabilidad del envase tienen un efecto combinado sobre el deterioro del producto. La efectividad del CO<sub>2</sub> para inhibir el crecimiento microbiano ha sido ampliamente estudiada (Farber, 1991; Stiles, 1991; Parry, 1993; Lee y col., 2008). Un aumento de la proporción de CO<sub>2</sub> en el interior del envase mejora la inhibición de microorganismos alterantes, si bien una atmósfera compuesta exclusivamente por CO<sub>2</sub> puede producir el colapso del envase y la decoloración de la carne por disolución del CO<sub>2</sub> en la fase acuosa y grasa (Lee y col., 2008). Una atmósfera constituida por un 30% CO<sub>2</sub> y 70% N<sub>2</sub> es suficiente para conseguir un efecto similar al envasado a vacío. En ambos casos, el tiempo de latencia para bacterias aerobias es similar, sin embargo, su velocidad de crecimiento es menor cuando se emplea esa proporción, lo que permite obtener recuentos más bajos durante más tiempo (Lee y col., 2008). El principal objetivo de la atmósfera empleada (20% CO<sub>2</sub> y 80% N<sub>2</sub>) en las muestras AM fue evitar el colapso de las barquetas al efectuar el vacío y, al mismo tiempo, eliminar el oxígeno del espacio de cabeza. El volumen que ocupa la atmósfera dentro de las barquetas fue mínimo para que su composición tuviera un efecto significativo sobre el crecimiento microbiano.

En general, los plásticos termorresistentes que conforman las bolsas para cocinar a vacío son menos resistentes al procesado que los plásticos semirrígidos usados para fabricar las barquetas. Varios factores pueden afectar a las propiedades barrera de los plásticos del envase. El plástico en contacto directo con el alimento puede absorber humedad y perder sus propiedades barrera (De Rosa y col., 2002). Por otra parte, las bolsas de vacío sufren una considerable elongación al compactar el alimento, lo que unido a tratamientos térmicos y frigoríficos más o menos intensos y/o prolongados, pueden favorecer la difusión de gases a través del plástico e incluso, la proliferación de microorganismos.

Por el contrario, las barquetas están selladas con un *film* en la parte superior a una distancia de la superficie del alimento para permitir la inyección de la atmósfera. De esta forma, el producto sólo está en contacto directo con el



material que constituye las barquetas, el cual tiene mayor resistencia y menor permeabilidad que las bolsas plásticas, lo que permitiría conservar las propiedades del envase y por lo tanto, la estabilidad microbiológica del alimento cocinado durante más tiempo.

Simpson y col. (1994), estudiaron el deterioro de espaguetis con salsa de carne y tomate envasados a vacío (950 mbar) en barquetas de polipropileno selladas con un *film* de poliéster/poliamida/EVOH, observando un incremento gradual de aerobios totales, anaerobios totales y bacterias ácido lácticas durante 35 días de almacenamiento a 5 °C y 15 °C. Este dato resaltaría la importancia de la temperatura de conservación durante el almacenamiento de los platos preparados, ya que si no se mantiene la cadena de frío puede aparecer fermentaciones indeseables que deterioren rápidamente el producto. No se han encontrado en la bibliografía revisada estudios sobre tecnología *sous vide* aplicada a alimentos envasados en atmósfera modificada. Un estudio realizado en jamón cocido, una semiconserva cárnica, cortado en lonchas y envasado en atmósfera modificada (20% CO<sub>2</sub>, 0,5% O<sub>2</sub> y 79,5% N<sub>2</sub>) no mostró crecimiento de levaduras durante 28 días a 5 °C (Nielsen y col., 2008). En cambio, si que se ha registrado recuentos de mohos y levaduras durante el almacenamiento refrigerado de la carne cocinada a vacío (Nyati, 2000; Wang y col., 2004).

Ambos métodos de envasado resultaron igualmente eficaces para estabilizar la humedad relativa de la carne con salsa durante un almacenamiento de varios meses en refrigeración. En cambio, la carne cocinada en bolsa presentó un pH ligeramente menor desde el comienzo del almacenamiento, aunque éste no estuvo asociado a un incremento efectivo del ácido láctico. El empleo de atmósferas modificadas ricas en dióxido de carbono puede disminuir el pH de los alimentos al formarse ácido carbónico por combinación con el agua presente en el medio. Sin embargo, para disminuir el pH de forma efectiva es necesario que exista una suficiente cantidad de dióxido de carbono en el envase, lo que no suele suceder cuando la atmósfera modificada se emplea exclusivamente para retirar una pequeña cantidad de aire del espacio de cabeza. Las mínimas variaciones de

pH observadas entre las muestras AM y VA podrían deberse a pequeñas diferencias en los ingredientes empleados en los distintos lotes de fabricación. Por ejemplo, la acidez del tomate frito se debe en gran medida al ácido ascórbico (20 mg/100 g) cuya concentración puede variar según el grado de maduración del tomate, siendo 1,5 veces más predominante en el tomate maduro que en el verde.

Galimpin-Johan y col. (2007), estudiaron el efecto del almacenamiento sobre la calidad de la carne de ternera cocinada por el método *sous vide* y, como en el presente estudio, observaron pequeños cambios en la actividad de agua y el pH que tampoco determinaron el deterioro del producto. Un pH constante también fue observado por Jang y Lee (2005) en carne de ternera cocinada *sous vide*. En cambio, Simpson y col. (1994) observaron un descenso del pH como consecuencia del aumento de la concentración de ácido láctico debido a la proliferación de bacterias ácido lácticas durante el almacenamiento refrigerado de espaguetis con salsa de carne y tomate, si bien la temperatura de conservación fue superior a la del presente estudio.

El análisis sensorial de la carne en salsa corroboró todo lo anterior, pues durante el periodo de almacenamiento no se detectaron olores y sabores ácidos o pútridos típicos de la alteración microbiana. El dióxido de carbono contribuye a prevenir la aparición de olores y sabores desagradables de origen microbiano (Goulas y Kontominas, 2007), aunque, como se ha comentado, es necesaria una cantidad considerable de gas en el envase.

El olor y sabor de la carne con salsa tuvo una valoración inicial alta aunque sufrieron un descenso muy acusado durante el almacenamiento, especialmente en el sabor, que mostró la mayor pérdida de calidad. Con independencia del método de envasado, los procesos oxidativos inherentes a la propia carne cocinada generan sabores anómalos que conllevan una pérdida rápida y acusada del sabor original. Además, de la pérdida del bouquet propio, el deterioro de la carne cocinada suele estar relacionado con los procesos oxidativos que generan sabores rancios (VA) y a carne recalentada (AM). La salsa de tomate

contiene cierta cantidad de oxígeno residual disuelto que no puede ser retirado con bombas de vacío. Sería necesario freír el tomate en una marmita hermética que disponga de un sistema de evacuación de gases para poder eliminar dicho oxígeno, lo cual no es posible en cocinas convencionales. Vaudagna y col., (2002), también observaron incrementos significativos del olor y el sabor WOF, asociados a un aumento en los índices de oxidación, llegando a registrar cambios superiores al 50% en carne de ternera *sous vide* almacenada en refrigeración hasta 53 días.

Sin embargo, la tecnología *sous vide* no consiguió su principal objetivo, obtener carnes con una ternura superior, de hecho, la calidad de la carne recién cocinada no fue lo suficiente alta como para mantener una textura, olor y sabor aceptables durante el almacenamiento refrigerado. Como se ha visto, la jugosidad y ternura de la carne fueron valoradas buena parte del tiempo por debajo del límite de aceptación (<4,00), en especial, al final del almacenamiento. La textura característica de la carne depende del estado de la estructura de las miofibrillas y el tejido conectivo, en concreto, de su grado de desnaturalización (Harris y Shorthose, 1988). La oxidación de las proteínas miofibrilares suele ser la principal causa del deterioro de la textura de la carne cocinada (Xiong, 1996; Rowe y col., 2004). Church y Parsons (2000), observaron un deterioro rápido de la jugosidad y ternura en carne de pollo cocinada *sous vide* tras 7 días de almacenamiento refrigerado.

Las propiedades sensoriales de la salsa de tomate y los vegetales fueron las mejor valoradas y su aceptación nunca descendió por debajo del límite de calidad establecido (<4,00) durante el almacenamiento, lo que sugiere que la salsa de tomate frito es más estable que la propia carne en las condiciones del procesado *sous vide*. En cualquier caso, ambos sistemas de envasado garantizaron que el plato preparado se mantuviera aceptable durante más de un mes, tiempo más que suficiente para acometer su comercialización en los sistemas habituales de catering. El descenso en la intensidad del sabor y el olor a carne con salsa recién cocinada fue el principal hecho que limitó la pérdida de aceptación del producto

durante su almacenamiento, en parte, producido por el desarrollo de sabores relacionados con la oxidación, como sabores rancio y WOF. La textura de la carne y la calidad de la carne tuvieron un menor peso en la valoración de la aceptación del producto almacenado.

Recuentos de  $10^6$  ufc/g de microorganismos mesófilos suele ser el valor umbral utilizado como criterio microbiológico para establecer la vida útil de muchos alimentos (García-Gimeno y Zurera-Cosano, 1997). En el caso de los alimentos *sous vide*, las condiciones del procesado favorecen la inhibición microbiana y rara vez alcanzan estos límites (Jang y Lee, 2005), siendo un aumento significativo del crecimiento microbiano suficiente para establecer la vida comercial de los alimentos mínimamente procesados (Knochel y col., 1997; Simpson y col., 1994). Siempre que exista una estabilidad microbiológica y físico-química durante el periodo de almacenamiento, la vida comercial de la carne y el pescado *sous vide* puede establecerse en base a criterios sensoriales (Jang y Lee, 2005; González- Fandos, 2004 y 2005).

En el presente estudio, con independencia del envase empleado, la vida comercial de la carne con salsa de tomate fue coherente con los tiempos (12 a 49 días) determinados por otros autores, en función de diversos criterios microbiológicos y sensoriales, en carne cocinada y platos cárnicos con salsas (Simpson y col., 1994; Ollinger-Snyder y col., 1995; Armstrong y McIlveen, 2000; Nyati, 2000; Vaudagna y col., 2002; Wang y col., 2004; Jang y Lee, 2005; Galimpin-Johan y col., 2007).

## VI.6. CONCLUSIONES.

**Primera.** El método de envasado apenas influye en la calidad sensorial y en la capacidad de conservación de los platos cárnicos a base de carne y salsa vegetal cocinados por el método *sous vide*. Tanto si se emplean bolsas de vacío o barquetas termoselladas con un espacio de cabeza rico en dióxido de carbono y

nitrógeno, la calidad sensorial inicial de la carne de cerdo en salsa de tomate recién cocinada es similar.

**Segunda.** La mayor diferencia tecnológica relacionada con el método de envasado previo al cocinado está en el tiempo necesario para alcanzar la temperatura interna de pasteurización. La adhesión de las bolsas a la superficie del alimento favorece la penetración del calor al interior de éste, alcanzando la temperatura de pasteurización en la mitad de tiempo. Por tanto, la estimación del tiempo de cocinado *sous vide* debe ajustarse al tipo de envasado, especialmente si dicho tiempo es corto, asegurando que la cocción proporcione platos cocinados con unas adecuadas características organolépticas y capacidad de conservación.

**Tercera.** Ambos métodos de envasado garantizan que la carne en salsa pasteurizada se conserve en refrigeración durante un tiempo más que suficiente para que los platos puedan ser procesados en sistemas de catering. El envasado en bolsas y barquetas resultan igual de efectivos para que no proliferen los principales grupos de microorganismos alterantes y contaminantes presentes en la carne en salsa. No se detectaron problemas microbiológicos relacionados con la resistencia al calor de las bolsas –el envase más débil a priori- o barquetas que pudieran sugerir una pérdida de sus propiedades barrera.

**Cuarta.** El deterioro de la carne en salsa *sous vide* es similar con independencia del método de envasado empleado. Durante el almacenamiento refrigerado se produce una fuerte pérdida de olor y sabor propios, asociada a una marcada disminución de jugosidad y ternura de la carne, mientras que la salsa y los vegetales mantienen mejor sus características sensoriales. De los parámetros estudiados, la oxidación de lípidos parece ser la principal causa del deterioro de la carne de cerdo con salsa de tomate, aunque son necesarios periodos de conservación en refrigeración considerablemente largos para que se puedan apreciar leves olores y sabores rancios y/o a recalentado. Asimismo, el color y la acidez de la carne en salsa son bastante estables en las condiciones de procesamiento estudiadas.

ESTUDIO DE VIDA COMERCIAL DE CARRILLERA  
DE CERDO IBÉRICO CON SALSA VEGETAL  
*SOUS VIDE* ENVASADA EN BARQUETA Y  
ATMÓSFERA MODIFICADA.



## VII.1. INTRODUCCIÓN.

El principal objetivo tecnológico de la cocción prolongada de la carne a baja temperatura, base de la tecnología *sous vide*, es ablandar las piezas de carne excesivamente fibrosas y con una textura deficiente. Las temperaturas normales de pasteurización son especialmente adecuadas para gelatinizar el colágeno de la carne en ambiente húmedo, ya que temperaturas mayores pueden provocar una excesiva deshidratación y retracción de la gelatina formada, sobre todo si el recipiente de cocción es abierto. En contraposición, deben aplicarse tiempos de cocinado más prolongados hasta obtener un grado de gelatinización del colágeno que proporcione una ternera adecuada a la carne.

Un claro ejemplo, es la carne procedente del músculo *massetero* del cerdo “carrillera”, una carne fibrosa, rica en colágeno y por tanto, difícil de cocinar por métodos convencionales. Ello hace de la carrillera una materia prima donde la tecnología *sous vide* puede mejorar a la cocina convencional, sobre todo si se pretende elaborar platos acompañados de salsas vegetales que no requieren matices a tostado. El principal inconveniente suele ser el elevado tiempo de cocción necesario para conseguir una textura blanda y gelatinosa típica de estas carnes cocinadas. Por ejemplo, carnes de composición similar, como el cochinillo o la papada de cerdo, requieren tiempos de 12 y 17 horas, respectivamente, cuando son cocinados a una temperatura de 70 °C mediante el método *sous vide* (Roca y Brugués, 2004).

Los resultados obtenidos en el capítulo anterior apenas evidencian posibles ventajas del cocinado en barqueta y atmósfera modificada frente a las bolsas

plásticas en la conservación de la calidad sensorial de los platos cárnicos con salsa. El hecho de alcanzar la temperatura interna de pasteurización antes es una cuestión menor cuando se pretende cocer carnes fibrosas durante muchas horas. En este caso, hay que tener en cuenta otras cuestiones tecnológicas, como la capacidad o la resistencia térmica y mecánica del envase. Las barquetas plásticas se ajustan mejor a estas necesidades que las bolsas plásticas y además, pueden ser utilizadas como envase final de los platos preparados. Existen diferentes formas y tamaños de barquetas según el uso y destino que se quiera dar. Su capacidad puede oscilar desde tamaños más reducidos utilizados para raciones individuales (750 ml) hasta los de mayor tamaño (6000 ml) destinados a instituciones colectivas o a su almacenamiento para afrontar picos de mayor demanda.

Como se ha comentado, factores como la composición del alimento, el tipo de envasado y el tratamiento térmico determinan la calidad sensorial y la capacidad de conservación de los platos preparados. Por esta razón, es importante realizar estudios de deterioro y vida útil de cada plato específico en las mismas condiciones de cocinado y almacenamiento.

## **VII.2. OBJETIVO.**

Estudiar la vida comercial y el deterioro microbiológico, físico-químico y sensorial de la carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal cocinada, mediante la tecnología *sous vide*, en barquetas envasadas en atmósfera modificada y almacenadas a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días.

## **VII.3. MATERIAL Y MÉTODOS.**

Para realizar esta experiencia se prepararon dos lotes de 48 muestras de carne de cerdo ibérico procedentes del músculo *massetero* con salsa vegetal,

envasadas en barquetas selladas en atmósfera modificada según lo descrito en el apartado 3.1.2 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS.

La salsa compuesta por cebolla frita comercial (14%), tomate frito comercial (12%), carne cocinada (8%), zanahoria (7%), guisantes (7%), jugo de carne (15%), ajo picado (5%), roux (8%), pimienta (0,3%), vino (15%), sal (1,7%) y aceite de oliva virgen (7%), se cocinó previamente a 100 °C durante 30 min en una marmita con agitación. La carrillera de cerdo ibérico fue previamente envasada al vacío, congelada a -18 °C y descongelada a 4 °C durante 24 h, antes de proceder a su cocinado.

Para preparar los platos se mezclaron los dos ingredientes principales, carne y salsa vegetal. La proporción de carne y salsa fue de 2000 g de carrillera de cerdo ibérico y 500 g de salsa vegetal. Las muestras se envasaron con un vacío inicial de 101 mbar, 30 mbar de mezcla de gases inicial (80% N<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>) y 20 mbar de mezcla de gases final, en barquetas de polipropileno de dimensiones 30x24x5 cm, capacidad de 3000 ± 10 ml<sup>3</sup> y rango de temperaturas comprendido entre -25 °C y +115 °C. Las muestras se envasaron, cocinaron, enfriaron y almacenaron según lo descrito en el apartado 3.1.2 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS.

Todas las muestras se cocinaron a la vez a una temperatura de horno de 70 °C durante 16 horas siendo la temperatura en el centro del producto de 70 °C durante 15 h y 4 min. La **Figura 29** muestra la evolución de la temperatura media hasta alcanzar 70 °C en el centro del producto para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal envasada en barqueta y atmósfera modificada. Tras el enfriamiento, todas las muestras se almacenaron a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días en una cámara de refrigeración en ausencia de luz para evaluar el deterioro microbiológico, físico-químico y sensorial.

La composición general del producto se determinó de igual forma que lo descrito en el Capítulo V para carne de cerdo con salsa de tomate. La **Tabla 58**



muestra los valores medios y desviaciones típicas del contenido en proteínas, grasas, humedad y cenizas (g/100 g muestra) para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal recién cocinada.

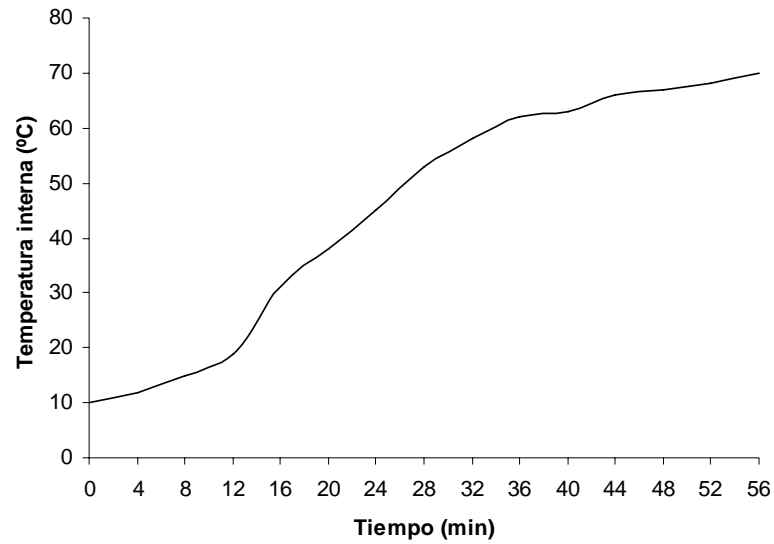
Para el estudio de deterioro microbiológico se analizaron los recuentos de bacterias ácido lácticas, enterobacterias totales, mohos y levaduras según lo descrito en el apartado 3.3 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS.

El deterioro físico-químico se evaluó mediante el análisis de la actividad de agua, pH y acidez total según lo descrito en el apartado 3.2 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS. En este caso, tampoco se realizó la medida de la textura instrumental y de las coordenadas del color CIELab por el mismo motivo que en el Capítulo VI para carne de cerdo con salsa de tomate.

El estudio de deterioro sensorial se realizó mediante un análisis descriptivo cuantitativo (QDA). El procedimiento, escala y atributos fueron similares a los descritos en el Capítulo VI para carne de cerdo con salsa de tomate *sous vide*.

El análisis estadístico se realizó según lo descrito en el apartado 3.5 de la sección MATERIAL Y MÉTODOS. Para ello, se realizó un análisis estadístico descriptivo considerando el día de almacenamiento como tratamiento. El efecto del tiempo de almacenamiento se determinó por ANOVA (Test de medias de Scheffé). Se determinaron los coeficientes de correlación de Pearson entre la aceptación y el resto de atributos sensoriales para evaluar la contribución a la calidad del producto.

**Figura 29.** Evolución de la temperatura media interna hasta 70 °C durante el cocinado de carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal cocinada en atmósfera modificada mediante la tecnología *sous vide*.



**Tabla 58.** Contenido en proteínas, grasas, humedad y cenizas para carrillera de cerdo ibérico con salsa de vegetales recién cocinada.

Composición general	(%)
Proteína total	21,23 ± 0,90
Grasa total	4,44 ± 0,95
Humedad	71,31 ± 0,62
Cenizas	1,86 ± 0,32

## VII.4. RESULTADOS.

### VII.4.1. Deterioro microbiológico.

La **Tabla 59** muestra los recuentos medios (log ufc/g) para mohos y levaduras, enterobacterias totales y bacterias ácido lácticas para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal envasada en barquetas y atmósfera modificada, cocinada mediante la tecnología *sous vide* y almacenada a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días. El cocinado *sous vide* a 70 °C/16h en atmósfera modificada aseguró la ausencia de enterobacterias y bacterias ácido lácticas, así como ausencia o recuentos inferiores al límite de detección (<1 log ufc/g) para mohos y levaduras durante todo el periodo de almacenamiento. El procesado *sous vide* aplicado garantizó la estabilidad microbiológica de la carrillera de cerdo en salsa vegetal durante 98 días a 2°C.

### VII.4.2. Deterioro físico-químico.

La **Tabla 60** muestra los valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro físico-químico para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal envasada en barquetas y atmósfera modificada, cocinada mediante la tecnología *sous vide* y almacenada a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días. Los parámetros físico-químicos estudiados permanecieron estables durante la vida comercial del producto. La actividad de agua se mantuvo en valores medios de 0,94, con valores muy repetitivos en cada uno de los controles realizados, mientras que los valores de pH oscilaron en un rango de 5,64-6,04. La acidez comenzó en valores de 0,06% y se mantuvo constante hasta el día 43, donde aumentó significativamente ( $P < 0,05$ ) a 0,10%. Este aumento se mantuvo hasta el día 57 (0,12%) para después descender progresivamente hasta 0,08% tras 98 días de almacenamiento. De acuerdo con estos datos, durante el almacenamiento no se observaron cambios de humedad relativa o en el nivel de

ácido láctico que pudieran indicar fugas de vapor de agua o fermentaciones anormales.

#### VII.4.3. Deterioro sensorial.

Las **Tablas 61 y 62** muestran los valores medios y desviaciones típicas de los atributos sensoriales para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal cocinada en barquetas, envasadas en atmósfera modificada y almacenadas a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días.

Se observó un descenso en la calidad sensorial de la carrillera en salsa vegetal *sous vide* durante los 98 días de almacenamiento en refrigeración estudiados. Esta pérdida de la calidad sensorial se caracterizó por una merma del color, olor y sabor originales del producto recién cocinado y, en menor medida, se registraron cambios de color y textura. Las notas medias de todos los atributos sensoriales propios mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) durante el almacenamiento. La pérdida del color fue significativa ( $P < 0,05$ ) a partir del día 57, mientras que la pérdida del olor y el sabor propios se adelantó al día 29. No obstante, las puntuaciones de estos atributos fueron superiores a 4,00 los 98 días que duró el estudio y sólo el sabor mostró valores inferiores en el día 98 (3,75).

Por el contrario, la textura de la carne no se alteró considerablemente durante el almacenamiento. La terneza y la jugosidad de la carne mostraron valores medios comprendidos entre 6,50-4,77 y la pérdida de textura no se apreció significativamente ( $P < 0,05$ ) hasta el final del almacenamiento, con valores medio en el día 98 de 5,05 y 4,77, respectivamente. Como se ha visto en ensayos anteriores, la calidad sensorial de la carne cocinada *sous vide* se asoció fundamentalmente a un progresivo deterioro de sus características sensoriales propias, en especial, del sabor y el olor.

El almacenamiento afectó a la consistencia de la salsa vegetal, observándose cierta separación de la fase acuosa. Este hecho provocó un descenso significativo ( $P < 0,05$ ) de la calidad de la salsa a partir del día 29, llegando a alcanzar valores medios de 3,97 en el día 98. En cambio, el almacenamiento apenas afectó a la textura de los vegetales de la salsa, observándose un descenso desde valores medios iniciales de 6,00 a finales de 5,05, mostrando un descenso significativo ( $P < 0,05$ ) del valor medio en el día 57.

Como era de esperar, durante el almacenamiento refrigerado se observó un incremento progresivo en la mayor parte de los atributos de deterioro estudiados, destacando un olor y sabor a WOF, un ablandamiento de la carne y una pérdida de la estabilidad de la emulsión debido a la separación de la fase acuosa. Los anteriores atributos de deterioro fueron los únicos cuyos valores medios mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre diversos días de control. Se observó un aumento en la intensidad del sabor WOF desde valores iniciales de 1,14 a finales de 2,12. El olor WOF mostró una evolución similar al sabor WOF y rancio, mostrando un valor mínimo de 1,02 (día 0) y máximo de 2,27 (día 98). Una condensación de agua en el interior de las barquetas durante el almacenamiento generó la fase acuosa de la salsa responsable de la separación de fases detectada por el panel a partir del día 29. Este hecho no se observó en las muestras recién cocinadas pero los valores medios aumentaron con el tiempo alcanzando valores de 1,95 y 2,22 en los días 29 y 98, respectivamente. En cualquier caso, tras 98 días de conservación, sólo estos cuatro parámetros de deterioro aumentaron un punto en la escala de 7, lo que da una idea de la escasa intensidad de estos fenómenos sensoriales desfavorables.

Aun más bajos fueron los incrementos de valoración de otros parámetros que normalmente se asocian al deterioro de la carne cocinada. Por ejemplo, la nota media de sabor rancio aumentó tan sólo en 0,74 tras 98 días en refrigeración, mientras que los cambios en el sabor ácido, olor rancio, olor ácido y oscurecimiento fueron prácticamente inapreciables por el panel. Dichos atributos mostraron valores bastante constantes durante todo el almacenamiento y sólo

superiores a 2,00 en días puntuales. Según todo lo anterior, no se pudo establecer el mecanismo sensorial de deterioro en base a los parámetros habituales, como la rancidez, el WOF y la acidez.

La **Figura 30** representa los valores medios y desviaciones típicas para la aceptación de la carrillera de cerdo ibérico en salsa vegetal cocinada en barquetas, envasadas en atmósfera modificada y almacenadas a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días. La aceptación del producto recién cocinado fue muy alta, siendo puntuada con una nota media de 6,48 en el día 0. Como puede observarse en dicha figura, no se detectó pérdida significativa ( $P < 0,05$ ) de aceptación hasta el día 29, obteniendo una nota media de 5,09, mientras que los valores medios de aceptación fueron superiores a 4,00 durante todo el periodo. Así pues, la vida comercial para carrillera de cerdo ibérico en salsa vegetal *sous vide*, cocinada en barquetas, envasadas en atmósfera modificada y almacenadas a 2 °C se estableció en 98 días según criterios sensoriales (aceptable o no), siendo un plato idóneo para restauración diferida.

Con el objeto de conocer que atributos sensoriales contribuyeron en mayor medida a la aceptación de la carrillera en salsa, se realizó un estudio de correlaciones. La **Tabla 63** muestra los coeficientes de correlación entre la aceptación y el resto de atributos sensoriales para carrillera de cerdo ibérico con salsa de vegetales almacenada a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días. Los coeficientes R significativos ( $P < 0,05$ ) ordenados de mayor a menor fueron: sabor > olor > calidad de la salsa > color > jugosidad de la carne > consistencia de la salsa > ablandamiento de la carne > terneza de la carne > sabor WOF > olor WOF > textura de los vegetales de la salsa > emulsión de la salsa > sabor rancio > oscurecimiento > olor rancio. Los coeficientes de correlación mostraron que la pérdida de aceptación del producto estuvo relacionada principalmente con el deterioro de las características propias del olor y el sabor, pasando a un segundo plano el deterioro del aspecto y la pérdida de jugosidad de la carne, así como el aspecto y sabor de un complemento indispensable como es la salsa vegetal. La aparición de WOF, rancidez o acidez serían fenómenos de menor relevancia en

este tipo de platos cocinados. De igual forma que ocurrió en ensayos anteriores, el deterioro sensorial precedió al microbiológico, confirmando la eficacia de la tecnología *sous vide* frente a la microflora alterante y problemas higiénicos.

**Tabla 59.** Recuentos medios (log ufc/g) de los índices de deterioro microbiológico para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal envasada en barquetas y atmósfera modificada, cocinada mediante la tecnología *sous vide* y almacenada a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días.

Días a 2°C	ML	ET	BAL
0	<1	ND	ND
15	ND	ND	ND
29	ND	ND	ND
43	<1	ND	ND
57	<1	ND	ND
72	<1	ND	ND
85	<1	ND	ND
98	<1	ND	ND

\* **ND:** No detectado; **ML:** Mohos y levaduras; **ET:** Enterobacterias totales; **BAL:** Bacterias ácido lácticas.

**Tabla 60.** Valores medios y desviaciones típicas de los índices de deterioro físico-químico para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal cocinada en barquetas envasadas en atmósfera modificada y almacenadas a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días.

Días a 2 °C	<b>a<sub>w</sub></b>	<b>pH</b>	<b>Ácido láctico (%)</b>
	M ± D	M ± D	M ± D
<b>0</b>	0,94 ± 0,00 <sup>a</sup>	5,97 ± 0,08 <sup>ab</sup>	0,06 ± 0,00 <sup>d</sup>
<b>15</b>	0,94 ± 0,00 <sup>a</sup>	6,04 ± 0,11 <sup>a</sup>	0,05 ± 0,00 <sup>d</sup>
<b>29</b>	0,94 ± 0,00 <sup>a</sup>	5,92 ± 0,05 <sup>abc</sup>	0,05 ± 0,00 <sup>d</sup>
<b>43</b>	0,93 ± 0,00 <sup>b</sup>	5,78 ± 0,14 <sup>bcd</sup>	0,10 ± 0,00 <sup>b</sup>
<b>57</b>	0,94 ± 0,00 <sup>a</sup>	5,75 ± 0,02 <sup>cd</sup>	0,12 ± 0,00 <sup>a</sup>
<b>72</b>	0,93 ± 0,00 <sup>b</sup>	5,85 ± 0,02 <sup>abc</sup>	0,09 ± 0,00 <sup>bc</sup>
<b>85</b>	0,94 ± 0,00 <sup>a</sup>	5,95 ± 0,05 <sup>ab</sup>	0,10 ± 0,01 <sup>b</sup>
<b>98</b>	0,94 ± 0,00 <sup>a</sup>	5,64 ± 0,07 <sup>d</sup>	0,08 ± 0,00 <sup>c</sup>

Valores con diferentes superíndices muestran diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).



**Tabla 61.** Valores medios y desviaciones típicas de los atributos de deterioro sensorial para carrillera de cerdo ibérico con salsa de vegetales cocinada en barquetas envasadas en atmósfera modificada y almacenadas a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días.

Días	0	15	29	43	57	72	85	98
<b>SW</b>	1,14 ± 0,31 <sup>b</sup>	1,26 ± 0,50 <sup>b</sup>	1,34 ± 0,56 <sup>b</sup>	1,67 ± 0,63 <sup>ab</sup>	1,70 ± 0,64 <sup>ab</sup>	1,55 ± 0,68 <sup>ab</sup>	1,80 ± 0,80 <sup>ab</sup>	2,12 ± 0,81 <sup>a</sup>
<b>SR</b>	1,11 ± 0,31 <sup>ab</sup>	1,00 ± 0,00 <sup>b</sup>	1,23 ± 0,46 <sup>ab</sup>	1,30 ± 0,57 <sup>ab</sup>	1,42 ± 0,54 <sup>ab</sup>	1,50 ± 0,58 <sup>ab</sup>	1,65 ± 0,67 <sup>ab</sup>	1,85 ± 1,23 <sup>a</sup>
<b>SA</b>	1,64 ± 0,76	1,82 ± 0,61	2,09 ± 1,01	1,70 ± 0,59	1,77 ± 0,62	1,55 ± 0,50	2,47 ± 0,55	1,97 ± 0,73
<b>OW</b>	1,02 ± 0,11 <sup>b</sup>	1,29 ± 0,59 <sup>b</sup>	1,57 ± 0,54 <sup>ab</sup>	1,47 ± 0,66 <sup>b</sup>	1,60 ± 0,68 <sup>ab</sup>	1,75 ± 0,72 <sup>ab</sup>	1,75 ± 0,82 <sup>ab</sup>	2,27 ± 0,92 <sup>a</sup>
<b>OR</b>	1,00 ± 0,00	1,03 ± 0,12	1,04 ± 0,21	1,17 ± 0,59	1,35 ± 0,46	1,55 ± 0,76	1,35 ± 0,56	1,37 ± 0,74
<b>OA</b>	1,59 ± 0,50	1,85 ± 0,58	1,93 ± 0,47	1,90 ± 0,45	2,05 ± 0,74	2,15 ± 0,94	2,17 ± 0,73	1,97 ± 0,77
<b>OS</b>	1,00 ± 0,00	1,09 ± 0,26	1,29 ± 0,50	1,60 ± 0,58	1,30 ± 0,44	1,00 ± 0,00	1,47 ± 0,72	1,35 ± 0,81
<b>AB</b>	1,04 ± 0,21	1,06 ± 0,17	1,61 ± 0,75	1,80 ± 1,20	1,85 ± 1,10	1,70 ± 0,54	2,05 ± 1,46	2,10 ± 1,01
<b>EM</b>	1,00 ± 0,00 <sup>c</sup>	1,18 ± 0,39 <sup>bc</sup>	1,95 ± 0,72 <sup>ab</sup>	2,20 ± 0,78 <sup>a</sup>	2,10 ± 0,80 <sup>ab</sup>	2,35 ± 0,91 <sup>a</sup>	2,20 ± 1,12 <sup>a</sup>	2,22 ± 0,83 <sup>a</sup>

\* Valores con diferentes superíndices muestran diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).

**SW:** Sabor WOF; **SR:** Sabor rancio; **SA:** Sabor ácido; **OW:** Olor WOF; **OR:** Olor rancio; **OA:** Olor ácido; **OS:** Oscurecimiento; **AB:** Ablandamiento; **EM:** Emulsión.

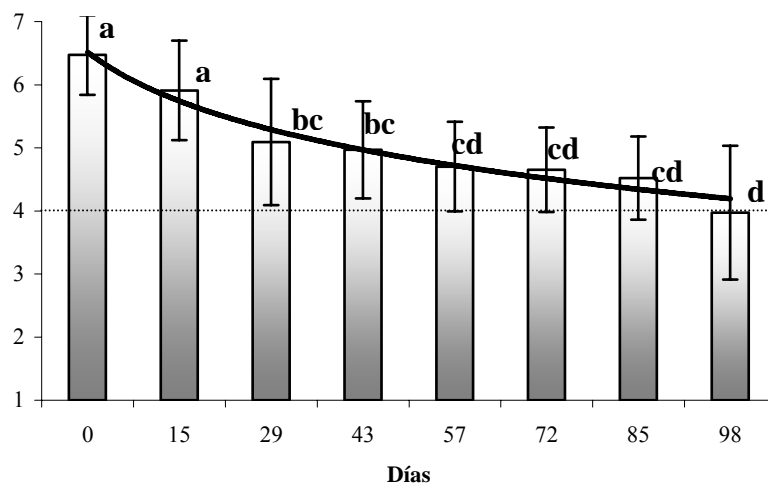
**Tabla 62.** Valores medios y desviaciones típicas de los atributos de calidad sensoriales para carrillera de cerdo ibérico con salsa de vegetales cocinada en barquetas envasadas en atmósfera modificada y almacenadas a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días.

Días	0	15	29	43	57	72	85	98
<b>TE</b>	6,50 ± 0,80 <sup>a</sup>	6,09 ± 0,79 <sup>ab</sup>	5,70 ± 1,01 <sup>ab</sup>	5,25 ± 1,24 <sup>ab</sup>	5,30 ± 1,30 <sup>ab</sup>	5,55 ± 1,07 <sup>ab</sup>	5,47 ± 1,21 <sup>ab</sup>	5,05 ± 1,39 <sup>b</sup>
<b>JU</b>	6,27 ± 0,61 <sup>a</sup>	6,15 ± 0,70 <sup>a</sup>	5,82 ± 1,10 <sup>ab</sup>	5,17 ± 0,99 <sup>ab</sup>	5,32 ± 1,15 <sup>ab</sup>	5,40 ± 1,07 <sup>ab</sup>	5,32 ± 1,04 <sup>ab</sup>	4,77 ± 0,91 <sup>b</sup>
<b>CN</b>	5,82 ± 0,79 <sup>a</sup>	5,82 ± 0,88 <sup>a</sup>	4,50 ± 1,21 <sup>b</sup>	4,85 ± 1,09 <sup>ab</sup>	4,30 ± 1,18 <sup>b</sup>	4,10 ± 0,88 <sup>b</sup>	4,20 ± 0,89 <sup>b</sup>	4,20 ± 0,99 <sup>b</sup>
<b>ST</b>	6,33 ± 0,65 <sup>a</sup>	5,76 ± 0,75 <sup>ab</sup>	4,64 ± 0,94 <sup>bc</sup>	4,85 ± 0,97 <sup>bc</sup>	4,32 ± 1,03 <sup>c</sup>	4,60 ± 0,84 <sup>bc</sup>	4,20 ± 0,88 <sup>c</sup>	3,97 ± 0,98 <sup>c</sup>
<b>TV</b>	6,00 ± 0,93 <sup>a</sup>	5,71 ± 0,77 <sup>ab</sup>	4,95 ± 1,10 <sup>ab</sup>	5,40 ± 0,93 <sup>ab</sup>	4,67 ± 1,24 <sup>b</sup>	5,70 ± 0,67 <sup>ab</sup>	5,17 ± 0,67 <sup>ab</sup>	5,05 ± 0,94 <sup>ab</sup>
<b>CC</b>	6,27 ± 0,88 <sup>a</sup>	6,12 ± 0,78 <sup>ab</sup>	5,25 ± 1,11 <sup>abc</sup>	5,15 ± 0,74 <sup>abc</sup>	4,87 ± 1,01 <sup>bc</sup>	4,95 ± 0,96 <sup>abc</sup>	4,90 ± 0,85 <sup>bc</sup>	4,67 ± 0,89 <sup>c</sup>
<b>CO</b>	6,45 ± 0,72 <sup>a</sup>	5,65 ± 1,06 <sup>ab</sup>	5,11 ± 1,10 <sup>bc</sup>	5,05 ± 0,94 <sup>bc</sup>	4,80 ± 0,94 <sup>bc</sup>	4,60 ± 0,70 <sup>bc</sup>	4,75 ± 0,82 <sup>c</sup>	4,07 ± 0,89 <sup>c</sup>
<b>CS</b>	6,20 ± 0,63 <sup>a</sup>	5,73 ± 0,83 <sup>ab</sup>	5,04 ± 1,14 <sup>bc</sup>	4,82 ± 0,95 <sup>bcd</sup>	4,80 ± 0,89 <sup>bcd</sup>	4,50 ± 0,71 <sup>bcd</sup>	4,75 ± 0,75 <sup>cd</sup>	3,75 ± 1,19 <sup>d</sup>

\* Valores con diferentes superíndices muestran diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).

**TE:** Terneza carne; **JU:** Jugosidad carne; **CN:** Consistencia salsa; **ST:** Calidad global salsa de tomate; **TV:** Textura vegetales. **CC:** Color global; **CO:** Olor global; **CS:** Sabor global.

**Figura 30.** Representación de los valores medios y desviaciones típicas de las puntuaciones de aceptación durante el periodo de almacenamiento.



\* Medias con distintos superíndices muestran diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ).

**Tabla 63.** Coeficientes de correlación entre la aceptación y los atributos sensoriales para carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal *sous vide* y almacenada a 2 °C durante 0, 15, 29, 43, 57, 72, 85 ó 98 días.

	Atributos deterioro		Atributos calidad	
	R	P	R	P
<b>SW</b>	-0,43	***	<b>CC</b>	0,67 ***
<b>SR</b>	-0,32	***	<b>CO</b>	0,88 ***
<b>SA</b>	-0,02		<b>CS</b>	0,92 ***
<b>OW</b>	-0,41	***	<b>CT</b>	0,45 ***
<b>OR</b>	-0,21	*	<b>CJ</b>	0,53 ***
<b>OA</b>	0,08		<b>CCA</b>	0,79 ***
<b>OS</b>	-0,30	***	<b>CV</b>	0,48 ***
<b>AB</b>	-0,46	***	<b>CSA</b>	0,69 ***
<b>SF</b>	-0,35	***	<b>CVS</b>	0,36 ***

Nivel de significancia: \*( $P \leq 0,05$ ), \*\*( $P \leq 0,01$ ), \*\*\*( $P \leq 0,001$ )

## VII.5. DISCUSIÓN.

El cocinado prolongado necesario para gelatinizar carnes fibrosas, como la carrillera de cerdo, son una garantía de una correcta pasteurización de los platos *sous vide* elaborados a base de carne. El tratamiento térmico a 70 °C/16 h, el envasado en atmósfera modificada rica en nitrógeno (80%) y dióxido de carbono (20%), junto con las condiciones de refrigeración (2 °C) aplicadas aseguraron recuentos nulos o inferiores al límite de detección para enterobacterias y los principales microorganismos alterantes de la carne cocinada *sous vide*. Sin embargo, se apreció una progresiva pérdida de aceptación durante el almacenamiento.

Esta efectividad antimicrobiana del procesado *sous vide* no se describe en ninguno de los estudios revisados sobre carne cocinada *sous vide* y almacenada en refrigeración (Simpson y col., 1994; Nyati, 2000; Vaudagna y col., 2002; Wang y col., 2004). Jang y Lee (2005) fueron los únicos en registrar recuentos de bacterias aeróbicas y anaeróbicas inferiores a 1 log ufc/g en carne de ternera con salsa coreana, previamente cocinada y posteriormente pasteurizada mediante la tecnología *sous vide* con un tratamiento de 97 °C/11 min y almacenada en refrigeración a 3 ó 10 °C durante más de 40 días.

La elección del tiempo de cocinado (16 h) es la recomendada por expertos en cocina *sous vide* (Roca y Brugués, 2004) para carnes fibrosas de difícil texturización.

Coincidiendo con Platter y col. (2003), los cambios detectados en el sabor y olor original de la carne en salsa recién cocinada y, en menor medida, del color y la textura fueron los principales responsables de la pérdida de aceptación de la carne en salsa tras su almacenamiento refrigerado. El sabor es el principal responsable de la palatabilidad de la carne (Calkins y Hodgen, 2007) y el atributo sensorial que más influye en los hábitos y preferencias de los consumidores cuando la terneza permanece constante (Sitz y col., 2005). Tal sería el caso de la

carrillera en salsa *sous vide*. En el momento de compra, el sabor no tiene una influencia tan alta en la aceptación debido a que no puede ser evaluado por los consumidores (McMillan, 2008). Antes del consumo, la acción de compra es debida principalmente a la apariencia y el color de la carne (46%) y en menor medida en la terneza (9%); después del consumo, la terneza pasa a ser el principal atributo a tener en cuenta (42%) por encima de la apariencia y el color (15%) (Dransfield y col., 1998).

El cocinado de la carne afecta a las membranas de las fibras musculares favoreciendo la formación de olores y sabores WOF (Mann y col., 1989; Mielche, 1995; St. Angelo, 1996). Según Mason y col. (1990) y Hansen y col. (1995), la aparición de WOF puede enmascarar los atributos propios del producto recién cocinado, convirtiéndose en la principal causa de pérdida de calidad del producto. Sin embargo, en este caso de la aparición de sabor a recalentado no parece jugar un papel relevante en el deterioro de la carne *sous vide*, como cabría esperar en carnes cocinadas por otros métodos y conservadas en refrigeración. Tampoco se apreció la típica rancidez que suele estar relacionada con la presencia de oxígeno residual atrapado en los alimentos envasados a vacío y/o en atmósfera modificada.

El procesado aplicado proporcionó una carne con una textura excelente, que permaneció estable en el producto refrigerado. Como se ha visto, los cambios de textura están menos relacionados con la pérdida de aceptación de la carne cocinada debido a su escaso deterioro durante el almacenamiento. Por último, las propiedades de la salsa mostraron tener un peso importante en la calidad global del producto y su deterioro afectó directamente a la aceptación.

Durante el periodo de refrigeración también se produjo una separación de fases en la salsa, volviéndose más acuosa con el tiempo. Este hecho ha sido observado por otros autores en platos cárnicos con salsa (Armstrong y McIlveen, 2000) y podría estar relacionado con la condensación de gotas de agua en el envase.

Como ocurrió en anteriores ensayos, las mínimas variaciones detectadas en los índices físico-químicos estudiados, no aportaron información relevante sobre las causas de la alteración sensorial de la carne en salsa refrigerada, pues no se relacionaron con fenómenos de acidificación propios de fermentaciones anómalas, ni tampoco con una oxidación o deshidratación del producto por pérdida de las propiedades barrera del envase. Los atributos de olor y sabor ácido fueron casi inapreciables durante todo el periodo de conservación estudiado, observándose mínimas variaciones en el pH y la acidez.

De acuerdo con lo nota de aceptación, la vida comercial de la carrillera en salsa vegetal se estableció en 98 días, un periodo de tiempo más que suficiente para ser comercializada con garantías en sistemas de catering, resultando muy superior al periodo de comercialización establecido por otros autores en platos cárnicos *sous vide* sin salsa (Nyati, 2000). El empleo de salsas y especias en platos cárnicos cocinados con el método *sous vide* puede enmascarar ciertos cambios sensoriales producidos durante el almacenamiento refrigerado y mantener así la calidad sensorial durante más tiempo (Schafheitle, 1990; Hansen y col., 1995; Antoun y Tsimidou, 1997). En cualquier caso, el panel detectó una progresiva pérdida del sabor, olor y color propios de la carne recién cocinada, probablemente debido a fenómenos oxidativos no determinados, junto con una pérdida de homogeneidad de la salsa.

## VII.6. CONCLUSIONES.

**Primera.** El tratamiento *sous vide* a 70 °C durante 16 h resulta eficaz para conseguir una alta calidad sensorial inicial y una correcta pasteurización de carnes fibrosas, ricas en colágeno, como la carrillera de cerdo acompañadas de salsa vegetal. Este tratamiento térmico garantiza que la carne en salsa pasteurizada se conserve en refrigeración durante un tiempo más que adecuado para ser comercializada en los sistemas de catering.

**Segunda.** El procesado en barqueta y atmósfera rica en nitrógeno y dióxido de carbono asegura la estabilidad físico-química y la inhibición del crecimiento de enterobacterias y microorganismos alterantes en la carne en salsa refrigerada, no detectándose problemas microbiológicos relacionados con la resistencia al calor de las barquetas que pudieran sugerir una pérdida de sus propiedades barrera.

**Tercera.** El deterioro sensorial es el principal factor limitante de la vida comercial de la carrillera de cerdo ibérico con salsa vegetal cocinada en barquetas mediante tecnología *sous vide*. Durante el almacenamiento, se produce una lenta y progresiva pérdida del sabor, olor y color propios de la carne en salsa recién cocinada, probablemente debido a fenómenos oxidativos no determinados, junto con una pérdida de homogeneidad de la salsa, mientras que la textura de la carne y los vegetales de guarnición es estable en las condiciones de conservación ensayadas.







## 5. CONCLUSIONES GENERALES.

**Primera.** La tecnología *sous vide* proporciona platos preparados a base de carne y/o pescado conservados en refrigeración, con una alta aceptación y una vida comercial adecuada para su distribución en sistemas de catering. Dichos platos pueden ser almacenados durante varias semanas en las cámaras frigoríficas anexas a las cocinas centrales, con el objeto de disponer de género suficiente para poder acometer picos de demanda de platos preparados en un breve espacio de tiempo.

**Segunda.** Los parámetros tecnológicos que se aplican habitualmente para elaborar platos preparados *sous vide* a base de carne y/o pescado eliminan sobradamente su deterioro microbiológico. La tecnología *sous vide* previene la contaminación por enterobacterias, indicativa de prácticas de elaboración poco higiénicas. Tampoco se observa proliferación de bacterias ácido lácticas, ni por tanto, signos de acidificación ni hinchamiento, ni de bacterias psicrófilas que puedan afectar a la carne o pescado cocinado. Sólo los mohos y levaduras presentan cierta resistencia al tratamiento de conservación, aunque no proliferan en poblaciones suficientes para alterar la carne y/o el pescado cocinado.

**Tercera.** En general, el tiempo necesario para cocinar a baja temperatura la carne y/o el pescado es superior al necesario para asegurar una correcta pasteurización. Por ello, el tratamiento culinario debe procurar un equilibrio entre la calidad sensorial del plato recién cocinado y la prevención microbiológica, asegurando una adecuada conservación y las mejores características organolépticas posibles. La refrigeración a 2 °C garantiza la eficacia del tratamiento de pasteurización durante toda la vida comercial de los platos preparados *sous vide* a base de carne y pescado.

**Cuarta.** Las bolsas plásticas utilizadas para cocinar la carne o/y el pescado presentan una excelente resistencia al procesado y unas propiedades barrera adecuadas. Las barquetas plásticas son una alternativa práctica a las bolsas en el

cocinado *sous vide*. La transmisión de calor es más lenta en las barquetas que en las bolsas, aunque no tiene porqué afectar a la calidad sensorial del plato recién cocinado, si se ajusta el tratamiento culinario en función del envase empleado. La ausencia de oxígeno producida por la inyección de una atmósfera inerte y el posterior termosellado con un *film* impermeable a gases y al vapor de agua es tan eficaz como aplicar vacío para conservar el alimento en refrigeración.

**Quinta.** Asegurar una correcta pasteurización y envasado de los platos *sous vide* a base de carne y pescado, así como poder mantenerlos, aplicando frío, en unos límites microbiológicos aceptables, no evita una considerable pérdida de calidad sensorial. El deterioro sensorial limita la vida comercial en refrigeración de las piezas de carne o pescado, así como de los platos preparados con base cárnica y combinados con salsa vegetal, todos ellos procesados a baja temperatura mediante el método *sous vide*. Lo primero que se altera es el sabor y el olor propio del plato recién cocinado, debido probablemente a fenómenos de oxidación no determinados, seguido de un deterioro menos pronunciado del aspecto, moderados signos de enranciamiento y envejecimiento, junto con una considerable pérdida de jugosidad y masticabilidad. El deterioro es algo más rápido en el pescado que en la carne.

**Sexta.** El análisis sensorial se revela como una herramienta eficaz para detectar de forma nítida el deterioro de la carne cocinada *sous vide* durante su almacenamiento en refrigeración. Utilizando criterios puramente sensoriales, el pescado cocinado a vacío muestra una vida comercial inferior a otros alimentos de naturaleza muscular. Así, mientras el salmón cocinado *sous vide* puede permanecer almacenado en refrigeración entre 15 y 18 días, los platos con base de carne porcina combinados con salsas pueden alcanzar los 98 días.

**Séptima.** La información obtenida no permite explicar porqué se produce esta fuerte pérdida del color, olor, sabor y textura original de los platos a base de carne o pescado *sous vide*, especialmente cuando dicho deterioro es evaluado a través de los parámetros físico-químicos usuales de la carne cocinada, como la

acidificación, los cambios de color o las medidas de textura. Ello sugiere que estos métodos resultan poco eficaces para estudiar en profundidad el deterioro de los platos a base de carne y/o pescado que se mantienen microbiológicamente estables. Futuros estudios deberían profundizar en el conocimiento de los fenómenos que generan estas propiedades sensoriales indeseables en la carne y el pescado *sous vide*, así como los métodos más adecuados de evaluación y análisis.







## 6. RESUMEN.

En la presente Tesis Doctoral se estudió la capacidad de conservación y la calidad sensorial de diversos platos preparados a base de carne o pescado cocinados mediante la tecnología *sous vide* y conservados en refrigeración. El objetivo fue estudiar el deterioro y determinar la vida comercial con el fin de introducir mejoras tecnológicas. Se determinaron diversos parámetros microbiológicos (enterobacterias totales, aerobios y anaerobios psicrófilos, bacterias ácido lácticas y mohos y levaduras), físico-químicos (pH,  $a_w$ , acidez, textura instrumental y color CIELab) y sensoriales (análisis descriptivo cuantitativo del aspecto, olor, olor, sabor y textura). Según el experimento, se emplearon bolsas de poliamida-polipropileno y barquetas de polipropileno con atmósfera modificada ( $N_2$ : 80%;  $CO_2$  20%) cubiertas con un *film* de polipropileno-poliéster, aplicando diversos tratamientos culinarios comerciales con temperaturas de cocción entre 70 y 90°C y tiempos de cocinado de 2 a 16h. La vida comercial se estableció en base a criterios sensoriales. A tal efecto, se realizaron controles periódicos de las muestras durante su almacenamiento a 2°C hasta un máximo de 98 días. El estudio constó de 7 ensayos: (1) deterioro de lomo de cerdo cocinado en bolsa; (2) optimización del tiempo del lomo cocinado en bolsa; (3) deterioro del salmón cocinado en bolsa; (4) ajuste de la vida comercial del salmón; (5) determinación del tiempo de cocinado en barqueta de magra de cerdo con salsa de tomate; (6) calidad y vida comercial de magra de cerdo con salsa de tomate cocinada en bolsa vs. barqueta; (7) calidad y vida comercial de carrillera de cerdo en salsa vegetal cocinada en barqueta.

Los resultados obtenidos indican que los tiempos y temperaturas recomendados para cocinar la carne y/o el pescado *sous vide* aseguraron una correcta pasteurización. No se detectaron cambios apreciables de humedad, acidez, color o textura. Sólo el análisis sensorial permitió evaluar el deterioro de la carne y/o pescado *sous vide* durante su almacenamiento. Los sistemas de envasado se adecuaron a las condiciones de procesado. Tanto las bolsas, como las barquetas, resistieron al procesado y presentaron unas propiedades barrera adecuadas. Si bien, la transmisión de calor fue más lenta en las barquetas que en las bolsas, por lo que el tratamiento culinario debe ser ajustado. La inyección de una atmósfera inerte fue tan eficaz como aplicar vacío para conservar los platos. Sin embargo, mantener los platos *sous vide* aplicando frío, en unos límites microbiológicos aceptables, no evitó la pérdida de aceptación, la cual limitó la vida comercial de la carne y el pescado *sous vide*. La vida comercial media dependió del plato estudiado: el salmón permaneció aceptable entre 15 y 18 días, mientras que la carrillera en salsa alcanzó 98 días. Primero se alteró el sabor y el olor propio, debido probablemente a fenómenos de oxidación no determinados, acompañado de moderados signos de enranciamiento y envejecimiento, junto con pérdida de la textura original. El pescado cocinado mostró un deterioro sensorial más rápido que la carne. La tecnología *sous vide* proporcionó platos refrigerados a base de carne y/o pescado con una alta aceptación y una vida comercial adecuada para su distribución en sistemas de catering.









## 7. SUMMARY

The present PhD thesis analyses the preserving capacity and the sensory quality of different meat-or-fish-based dishes which are cooked by using the *sous vide* method and recreating the conditions of catering industry.

The aim was to study the spoilage and to determine the shelf-life of these products to introduce technological improvements. For this purpose, several parameters were established: microbiological (aerobic and anaerobic psychrotrophs, lactic acid bacteria, *Enterobacteriaceae*, mould and yeasts), physical-chemical (pH,  $a_w$ , acidity, instrumental texture and colour CIELab) and sensory (QDA of the appearance, colour, odour, flavour and texture). For the experiment, both polyamide-polypropylene pouches and polypropylene trays were employed. The trays were sealed with a polypropylen-polyester film using a modified atmosphere ( $N_2$ : 80%;  $CO_2$  20%). In addition, several commercial cooking treatments were applied with temperatures ranging from 70 to 90 °C and different times (from 2 to 16 hours). The shelf-life was established on basis of sensory criteria. Therefore, the samples were periodically controlled during their storage at 2 °C for 98 days at the most.

The study consisted of seven experiments: (1) spoilage of pork loin cooked in pouches; (2) optimization of cooking time of pork loin cooked in pouches; (3) spoilage of salmon cooked in pouches; (4) adjustment of the shelf-life of salmon; (5) establishment of cooking time of pork loin with tomato sauce on a tray; (6) quality and shelf-life of pork loin with tomato sauce cooked in pouch vs. tray; (7) quality and shelf-life of the *massetero* muscle of Iberian pig with vegetable sauce cooked on a tray. The results indicated that the periods of time and temperatures which are recommended to cook *sous vide* meat or fish guaranteed a correct pasteurization which prevented the proliferation, at 2 °C, of *Enterobacteriaceae* and altering microorganisms. All this would leave a considerable safety margin in the cooking process so that the sensory quality could be adjusted. Besides, no noticeable variations of humidity, acidity, colour or texture were detected by the physical-chemical techniques, which were employed.

Only the sensory analysis permitted the evaluation of the spoilage of the *sous vide* cooked meat or fish during their storage. In addition, the packaging systems used were adapted to the processing conditions. Both the pouches and the trays resisted the process and presented suitable “barrier” properties. Nevertheless, the heat transmission was slower in the trays than in the pouches, consequently the cooking treatment had to be adjusted. The injection of inert atmosphere was as efficient so as to apply vacuum techniques to preserve the dishes.

However, keeping the *sous vide* dishes cold in acceptable microbiological limits did not prevent the loss of sensory acceptance, which shortened the shelf-life of the *sous vide* meat and fish: salmon remained in acceptable conditions between 15 and 18 days, whereas the *massetero* Iberian pig with sauce reached 98 days.

First, the original odour and flavour changed, probably because of unspecified oxidation phenomena along with both moderate signs of a rancid and stale state and with the loss of the original texture. The cooked fish spoiled faster than the meat.

The *sous vide* technology provided refrigerated meat-or-fish-based dishes with a high degree of acceptance and an adequate shelf-life for their distribution in the catering industry.







## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aarhus, J.L., Dugan, M.E.R. (2004). SPOILAGE, FACTORS AFFECTING - Oxidative and Enzymatic. *Encyclopedia of Meat Sciences*, (pp.1330-1336).
- Abushita, A.A., Daood, H.G., Biacs, P. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2075-2081.
- Agata, N., Ohta, M., Mori, M., Isobe, M. (1995). A novel dodecadepsipeptide, cereulide, is an emetic toxin of *Bacillus cereus*. *FEMS Microbiology Letters*, 129, 17-20.
- Ahn, D., Lee, E.J., Mendonca, A. (2006). Meat decontamination by irradiation. En L.M.L. Mollet y F. Toldra (editores), *Advances technologies for meat processing* (pp. 483). Nueva York: Taylor & Francis Group.
- Ahvenainen, R., Skyttä, E., Kivikataja, R.-L. (1989). Factors affecting the shelf-life of gas- and vacuum-packed cooked meat products. Part I: sliced ham. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 22, 391-398.
- Ahvenainen, R., Skyttä, E., Kivikataja, R.-L. (1989). Factors affecting the shelf-life of gas- and vacuum-packed cooked meat products. Part II: Vienna sausages. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 23, 130-138.
- Al-Khalifa, A.S., Dawood, A.A. (1993). Effects of cooking methods on thiamin and riboflavin contents of chicken meat. *Food Chemistry*, 48(1), 69-74.
- Amerine, M.A., Pangborn, R.M., Roessler, E.B. (1965). Principles of sensory evaluation of food. Academic Press. Nueva York.
- Andreo, A., Garro, O., Judis, M. (2001). Modelo de oxidación lipídica en una emulsión cárnica en función del tiempo y temperatura de cocción. *Información Tecnológica*, 12(4), 21-24.
- Ang, C.Y.W., Basillo, L.A., Cato, B.A., Livingston, G.E. (1978). Riboflavin and thiamin retention in frozen beef-soy patties and fried chicken heated by method used in food service operations. *Journal of Food Science*, 43, 1024-1027.
- Anon. (1989). Chilled and Frozen, Guidelines on Cook-Chill and Cook-Freeze Systems. ISBN 0 1132 1161 9. Department of Health, HMSIO, Londres.
- Anon. (1992<sup>a</sup>). *Report on Vacuum Packaging and Associated Processes*. Advisory Committee for the Microbiological Safety of Foods. HMSO, Londres.
- Anon. (1992<sup>c</sup>). Australian Quarantine and Inspection Service. *Code of Hygienic Practice for Heat-treated Refrigerated Foods Packaged for Extended Shelf-life*.
- Anon. (1992<sup>b</sup>). *Report on Vacuum Packaging and Associated Processes*. Advisory Committee for the Microbiological Safety of Foods. HMSO, Londres.
- Anon. (2002). *Screening inspection and systems voedingmiddelentechnologie*, vol. 35 (p. 6).
- Anon. (2004<sup>b</sup>). Ship operations. *Cruise Industry News Quarterly*, Winter 2003/2004, 84-85.
- Anon. (2004<sup>a</sup>). The Eco-Design Handbook. *Thames & Hudson*, 116-257.



- Antoun, N., Tsimidou, M. (1997). Gourmet olive oils: stability and consumer acceptability studies. *Food Research International*, 30, 131-136.
- Anzaldúa-Morales, A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Capítulo III: Los jueces y las condiciones de prueba. Editorial ACRIBIA, S.A., Zaragoza, España.
- Anzaldúa-Morales, A., Brennan, J.G. (1984). La medición de la textura de frutas y verduras. I. Frutas y verduras frescas. *Tecnología Alimentaria*, 19(2), 22-26.
- Anzaldúa-Morales, A., Lever, C., Vernon, E.J. (1983). Nuevos métodos de evaluación sensorial y su aplicación en reología y textura. *Tecnología Alimentaria*, 18(5), 4-9.
- AQIS. (1992). Australian Quarantine and Inspection Service. *Code of Hygienic Practice for Heat treated Refrigerated Foods Packaged for Extended Shelf Life*, Commonwealth Government Publishing Service, Canberra.
- Armstrong, G.A., McIlveen, H. (2000). Effects of prolonged storage on the sensory quality and consumer acceptance of sous vide meat-based recipe dishes. *Food Quality and Preference*, 11, 377-385.
- Asensio, M.A., Ordonez, J.A., Sanz, B. (1988). Effect of carbon dioxide and oxygen enriched atmospheres on the shelf life of refrigerated pork packed in plastic bags. *Journal of Food Science*, 51, 356-360.
- Asghar, A., Gray, J.I., Buckñey, D.J., Pearson, A.M., Booren, A.M. (1988). Perspectives on warmed-over flavor. *Food Technology*, 42(6), 102-108.
- ASTM. (1968). *Manual of sensory testing methods*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa. ASTM STP 434.
- Augustin, J., Marousek, G.I., Tholen, L.A., Bertelli, B. (1980). Vitamin retention in cooked, chilled and reheated potatoes. *Journal of Food Science*, 45, 814-816.
- Aymerich, T., Picouet, P.A., Monfort, J.M. (2008). Decontamination technologies for meat products. *Meat Science*, 78, 114-129.
- Bacon, F. (1990). Working to Rouxl. *Caterer & Hotelkeeper*, 22 febrero, 45-47.
- Bailey, A.J., Restall, D.J., Sims, T.J., Duance, V.C. (1979). Meat tenderness: immuno-fluorescent localisation of the isomorphic forms of collagen in bovine muscles of varying texture. *Journal of Science Food and Agriculture*, 30, 203-210.
- Baldwin, R.E., Cotterill, O.J. (1979). Poultry Meat. En R.J. Priestley (editor), *Effects of Heating on Foodstuffs* (pp. 195-208). Londres: Applied Science.
- Barbeau, W.E., Schnepf, M. (1989). Sensory attributes and thiamin content of roasting chickens cooked in a microwave, convection microwave and conventional electric oven. *Journal of Food Quality*, 12, 203-213.
- Barberena, E. (2004). Envases flexibles en la industria alimentaria. Portal. abcPACK. [Consulta: 17-03-2005]. Disponible online. <<http://www.abc-pack.com/default.php/cPath/1-26>>
- Baron, A., Bayer, O., Butz, P., Geisel, B., Gupta, B., Olterdsorf, U., y col. (1999). Consumer perception of high pressure processing: a three country survey. En *European conference on emerging food science and technology*.
- Batenhorst, J.H., Sun, J., Giraud, D.W., Young, L.J., Hamouz, F.L., Driskell, J.A. (1995). Retention of selected nutrients in pork rasts prepared by variations in cookery methods. *Journal of Muscle Foods*, 6, 359-368.

- Beachemin, M. (1990). Sous vide technology. En M.N. Voighy (editor), *Advances in Fisheries Technology and Biotechnology for Increased Profitability* (pp. 169-188). Technomic, Lancaster, PA.
- Bell, G., Penney, N., Moorhead, S.M. (1995). Groth of the psychrotrophic pathogens *Aeromonas hydrophila*, *Listeria monocytogenes* and *Yersinia enterocolitica* on smoked blue cod packed under vacuum or carbon dioxide. *International Journal of Food Science and Technology*, 30, 515-521.
- Ben Embarek, P.K., Jeppesen, V.F., Huss, H.H. (1994). Antibacterial potential of *Enterococcus faecium* strains solated from *sous vide* cooked fish. *Food Microbiology*, 11, 525-536.
- Bendall, J.R., Restall, D.J. (1983). The cooking of single myofibres, small myofibre bundles and muscle strips from beef M. *psoas* and M. *sternomandibularis* muscles at varying heating rates and temperatures. *Meat Science*, 8, 93-117.
- Bergslien, H. (1996). *Sous vide* treatment of salmon (salmon salar). En *Proccedings of the Second European Symposium on Sous Vide* (pp. 281-292). Leuven: Alma *Sous Vide* Competence Centre.
- Bertagnoli, L. (1987). Pouches gain ground in food service. *Restaurants Institutions*, 97(10), 29 Abril, pp. 178-180, 184.
- Bertelsen, G., Juncher, D. (1996). Oxidative stability and sensory quality of sous vide cooked products. En *Proceedings of Second European Symposium on Sous Vide* (pp. 133-145). 10-12 Abril, Alma University Restaurants/FAIR, Universidad de Leuven, Bélgica.
- Betts, G., Gaze, J. (1995). Growth and heat resistance of psychrotrophic *Clostridium botulinum* in relation to *sous vide* products. *Food Control*, 6(1), 57-63.
- Betts, G.D. (1992). The microbiological safety of sous vide processing. *Campden Food and Drink Research Association Technical manual N° 39*.
- Blickstad, E., Molin, G. (1983). The microbial flora of smoked pork loin and frankfurter sausage stored in different atmospheres at 4°C. *Journal of Applied Bacteriology*, 54, 493-504.
- Boerema, J.A., Penny, N., Cummings, T.L., Bell, R.G. (1993). Carbon dioxide controlled atmosphere packaging of sliced ham. *International Journal of Food Science and Technology*, 28, 435-442.
- Bognar, A. (1980). Nutritive value of chilled meals. En G. Glew (editor), *Advances in Catering Technology* (pp. 387-408). Londres: Applied Science Publishers.
- Bognár, A. (1984). Nährstoffverluste bei der haushaltsmässigen Zubereitung von Lebensmitteln. *AID – Verbraucherdienst*, 29, 1-32.
- Bognar, A., Bohling, H., Fort, H. (1990). Nutrient retention in chilled foods. En T.R. Gormley (editor), *Chilled Foods – The State of the Art* (pp. 305-336). Londres, Nueva York: Elsevier Applied Science.
- Boletín Oficial del Estado. (B. O. E.) (29-8-1979). Métodos de análisis de productos cárnicos.

- Borch, E., Berg, H., Holst, O. (1991). Heterolactic fermentation by homofermentative *Lactobacillus* sp. During glucose limitation in anaerobic continuous culture with complete cell recycle. *Journal of Applied Bacteriology*, 71, 265-269.
- Borch, E., Kant-Muermans, M.L., Blixt, Y. (1996). Bacterial spoilage of meat and cured meat products. *International Journal of Food Microbiology*, 33(1), 103-120.
- Borch, E., Molin, G. (1988). Numerical taxonomy of psychrotrophic lactic acid bacteria from prepacked meat and meat products. *Antonie van Leeuwenhoek*, 54, 301-323.
- Borch, E., Molin, G. (1989). The aerobic growth and product formation of *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Brochothrix* and *Carnobacterium* in batch cultures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 30, 81-88.
- Borch, E., Nerbrink, E. (1989). Shelf-life of emulsion sausage stored in vacuum or modified atmospheres. En *Proceeding 35<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology* (pp. 470-477). Copenhagen. Vol. III.
- Borch, E., Nerbrink, E., Svensson, P. (1988). Identification of major contamination sources during processing of emulsion sausage. *International Journal of Food Microbiology*, 7, 317-330.
- Borresen, T. (1995). Chemical composition. En H.H. Huss (editor), *Quality and quality changes in fresh fish*. *FAO Fisheries Technical Paper 348*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Botsoglou, N. A.; Fletouris, D. J.; Papageorgiou, G. E.; Vassilopoulos, V. N.; Mantis, A. J.; Trakatellis, A. G. (1994). Rapid, sensitive, and specific thiobarbituric acid method for measuring lipid peroxidation in animal tissue, food, and feedstuff samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 1931-1937.
- Bourne, M.C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32(2), 62-66.
- Bourne, M.C. (2002). Principles of Objective Texture Measurement. En L.T. Steve (editor), *Food Texture and Viscosity*, 2<sup>a</sup> edición. Nueva York: Academic Press.
- Bratzler, L.J. (1949). Determining the tenderness of meat by use of the Warner-Bratzler method. *Proc. Annu. Reciprocal Meat Conf.*, 2, 117-120.
- Bremer, P.J., Osborne, C.M. (1995). Thermal death times of *Listeria monocytogenes* in green shell mussels prepared for not smoking. *Journal of Food Protection*, 58(6), 604-608.
- Bremner, A. (1993). Fish flesh structure and the role of collagen-its post-mortem aspects and implications for fish processing. En: H.H. Huss, M. Jakobsen, J. Liston (editores), *Quality assurance in the fish industry* (pp. 39-62). Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Bremner, P.J., Fletcher, G.C., Osborne, C. (2003). *Clostridium botulinum* in seafood. New Zealand Institute for Crop & Food Research Limited. <http://www.crop.cri.nz/home/research/marine/pathogens/clostridium.pdf>.
- Brody, A.L. (2003). Foodservice drives packaging developments. *Food Technology*, 56(10), 78-80, 86.

- Brown, G.D., Gaze, J.E., Gaskell, D.E. (1991). *Growth of Clostridium botulinum non-proteolytic type E in "sous-vide" products stored at 2-15°C*. Technical Memorandum N° 635. Gloucestershire, Reino Unido: Campden Food & Drink Research Association.
- Buck, E.M., Hickey, A.M., Rosenau, J. (1979). Low-temperature air oven vs. a water bath for the preparation of rare beef. *Journal of Food Science*, 44, 1602-1605, 1611.
- Burg, P., Fraile, P. (1995). Vitamin C destruction during the cooking of potato dish. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28(5), 506-514.
- Butz, P., Tauscher, B. (2002). Emerging technologies: Chemical aspects. *Food Research International*, 35, 279-284.
- Calkins, C.R., Hodgen, J.M. (2007). A fresh look at meat flavor. *Meat Science*, 77, 63-80.
- Calvo, M. (2008). Carotenoides.  
<<http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/pigmentos/carotenoides.html>>
- Campo, M.M., Nute, G.R., Hughes, S.I., Enser, M., Wood, J.D., Richardson, R.I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72, 303-311.
- Carlier, V., Augustin, J.C., Rozier, J. (1996). Heat resistance of *Listeria monocytogenes* Phagorvar (2389/2425,3274/2671/47/108/340): D- and z-values in ham. *Journal of Food Protection*, 59(6), 588-591.
- Carlin, F. (2000). En, R. K. Robinson, C.A. Batt y P.D. Patel (editores.), *Encyclopedia of food microbiology* (pp. 1338-1344). Londres: Academic Press.
- Carlin, F., Guinebretiere, M. H., Choma, C., Schmitt, P., Nguyen, C. (1999). A FAIR collaborative programme: research on factors allowing a risk assessment of spore-forming pathogenic bacteria in cooked chilled foods containing vegetables. En *Proceedings of the Third European Symposium on Sous-vide* (pp. 53-70). Leuven, Bélgica.
- Carlin, F., Nguyen-the, S., Da Silva, A.A., Cochet, C. (1996). Effects of carbon dioxide on the fate of *Listeria monocytogenes*, of aerobic bacteria and on the development of spoilage in minimally processed fresh endive. *International Journal of Food Microbiology*, 32, 159-172.
- Carpí, G., Gola, S., Maggi, A., Rovere, P., Buzzoni, M. (1995). Microbial and chemical shelf-life of high-pressure treated salmon cream at refrigeration temperatures. *Industria Conserve*, 70(4), 386-397.
- Cheftel, J.C., Cheftel, H., Besançon, P. (1989). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Ed. Acirbia.
- Chen, C.C., Pearson, A.M., Gray, J.I., Fooladi, M.H., Ku, P.K. (1984). Some factor influencing the nonheme iron content of meat and its implications in oxidation. *Journal of Food Science*, 49, 581-584.
- Chen, G., Xiong, Y.L. (2008). Shelf-stability enhancement of precooked red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) tails by modified CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> gas packaging. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, disponible online.
- Chio, K.S., Tappel, A.L. (1969). Synthesis and characterization of the fluorescent products derived from malonaldehyde and amino acids. *Biochemistry*, 8, 2821-2827.

- Choain, F., Noel, P. (1989). Le Sous-Vide en Cuisine. En J. Lanore (editor), *Des fondements scientifiques aux applications pratiques* (pp. 207). Francia : Malalkoff.
- Church I.J., Parsons, A.L. (1993). Review: sous vide cook-chill technology. *International Journal of Food Science and Technology*, 28(6), 563-574.
- Church, I. (1996). The sensory quality of chicken and potato products using cook-chill and *sous vide* methods. En *Proceedings of the first European Sous Vide Cooking Symposium* (pp. 317-326). Leuven: Alma Sous Vide Competence Centre.
- Church, I.J. (1990). *An Introduction to "Method Sous-Vide"* Department of Hospitality Management, Leeds Polytechnic, 46 pp.
- Church, I.J., Parsons, A.L. (2000). The sensory quality of chicken and potato products prepared using cook-chill and *sous vide* methods. *International Journal of Food Science and Technology*, 35(2), 155-162.
- Cobos, A., Díaz, O. (2007). Sous-vide cooking of traditional meat products: effect on the microbiology of dry-cured pork foreleg. En A. Méndez-Vilas (editor), *Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in applied Microbiology* (pp. 511-517).
- Cookey, D.K., Klein, B.P., McKeith, F.K. (1988). Effect of packaging process on thiamine retention and other characteristics of pre-cooked vacuum packaged beef roasts. Poster presentado en No. 653 *IFT Annual Meeting*, Nueva Orleans, Junio.
- Coyne, F.P. (1933). The effect of carbon dioxide on bacterial growth with special reference to the preservation of fish, Part 1. *Journal Society Chemical Industry*, 51, 119T-121T.
- Creed, P. G. (2001). The potencial of foodservice systems for satisfying consumer needs. *Innovative Food Service & Emerging Technologies*, 2, 219-277.
- Creed, P.G. (1995). The sensory and nutritional quality of "sous vide" foods. *Food Control*, 6(1), 45-52.
- Creed, P.G. (1998). Sensory and nutritional aspects of *sous vide* processed foods. En S. Ghazala (editor), *Sous Vide and Cook-Chill Processing for the Food Industry*, (pp.76). Aspen Publishers: Maryland.
- Creed, P.G., Reeve, W.G. (1998). Principles and applications of sous vide processed foods. *Sous vide and cook chill processing for the food industry*. S. Ghazala (editor), Aspen Publishers Inc, Gaithersburg, EEUU, pp. 25-56.
- Cremer, M. L., Yum, T. K., Banwart, G. J. (1985). Time, temperature, microbial and sensory quality assessment of chicken and noodles in a hospital foodservice system. *Journal of Food Science*, 50, 891-896.
- Crison®. <<http://www.crison.es>>.
- Cryovac®. <<http://www.cryovac.com>>.
- Dahl, C.A., Mattews, M.E. (1980). Cook/chll foodservice system with a microwave oven: thiamine content of portions of beef loaf after microwave heating. *Journal of Food Science*, 45, 608-612.
- Dahl-Sawyer, C.A., Chen. J.J., Huang, P.D. (1982). Cook/chill foodservice systems with conduction, convection and microwave reheat subsystems. Nutrient retention in beef loaf, potatoes and peas. *Journal of Food Science*, 47, 1089-1095.

- Dalgaard, P. (2000). Fresh and lightly preserved seafood. C.M.D. Man y A.A. Jones (editores), *Shelf life Evaluation of Foods*, 2<sup>nd</sup> edición (pp. 110-139). Maryland: Aspen Publishing Inc. Gaithersburg.
- Daniels, J.A., Krishnamurthi, R., Rizvi, S.H. (1985). A review of the effects of carbon dioxide on microbial growth and food quality. *Journal Food Protection*, 48, 532-537.
- De Baerdemaeker, J., Nicolaï, B. M. (1995). Equipment considerations for sous vide cooking. *Food Control*, 6(4), 229-236.
- De Franceso, M., Parisi, G., Médale, F., Lupi, P., Kaushik, S. J., Poli, B. M. (2004). Effect of long-term feeding with a plant protein mixture based diet on growth and body/fillet quality traits of large rainbow trout. *Aquaculture*, 236, 413-429.
- De Pablo, B., Asensio, M.A., Sanz, B., Ordóñez, J.A. (1989). The D(-)lactic acid and acetoin/diacetyl as potencial indicators of the microbial quality of vacuum-packed pork and meat products. *Journal of Applied Bacteriology*, 66, 185-190.
- De Rosa, G., Fernández, M.R., Ariosti, A. (2002). Optimización de la evaluación de propiedades de barrera de films plásticos compuestos (hidrofóbicos-hidrofílicos) – Variación de la permeabilidad al oxígeno en función del acondicionamiento de las muestras. 4<sup>a</sup> Jornadas de Desarrollo e Innovación, INTI, Buenos Aires, Argentina.
- De Witt, J.C., Notermans, N., Gorin, N., Kampelmacher, H. (1979). Effect of garlic or onion oil on toxin production by *Clostridium botulinum* in meat slurry. *Journal of Food Protection*, 42(3), 222-224.
- Del Valle, A. Materiales complejos para el envasado de alimentos en vacío o en atmósfera modificada (MAP). SÜDPACK®.  
<<http://www.suedpack.com>>.
- Directiva 93/43/CEE del Consejo de 14 de junio (1993) sobre la higiene alimentaria y la formación del personal.  
<[http://ec.europa.eu/food/food/biosafety/salmonella/mr06\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/food/food/biosafety/salmonella/mr06_es.pdf)>
- Directiva 98/34/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de junio (1998) sobre Información en Materia de las Normas y Reglamentaciones Técnicas. <<http://www.agendaactiva.es/Default.aspx?info=000094>>.
- Directiva 98/48/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de julio (1998) por la que se establece un procedimiento de información en materia de las normas y reglamentaciones técnicas.  
<<http://www.agendaactiva.es/Default.aspx?info=000092>>
- Doyle, E. (2002). Survival and growth of *Clostridium perfringens* during the cooling step in thermal processing of meat products: a review. *Food Research Institute*, University of Wisconsin, United States.  
<<http://www.wisc.edu/fri/briefs/cperfsurvivgrow.pdf>>
- Dransfield, E., Zamora, F., Bayle, M. (1998). Consumer selection of steaks as influenced by information and price index. *Food Quality and Preference*, 9(5), 321-326.
- Driskell, J.A., Giraud, D.W., Sun, J., Joo, S., Hamouz, F.L., David, S.L. (1998). Retention of vitamin B<sub>6</sub>, thiamin, vitamin E and selenium in grilled boneless pork chops prepared at five grill temperatures. *Journal of Food Quality*, 21, 201-210.

- Driskell, J.A., Sun, J., Giraud, D.W., Hamouz, F.L., Batenhorst, J.H. (1995). Selenium and tocopherol content of cooked pork roasts. *Journal of Food Quality*, 18, 455-462.
- Dykes, G.A., Cloete, T.E., von Holy, A. (1991). Quantification of microbial populations associated with the manufacture of vacuum-packaged, smoked vienna sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 13, 239-248.
- Dykes, G.A., Cloete, T.E., von Holy, A. (1994). Identification of *Leuconostoc* species associated with the spoilage of vacuum-packaged Vienna sausage by DNA-DNA hybridization. *Food Microbiology*, 11, 271-274.
- Eheart, M.S., Gott, C. (1965). Chlorophyll, ascorbic acid and pH changes in green vegetables cooked by stir fry, microwave, and conventional methods and a comparison of chlorophyll methods. *Food Technology*, 19(5), 186-188.
- Einen, O., Thomassen, M. S. (1998). II. White muscle composition and evaluation of freshness, texture and colour characteristics in raw and cooked fillets. *Aquaculture*, 169, 37-53.
- Eitenmiller, R.R., Laden, W.O. (1995). Vitamins A and  $\beta$ -carotene. Ascorbic acid. Thiamin. Vitamin B-6. Folate. R.R. Eitenmiller y Laden W.O. (editores), *Vitamin Analysis for the Health and Food Science* (pp. 15-19, 226-228, 375, 411-465). CRC Press, Boca Raton, FL .
- Embarek, P.K., Jeppesen, V.F., Huss, H.H. (1994). Antibacterial potential of *Enterococcus faecium* strains to inhibit *Clostridium botulinum* in sous-vide cooked fish fillets. *Food Microbiology*, 11, 525-536.
- Embarek, P.K.B., Huss, H.H. (1993). Heat resistance of *Listeria monocytogenes* in vacuum-packaged pasteurised fish fillets. *International Journal of Food Microbiology*, 20, 85-95.
- Eriksen, H., Lassen, A. (1996). Vitamin retention in prepacked foods: comparison to traditional techniques. En *Proceedings of Second European Symposium on Sous Vide* (pp. 339-340). 10-12 Abril, Alma University Restaurants/FAIR, University of Leuven, Bélgica.
- Esterbauer, H., Schaur, R.J., Zollner, H. (1991). Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malonaldehyde and related aldehydes. *Free Radical Biology and Medicine*, 11, 81-128.
- Faber, J.M., Dodds, K.L. (1995). *Principles of Modified-Atmosphere and Sous Vide product packaging* (pp.353). Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster.
- Fagan, J.D., Gormley, T.R. (2005). Effect of *sous vide* cooking, with freezings, on selected quality parameters of seven fish species in a range of sauces. *European Food Research and Technology*, 220, 299-304.
- Farber, J.M. (1991). Microbial aspects of modified atmosphere packaging technology – a review. *Journal of Food Protection*, 54, 58-70.
- Farkas, J. (1998). Irradiation as a method for decontaminating food: A review. *International Journal of Food Microbiology*, 44, 189-204.
- Farkas, J., Polyák-Fehér, K., Andrassy, É., Mészáros, L. (2002). Improvement of microbiological safety of sous-vide meals by gamma radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 63, 345-348.
- Fillon, L., Henry, C.J.K. (1998). Nutrient losses and gains during frying: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 49, 157-168.

- Fisher, K. H., Laskawy, G., Grosch, W. (1985). Quantitative analysis of the autoxidation products of cholesterol in foods of animal origin. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*, 181, 14-19.
- Friedman, H.H., Whitney, J.E., Szczesniak, A.S. (1963). The Texturometer – a new instrument for objective texture measurement. *Journal of Food Science*, 28, 390-396.
- Galimpin-Johan, S.M.C., Rahman, R.A., Jamilah, B., Man, Y.B.C., Rusul, G. (2007). Pasteurization, development and storage of sous vide rendang (spicy beef stew). *Journal of Foodservice*, 18, 251-263.
- Gálvez, A., Abriouel, H., López, R.L., Omar, N.B. (2007). Bacteriocin-based strategies for food biopreservation. *International Journal of Food Microbiology*, 120, 51-70.
- García-Gimeno, R.M., Zurera-Cosano, G. (1997). Determination of ready to eat vegetable salad shelf life. *International Journal of Food Microbiology*, 36, 31-38.
- García-Iglesias, E., Gago-Cabezas, L., Fernández-Nuevo, J.L. (2006). Tecnologías de envasado en atmósfera protectora. *Informe de vigilancia tecnológica*. <<http://www.madrimasd.org>>
- García-Linares, M.C., González-Fandos, E., García-Fernández, M.C., García-Arias, M.T. (2004). Microbiological and nutritional quality of sous vide or traditionally processed fish: influence of fat content. *Journal of Food Quality*, 27, 371-387.
- García-Segovia, P., Andrés-Belló, A., Martínez-Monzó, J. (2007). Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (*M. pectoralis*). *Journal of Food Engineering*, 80, 813-821.
- Garde-Belza, J.A. Departamento Tecnologías del Envase. Centro Tecnológico ainia. <<http://www.guiaenvase.com>>
- Gardner. (1983). Microbial spoilage of cured meats. En T.A. Roberts y F.A. Skinner (editores), *Food Microbiology* (pp. 179-202). Londres: Advances and Prospects. Academic Press.
- Gaze, J.E., Brown, G.D., Gaskell, D.E., Banks, J.G. (1989). Heat resistance of *L. monocytogenes* in homogenates of chicken, beef, steak and carrot. *Food Microbiology*, 6, 251-259.
- Gaze, J.E., Shaw, R., Archer, J. (1998). Identification and prevention of hazards associated with slow cooling of hams and other large cooked meats and meat products. Review No. 8. Gloucestershire, Reino Unido: Campden & Chorleywood Food Research Association.
- George, S.M., Richardson, L.C.C., Pol, I.E., Peck, M.W. (1998). Effect of oxygen concentration and redox potential on recovery of sublethally heat-damaged cells of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Enteritidis and *Listeria monocytogenes*. *Journal of Applied Microbiology*, 84, 903-909.
- Ghazala, S., Aucoin, J. y Alkanani, T. (1996). Pasteurization effect on fatty acid stability in a sous vide product containing seal meat (*Phoca groenlandica*). *Journal of Food Science*, 61(3), 520-523.
- Ghazala, S.; Ramaswamy, H.S.; Smith J.P.; Simpson, M.V. (1995). Thermal process simulations for sous vide processing of fish and meat foods. *Food Research International*, 28(2), 117-122.



- Gil, C.D., Molin, G. (1991). Modified atmosphere and vacuum packaging. En N.J. Rusell y G.W. Gould (editores), *Food Preservatives* (pp. 172-199). Blackie, Glasgow.
- Gilbert, R.J. (1979). En H. Reimann y F.L. Byran (editores), *Foodborne Infections and Intoxications, 2ª edición* (pp. 495-518). Nueva York: Academic Press.
- Ginés, R., Valdimarsdottir, T., Sveinsdottir, K., Thorarensen, H. (2004). Effects of rearing temperature and strain on sensory characteristics, texture, colour and fat of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Food Quality and Preference*, 15, 117-185.
- Glew, G. (1990). Precooked chilled foods. En P. Zeuthen, J.C. Cheftel, C. Eriksson, T.R. Gormley, P. Linko, K. Paulus, *Processing and quality of foods, vol. 3, Chilled foods: the revolution in freshness* (pp. 331-341). Londres: Elsevir.
- Gobantes, I., Gómez, R. (2007). Envasado de alimentos: Aspectos técnicos del envasado al vacío y bajo atmósfera protectora. *AlimenPack*, enero-febrero, 9-15.
- Goff, J.H., Bhunia, A.K., Johnson, M.G. (1996). Complete inhibition of low levels of *Listeria monocytogenes* on refrigerated chicken meat with pediocin AcH bound to heat-killed *Pediococcus acidilactici* cells. *Journal of Food Protection*, 59(11), 1187-1192.
- Gómez, R., Choubert, G., Gobantes, I. (2001). Envasado de alimentos. Aspectos técnicos del envasado al vacío y bajo atmósfera protectora. *Alimentación, equipos y tecnología*, 1, 75-84.
- González-Fandos, E., García-Linares, M.C., Villarino-Rodríguez, A., García-Arias, M.T., García-Fernández, M.C. (2004). Evaluation of the microbiological safety and sensory quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processed by the sous vide method. *Food Microbiology*, 21, 193-201.
- González-Fandos, E., Villarino-Rodríguez, A., García-Linares, M.C., García-Arias, M.T., García-Fernández, M.C. (2005). Microbiological safety and sensory characteristics of salmon slices processed by sous vide method. *Food Control*, 1, 75-85.
- Goto, M., Hashimoto, K., Yamada, K. (1995). Difference of ascorbic acid content among some vegetables, texture in chicken and pork, and sensory evaluation store in some dishes between vacuum and ordinary cooking. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 42(1), 50-54.
- Goulas, A.E., Kontominas, M.G. (2007). Combined effect of Light salting, modified atmosphere packaging and orégano essential oil on the shelf-life of sea bream (*Sparus aurata*): Biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry*, 100(1), 287-296.
- Gould, G. (1996). Conclusions of the ECFF Botulinum Working Party. En *Proceedings of the Second European Symposium on Sous Vide* (pp. 173-180), 10-12 Abril, Leuven, Bélgica.
- Gould, G. W. (1999). Sous vide foods: conclusions of an ECFF Botulinum Working Party. *Food Control*, 10, 47-51.

- Gould, G.W., Jones, M.V. (1989). Combination and synergistic effects. En G.W. Gould (editor), *Mechanisms of action of food preservation procedures* (pp. 401-422). Londres: Elsevier Applied Science.
- Goussault, B. (1993). Produits cuits *sous vide* et plats cuisinés en atmosphère modifiée. *Industries Alimentaires et Agricoles (IAA)*, 110 (Junio), 443-445.
- Gram, L., Huss, H.H. (1996). Microbiological spoilage of fish and fish products. *International Journal of Food Microbiology*, 33(1), 121-137.
- Grant, I.R., Patterson, M.F. (1992). Sensitivity of foodborne pathogens to irradiation in the components of a chilled ready meal. *Food Microbiology*, 9(2), 95-103.
- Grant, I.R., Patterson, M.F. (1995). Effect of gamma radiation and heating on the destruction of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* in cook-chill roast beef and gravy. *International Journal of Food Microbiology*, 27, 117-128.
- Granum, P.E., Lund, T. (1997). *Bacillus cereus* and its food poisoning toxins. *FEMS Microbiology Letters*, 157, 223-228.
- Gray, J.I. (1978). Measurement of lipid oxidation: A review. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 55, 697-704.
- Gray, J.I., Monahan, F.J. (1992). Measurement of lipid oxidation in meat and meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 3, 315-319.
- Gray, J.I., Pearson, A.M. (1987). Restructured meat and poultry products. En: A.M. Pearson, T.R. Dutson, T.R. (editores), *Advances in Meat Research*. Van Nostrand Reinhold: Nueva York.
- Greengras, J. (1995). Films para envasado en atmósfera modificada. Envasado de alimentos en atmósferas modificadas. En R. T. Parry (editor), (pp. 79-118). A. Madrid Vicente, Ediciones, Madrid, España.
- Griffiths, M.W. (1990). Toxin production by psychrotrophic *Bacillus* spp. Present in milk. *Journal of Food Protection*, 53, 790-792.
- Grigioni, G.M., Margaría, C.A., Pensel, N.A., Sánchez, G., Vaudagna, S.R. (2000). Warmed-over flavour analysis in low temperature-long time processed meat by an “electronic nose”. *Meat Science*, 56, 221-228.
- Grunert, K.G. (1997). What’s in a steak? A cross-cultural study on the quality perception of beef. *Food Quality and Preference*, 8(3), 157-174.
- Guerzoni, M. E., Gianotti, A., López, C. C. (1999). Effect of some process variables on safety and shelf life of “sous vide cooked foods. En *Third European Symposium on sous-vide Proceeding* (pp. 253–266). Leuven, Bélgica.
- Haard, N.F. (2003). SPOILAGE/Chemical and Enzymatic spoilage. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, (pp. 5502-5506).
- Hair, F. H., Anderson, R. E., Tatham, R. L., Black, W. C. (1999). Análisis multivariante. Pearson. *Educación, S. A. ;Madrid*.
- Hall, K.N., Lin, Ch.S. (1981). Effect of cooking rates in electric or microwave oven on cooking losses and retention of thiamin in broilers. *Journal of Food Science*, 46, 1292-1293.
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C. (1990). Role of free radicals and catalytic metal ions in human disease: an overview. *Methods in Enzymology*, 186, 1-85.

- Hamm, R. (1977). Changes of muscle proteins during the heating of meat. En T. Höyem y O. Kvale (editores), *Physical, chemical and biological changes in food caused by thermal processing* (pp. 101-134). Applied Science Publishing.
- Hansen, T.B., Knøchel, S. (1996). Thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* during rapid and slow heating in *sous vide* cooked beef. *Letters in Applied Microbiology*, 22, 425-428.
- Hansen, T.B., Knøchel, S., Juncher, D., Bertelsen, G. (1995). Storage characteristics of *sous vide* cooked roast beef. *International Journal of Food Science and Technology*, 30, 365-378.
- Harmon, S.M., Kautter, D.A. (1991). Incidence and growth potential of *Bacillus cereus* in ready-to-serve foods. *Journal of Food Protection*, 54, 372-374.
- Harris, P.V., Shorthose, W.R. (1988). Meat texture. En R. Lawrie (editor), *Developments in meat science* (Vol. 4). Londres: Elsevier Applied Science.
- Harris, R.S. (1975). General discussion on the stability of nutrients. En R.S: Harris y E. Karmas (editores), *Nutritional Evaluation of Food Processing* (pp. 1-4). Westport, Conn: AVI Publishing Co.
- Hashmi, M. (1972). Assay of vitamins in Pharmaceutical Preparations. Wiley, Londres.
- Hermansson, A.M., Langton, M. (1988). Filamentous structures of bovine myosin in diluted suspensions and gels. *Journal of Science Food Agriculture*, 42, 355-369.
- Holdeman, L.V., Brooks, J.B. (1970). Variation among strains of *Clostridium botulinum* and related clostridia. En *Protocols of the First U.S-Japan Conference on Toxic Microorganism* (pp. 278-286).
- Holzapfel, W.H., Geisen, R., Schillinger, U. (1995). Biological preservation of foods with reference to protective cultures, bacteriocins and food-grade enzymes. *International Journal of Food Microbiology*, 24, 343-362.
- Hostetler, R.L., Landman, W.A. (1968). Photomicrographic studies of dynamic changes in muscle fiber fragments. 1. Effects of various heat treatments on length, width and birefringence. *Journal of Food Science*, 33, 468.
- Hrdina-Dubsky, D.L. (1989). *Sous vide* finds its niche. *Food Engineering International*, 14, 40-42, 44, 48.
- Hsieh, R.J., Kinsella, J.E. (1989). Oxidation of polyunsaturated fatty acids: mechanisms, products, and inhibition with emphasis on fish. *Advances in Food and Nutrition Research*, 33, 233-341.
- Hudson, J.A., Mott, S.J. (1993). Growth of *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas hydrophila* and *Yersinia enterocolitica* on cold-smoked salmon under refrigeration and mild temperature abuse. *Food Microbiology*, 10, 61-68.
- Hudson, J.H., Mott, S.J., Penney, N. (1994). Growth of *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas hydrophila* and *Yersinia enterocolitica* on vacuum and saturated carbon dioxide controlled atmosphere-packaged sliced roast beef. *Journal of Food Protection*, 57, 204-208.
- I.F.T. (1975). Sensory Evaluation Guide for Testing Food and Beverages products. Institute of Food Technologists. *Food Technology*, 35, 50-59.

- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods) (1996). *Aeromonas*, en *Microorganisms in Foods – Microbiological Specifications of Food Pathogens*, Vol. 5 (pp. 5-19). Londres: Blackie Academic and Professional.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods) (1998). Preventing abuse of foods after processing. *Microbial Ecology of Food Commodities. Microorganisms in Foods*, Vol. 6 (pp. 579-597). Londres: Blackie Academic and Professional.
- Igene, J.O., Pearson, M.A., Gray, J.I. (1981). Effects of length of frozen storage, cooking and holding temperatures upon component phospholipids and the fatty acid composition of meat triglycerides and phospholipids. *Food Chemistry*, 7, 289-303.
- Ilow, R., Rgulaska-Ilow, B., Szymcak, J. (1995). Assessment of vitamin C losses in conventionally cooked and microwave-processed vegetables. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 28(4), 317-321.
- Ismael, A., Pierson, M.D. (1990<sup>a</sup>). Inhibition of growth and germination of *C.botulinum* 33A, 40B and 1623E by essential oil of spices. *Journal of Food Science*, 55(6), 1676-1678.
- Ismael, A., Pierson, M.D. (1990<sup>b</sup>). Inhibition of growth and germination, outgrowth, and vegetative growth of *C.botulinum* 67B by ápicies oils. *Journal of Food Science*, 53(9), 755-758.
- ISO 1443. (1973). Meat and meat products - Determination of total fat content. <<http://www.iso.org>>.
- ISO 15214. (1998). Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the enumeration of mesophilic lactic acid bacteria - Colony-count technique at 30 degrees C. <<http://www.iso.org>>.
- ISO 17410. (2001). Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the enumeration of psychrotrophic microorganisms. <<http://www.iso.org>>.
- ISO 21527-1. (2008). Microbiology of food and animal feeding stuffs -- Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds - Part 1: Colony count technique in products with water activity less than or equal to 0,95. <<http://www.iso.org>>.
- ISO 21527-2. (2008) Microbiology of food and animal feeding stuffs -- Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds - Part 2: Colony count technique in products with water activity greater than 0,95. <<http://www.iso.org>>.
- ISO 21528-2. (2004). Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal methods for the detection and enumeration of *Enterobacteriaceae* - Part 2: Colony-count method. <<http://www.iso.org>>.
- ISO 21807. (2004). Microbiology of food and animal feeding stuffs – Determination of water activity. <<http://www.iso.org>>.
- ISO 2917. (1999). Meat and meat products - Measurement of pH - Reference method. <<http://www.iso.org>>.
- ISO 4121. (2003). International Organization for Standardization Publications. Sensory análisis Methodology. Evaluation of food products by methods using scales. <<http://www.iso.org>>.

- ISO 8586-1. (1993). International Organization for Standardization Publications. Sensory analysis Methodology. General guidance for the selection and training and monitoring of assessors. Part 1. Selected assessors. <<http://www.iso.org>>.
- ISO 936. (1998). Meat and meat products - Determination of total ash. <<http://www.iso.org>>.
- ISO 937. (1978). Meat and meat products - Determination of nitrogen content (Reference method). <<http://www.iso.org>>.
- ISO1442. (1997). Meat and meat products - Determination of moisture content (Reference method). <<http://www.iso.org>>.
- Jack, R.W., Tagg, J.R., Ray, B. (1995). Bacteriocins of Gram positive bacteria. *Microbiological Reviews*, 59, 171-200.
- Jackson, T.C., Acuff, G.R., Vanderzant, C., Sharp, T.R., Savell, J.W. (1992). Identification and evaluation of volatile compounds of vacuum and modified atmosphere packaged beef strip loins. *Meat Science*, 31, 175-190.
- James, S.J., Evans, J. (1992). Consumer handling of chilled foods. Temperature performance. *Rev. Int. Froid*, 15, 299-306.
- Jang, J.D., Lee, D.S. (2005). Development of *sou-vide* packaging process for Korean seasoned beef. *Food Control*, 16, 285-291.
- Jansen, G.R., Harper, J.M., Kylene, A., Shigetomi, C.T., Fallis, L.K. (1977). Pilot study to evaluate food delivery systems used in school hunch programs. II: nutritional value. *School Food Service Research Rev*, 1, 24-29.
- Johnson, E.A. (1990). *Clostridium perfringens* food poisoning. En D.O. Cliver (editor), *Foodborne Diseases* (pp. 229-240). California: Academic Press.
- Josell, A., Tornberg, E. (1994). The relation between rheological properties at small and large deformations and sensory traits of whole meat. *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society*, 2, 59-61.
- Juneja, V.K., Marmer, B.S., Philips, J.G., Miller, A.J. (1995). Influence of the intrinsic properties of food on thermal inactivation of spores of nonproteolytic *Clostridium botulinum*: development of a predictive model. *Journal of Food Safety*, 15, 349-364.
- Juneja, V.K., Eblen, B.S. (1995). Influence of sodium chloride on thermal inactivation and recovery of nonproteolytic *Clostridium botulinum* type B strain KAP B5 spores. *Journal of Food Protection*, 58, 813-816.
- Juneja, V.K., Klein, P.G., Marmer, B.S. (1998). Heat shock and thermotolerance of *Echerichia coli* O157:H7 in a model beef gravy system and ground beef. *Journal of Applied Microbiology*, 84, 677-684.
- Juneja, V.K., Majka, H.M. (2003). Mathematical description of non linear survival curves of *Listeria monocytogenes*. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 4, 307-317.
- Ke, P.J., Cervantes, E., Robles-Martínez, C. (1984). Determination of thiobarbituric acid reactive substances (TBARs) in fish tissue by an improved distillation-spectrophotometric method. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35, 1248-1254.
- Kebelde, E., Mannheim, C. H., Miltz, J. (1998). Ascorbic acid retention in a model food packed in barrier plastic trays and in cans. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 31, 33-37.

- Kempton, A.G., Bobier, S.R. (1970). Bacterial growth in refrigerated, vacuum-packed luncheon meats. *Canadian Journal Microbiology*, 16, 287-297.
- Khan, M.A., Klein, B.P., Lee, F.V. (1982). Thiamin content of freshly prepared and leftover Italian spaghetti served in a university cafeteria foodservice. *Journal of Food Science*, 47, 2093-2094.
- Kim, B., Park, J. (2000). En J. Park (editor), *Surimi and surimi seafood* (pp. 313). Nueva York.
- Kim, D., Foegeding, P.M. (1992). Principles of control. En A.H. Hauschild y K.L. Dodds (editores), *Clostridium botulinum: Ecology and control in foods* (pp. 121-176). Nueva York: Marcel Dekker Inc.
- Kim, K., Murano, E.A., Olson, D.G. (1994). Heating and storage conditions affect survival and recovery of *Listeria monocytogenes* in ground pork. *Journal of Food Science*, 59, 30-32.
- Kimura, M., Itokawa, Y., Fujiwara, M. (1990). Cooking losses of thiamin in food and its nutritional significance. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 36(1), 17-24.
- King, N.J., Whyte, R. (2006). Does it look cooked? A review of factors that influence cooked meat color. *Journal of Food Science*, 71(4), R31-R40.
- Kirov, S.M. (1997). *Aeromonas enterocolitica*. En A.D. Hocking y col. (editores), *Foodborne Microorganisms of Public Health Significance*, 5ª edición (pp. 473-792). AIFST (NSW Branch) Food Microbiology Group.
- Kleinlein, N., Untermann, F. (1990). Growth of pathogenic *Yersinia enterocolitica* strains in minced meat with and without protective gas and consideration of competitive background flora. *International Journal of Food Microbiology*, 10, 65-72.
- Knabel, S.J., Walker, H.W., Hartman, P.A., Mendonca, A.F. (1990). Effects of growth temperature and strictly anaerobic recovery on the survival of *Listeria monocytogenes* during pasteurization. *Applied and Environmental Microbiology*, 56, 370-376.
- Knochel, S., Vangsgaard, R., Johansen, L.S. (1997). Quality changes during storage of sous vide cooked green beans (*Phaseolus vulgaris*). *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung A*, 205, 370-374.
- Konica Minolta©. < <http://www.konicaminolta.eu>>.
- Korkeala, H., Alanko, T. (1988). The prediction of food-product shelf-life. En *Proceeding of the 34<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology* (pp. 537-538), Part B. Brisbane.
- Korkeala, H., Alanko, T., Mäkelä, P., Lindroth, S. (1989). Shelf-life of vacuum-packed cooked ring sausages at different chill temperatures. *International Journal of Food Microbiology*, 9, 237-247.
- Korkeala, H., Björkroth, K.J. (1997). Spoilage and contamination of vacuum-packaged cooked sausages: a review. *Journal of Food Protection*, 60, 724-731.
- Korkeala, H., Lindroth, S. (1987). Differences in microbial growth in the surface layer and at the centre of vacuum-packed cooked ring sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 4, 105-110.
- Korkeala, H., Lindroth, S., Ahvenainen, R., Alanko, T. (1987). Interrelationship between different parameters in the spoilage of vacuum-packed cooked ring sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 5, 311-321.

- Korkeala, H., Suortti, T., Mäkelä, P. (1988). Ropy slime formation in vacuum-packed cooked meat products caused by homofermentative lactobacilli and a *Leuconostoc* species. *International Journal of Food Microbiology*, 7, 339-347.
- Kossovitsas, C., Navab, M., Ang, C.M., Livingston, G.E. (1973). A comparison of chilled-holding versus frozen storage on quality and wholesomeness of some prepared foods. *Journal of Food Science*, 38, 901-902.
- Kralovic, R.C. (1973). *Clostridium botulinum* type E spores: increased heat resistance through lysozyme treatment. *Abstracts of the Annual Meeting of the American Society for Microbiology*, 73, 41.
- Kramer, L. (1988). Is it real or is it sous vide?, *Catering Today*, 25, 1-5.
- Krebbers, B., Matser, A.M., Hoogerwerf, S.W., Moezelaar, R., Tomassen, M.M.M., van der Berg, R.W. (2003). Combined high-pressure and thermal treatments for processing of tomato puree: evaluation of microbial inactivation and quality parameters. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4, 377-385.
- Laakkonen, E. (1973). Factors affecting tenderness during heating of meat. C.O. Chichester, E.M. Mrak y G.F. Stewart (editores.), *Advances in food research*, vol. 20 (pp. 257-323). Nueva York: Acad. Press.
- Laakkonen, E., Sherbon, J.W., Wellington, G.H. (1970). Low-temperature, log.time heating of bovine muscle. *Journal of Food Science*, 36, 175-181.
- Labuza, T.P. (1982). Shelf-Life Dating of Foods. En C.T. Wesport (editor), *Food and Nutrition Press* (pp. 119-127).
- Laing, B.M., Schlueter, D.L., Labuzza, T.P. (1978). Degradation kinetics of ascorbic acid at high temperature and water activity. *Journal of Food Science*, 43, 1440-1443.
- Langley-Danysz, P. (1992). Est-il souhaitable d'allonger la DLC? Cuisson sous vide: le temps de la reflexion. *Revue Industries Agro-Alimentaires (RIA)*, (476), 38-41.
- Larmond, E. (1977). *Laboratory methods for sensory evaluation of foods*. Publication 1637/E. Ottawa: Agriculture Canada.
- Lassen, A., Kall, M., Hansen, K., Ovesen, L. (2002). A comparison of the retention of vitamins B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> y B<sub>6</sub>. and cooking yield in pork loin with conventional and enhanced meal-service systems. *European Food Research and Technology*, 215, 194-199.
- LeBlanc, E.L., LeBlanc, R.J. (1989). Separation of cod (*Gadus morhua*) fillet proteins by electrophoresis and HPLC after various frozen storage treatments. *Journal of Food Science*, 54, 827-833.
- Lee, F.V., Khan, M.A., Klein, B.P. (1981). Effect of preparation and service on the thiamine content of oven-baked chicken. *Journal of Food Science*, 46, 1560-1562.
- Lee, K-E., Kim, H.J., An, D.S., Lyu, E.S., Lee, D.S. (2008). Effectiveness of Modified Atmosphere Packaging in Preserving a Prepared Ready-to-eat Food. *Packaging Technology and Science*, disponible online.
- Legan, J.D., Voysey, P.A. (1991). Yeast spoilage of bakery products and ingredients, *Journal Applied Bacteriology*, 70, 361-371.

- Lesková, E., Kubíková, J., Kováčiková, E., Kosická, M. (2006). Vitamin losses: Retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 252-276.
- Lewis, A., Light, N. (1988). A survey of cook-chill catering in the United Kingdom and the need for the extension of product shelf-life. *Food Science and Technology Today*, 2(3), 214-217.
- Light, N., Walker, A. (1990). *Cook-chill catering: technology and management*. Londres: Elsevier Applied Science.
- Light, N., Hudson, P., Williams, R., Barrett, J., Schafheitle, J. (1988). A pilot study on the sous vide vacuum cooking as a production system for high quality foods in catering. *International Journal of Hospitality Management*, 7, 21-27.
- Lin, Y.-D., Chou, C.-C. (2004). Effect of heat shock on thermal tolerance and susceptibility of *Listeria monocytogenes* to other environmental stresses. *Food Microbiology*, 21, 605-610.
- Linares, M.:B. (2007). Revisión bibliográfica. *Factores que afectan a la calidad de carne de cordero de raza manchega. Relación con el bienestar animal*, (pp. 57-65). Tesis Doctoral.
- Lingle, L. (1992). Why *sous vide* makes sense. Food manufacturing & packaging. *Prepared Foods*, 18, 98-100.
- Liu, Y., Chen, Y.R. (2001). Analysis of visible reflectance spectra of stored, cooked and diseased chicken meats. *Meat Science*, 58, 395-401.
- Loiseau, D., Aznar, B. (1988). Plats cuisinés et cuisson des denrées-économie et marketing. *Industries Alimentaires et Agricoles*, 105(4), 295-296.
- López-Bote, C., Menoyo, D. (2000). La alimentación como factor de diferenciación de productos en el cerdo. *Eurocarne*, 87, 67-77.
- Losada, V., Barros-Velázquez, J., Aubourg, S.P. (2007). Rancidity development in frozen pelagic fish: Influence of slurry ice as preliminary chilling treatment. *LWT – Food Science and Technology*, 40, 991-999.
- Love, J. (1988). Sensory analysis of warmed-over flavor in meat. *Food Technology*, 42(6), 140-143.
- Lovett, J., Bradshaw, J.G., Peeler, J.T. (1982). Thermal inactivation of *Yersinia enterocolitica* in milk. *Applied and Environmental Microbiology*, 44, 517-519.
- Lund, B.M., Peck, M.W. (1994). Heat resistance and recovery of spores of non-proteolytic *Clostridium botulinum* in relation to refrigerated, processed foods with and extended shelf life. *Journal of Applied Bacteriology. Symp. Suppl.* 76, 115S-125S.
- Lynt, R.K., Kautter, D.A., Solomon, H.M. (1979). Heat resistance of nonproteolytic *Clostridium botulinum* type E in phosphate buffer and crabmeat. *Journal of Food Science*, 44, 108-111.
- Mackey, B.M., Pritchett, C., Norris, A., Mead, G.C. (1990). Heat resistance of *Listeria monocytogenes*: strain differences and effects of meat type and curing salts. *Letters in Applied Microbiology*, 10, 251-255.
- Mäkelä, P., Korkeala, H. (1987). Lactobacilli contamination of cooked ring sausage processing plant. *International Journal of Food Microbiology*, 5, 323-330.



- Malkki, Y., Rauha, O. (1978). Mould inhibition by aerosols, *Baker's Digest*, 52, 47-50.
- Mann, T.F., Reagan, J.O., Lillard, D.A., Campion, D.R., Lyon, C.E., Miller, M.F. (1989). Effect of phosphate in combination with nitrite or Maillards reaction products upon warmed-over flavour in pre-cooked, restructured beef chuck roasts. *Journal of Food Science*, 54(6), 1431-1433.
- Mann, T.F., Reagan, J.O., Lillard, D.A., Campion, D.R., Lyon, C.E., Miller, M.F. (1989). Effect of phosphate in combination with nitrite or Maillard reaction products upon warmed-over flavour in pre-cooked, restructured beef chuck roasts. *Journal of Food Science*, 54(6), 1431-1433.
- Martens, H., Stabursvik, E., Martens, M. (1982). Texture and colour changes in meat during cooking related to thermal denaturation of muscle proteins. *Journal of Texture Studies*, 13, 291-309.
- Martens, H., Vold, E. (1976). DSC studies of muscle protein denaturation. En *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> European meeting of meat research workers* (pp. J 9.3). Malmö, Suecia.
- Martín, V.J. (2003). El Sector de la Restauración en España. Situación y factores explicativos. *Distribución y consumo*, Mayo-Junio: 5-25.
- Mason, L.H., Church, I.J., Ledward, D.A., Parson, A.L. (1990). Review: the sensory quality of food produced by conventional and enhanced cook-chill methods. *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 247-259.
- Mason, L.H., Church, I.J., Ledward, D.A., Parsons, A.L. (1990). Review: the sensory quality of foods produced by conventional and enhanced cook-chill methods. *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 247-259.
- Masrizal, M.A., Giraud, D.W., Driskell, J.A. (1997). Retention of vitamin C, iron and  $\beta$ -carotene in vegetables prepared using different cooking methods. *Journal of Food Quality*, 20, 403-418.
- Maul, F. (1998). Application of an "electronic nose" technology for quality assessment of food. En *Developing premium-quality programas for fresh fruits and vegetables*. Florida Postharvest Horticulture Insitute and Industry Tour. Horticultural Sciences Department. Cooperative Extension Service. University of the Florida and The Florida Fruit and Vegetable Association.
- Mayer, R.S. (2000). Ultra high pressure, high temperature food preservation process. *US Patent 6,177,115*, B1 (Richard S. Meyer, Tacoma, WA, USA).
- McAteer, N.J., Grant, I.R., Patterson, M.F., Stevenson, M.H., Weatherup, S.T.C. (1995). Effect of irradiation and chilled storage on the microbiological and sensory quality of a ready meal. *International Journal of Food Science and Technology*, 30(6), 757-771.
- McDonald, K., Sun, D.-W. (2001). Effect of evacuation rate on the vacuum cooling process of a cooked beef prodcut. *Journal of Food Engineering*, 48(3), 195-202.

- McMillan, K.W. (2008). Where is MAP Going? A review and future potntial of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science*, 80, 43-65.
- Melton, S.T. (1983). Methodology for following lipid oxidation in muscle foods. *Food Technology*, 37(7), 105-116.
- Meng, J., Genigeorgis, C.A. (1994). Delaying toxigenesis of *Clostridium botulinum* by sodium lactate in “sous vide” prodcuts. *Letters in Applied Technology*, 19, 20-23.
- Metayer, M. (1991). Qualité nutritionelle des produits sous vide. *Les Journées du Sous vide en Agro-Alimentaire* (pp. 92-97). ISVAC, 19-20 Novembre 1991, Roanne, Francia.
- Mielche, M., Bertelsen, G. (1993). Effects of heat treatment on warmed-over flavour in ground beef during aerobic chill storage. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung Forschung*, 197, 8-13.
- Mielche, M.M. (1995). Development of warmed-over flavour in ground turkey, chicken and pork meat during chill storage. A model of the affects of heating temperature adn sotrage time. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung Forschung*, 200, 186-189.
- Mielche, M.M. (1995). Development of warmed-over flavour in ground turkey, chicken and pork meat during chill storage. A model of the effects of heating temperature and storage time. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung Forschung*, 200, 186-189.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. <<http://www.mapa.es>>
- Mintel. (2002). Ready Meals in the UK. Mintel Report. Reino Unido.
- Mohr, V., Bendall, J.R. (1969). Constitution, physical and chemical properties of intramuscular connective tissue. *Nature*, 223, 404-405.
- Moir, C.J., Szabo, E.A. (1998). Microbiological safety aspects of cook-chill foods. En S. Ghazala, *Sous vide and cook-chill proceesing for the food industry* (pp.314-315). Gaithersburg, Maryland.
- Mossel, D.A.A., Struijk, C.B. (1991). Public health implication of refrigerated pasteurised (sous-vide) foods. *International Journal of Food Microbiolgy*, 13, 187-206.
- Newton, K.G., Rigg, W.J. (1979). The effect of film permeability on the sotrage life and microbiology of vacuum-packed meat. *Journal of Applied Bacteriology*, 47, 433-441.
- Nicholanco, S., Matthews, M.E. (1978). Quality of beef stew in a hospital chill foodservice system. *Journal of the American Dietetic Association*, 72, 31-37.
- Nicod, H. (1990). L’organisation pratique de la mesure sensorielle. La formation du groupe. *Evaluation sensorielle*. Manuel Méthodologique.
- Nielsen, D.S., Jacobsen, T., Jespersen, L., Koch, A.G., Arneborg, N. (2008). Occurrence and growth of yeasts in processed meat products – Implications for potential spoilage. *Meat Science*, 80, 919-926.
- Notermans, S., Dufrenne, J., Lund, B.M. (1990). Botulism risk of refrigerated, processed foods of extended durability. *Journal of Food Protection*, 53(12), 1020-1024.
- Novak, J.S., Juneja, V.K. (2003). Effects of refrigeration or freezing on survival of *Listeria monocytogenes* Scott A in under-cooked ground beef. *Food Control*, 14, 25-30.

- NSAI (National Standards Authority of Ireland. (1994). Hygiene in the Catering Sector. I.S. 340.
- NSW Health Department (1998<sup>a</sup>). *Reference code for a conventional cook-chill system*. Sydney: Capital and Infrastructure Services Branch.
- NSW Health Department (1998<sup>b</sup>). *Reference code for an extended shelf-life cook-chill system*. Sydney: Capital and Infrastructure Services Branch.
- Nyary, G.S. (1983). *Nutrient Losses in a Food Service Operation*. Sydney, Australia: University of New South Wales School of Food Technology.
- Nyati, H. (2000). An evaluation of the effect of storage and processing temperature on the microbiological status of *sous vide* extended shelf-life products. *Food Control*, 11, 471-476.
- Odake, S. (1996). Diffusion phenomena of substances in sous vide cooking. En *Proceedings of Second European Symposium on Sous Vide* (pp. 367-368). 10-12 Abril, Alma Universidad Restaurants/FAIR, Universidad de Leuven, Bélgica.
- Offer, G. (1984). Progress in the biochemistry, physiology and structure of meat. En *Proceeding of the 30<sup>th</sup> European meeting of meat research workers* (pp. 87). Bristol, Reino Unido.
- Ohlsson, T. (1977). Pasteurisation of meta, fish and conveniente food prodcuts. En W.K. Downey (editor), *Food Quality and Nutrition* (pp. 163-190). Londres: Applied Science.
- Ollinger-Snyder, P., El-Gazzar, F., Matthews, M.E., Marth, M.E., Marth, E.H., Unklesbay, N. (1995). Thermal destruction of *Listeria monocytogenes* in ground pork prepared with and without soy hulls. *Journal of Food Protection*, 58(5), 573-576.
- Orden Ministerial de 21 de febrero (1977) sobre Normas higiénico sanitarias para la instalación y funcionamiento de industrias dedicadas a la preparación y distribución de comidas para consumo en colectividades y medios de transporte. (BOE N°. 59 de 10 de marzo del 1977).
- Oseredczuk, M., Du Chaffaut, L., Ireland, J., Collet-Ribbing, Ch. (2003). Effect of preservation and transformation processes on the composition of fishes. En *Poster, Fifth International Food Data Conference*, Washington, DC.
- Palka, K., Daun, H. (1999). Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine *M. semitendinosus* during heating. *Meat Science*, 51, 237-243.
- Parry, R.T. (1993). Introduction. En R.T. Parry (editor), *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods* (pp. 1-18). Londres: Blackie Academic & Professional.
- Parry, R.T. (1995). Introducción. En R.T. Parry (editor), *Envasado de alimentos en atmósferas modificadas* (pp. 13-31). Madrid: Madrid Vicente.
- Pearce, T., Gardner, J. (1998). Predicting organoleptic scores of subppm flavour notes. Part 1. Theoretical and experimental details. Part 2. Computational analysis and results. *Analyst*, 123, 2047-2066.
- Peck, M.W., Fairbairn, D.A., Lund, B.M. (1992). The effect of recovery medium on the estimated heat-inactivation of spores of non-proteolytic *Clostridium botulinum*. *Letters in Applied Microbiology*, 15, 146-151.

- Pérez, M. Y Borderias, A.J. (1997). Nuevas tecnologías destinadas a prolongar el tiempo de conservación de los productos pesqueros refrigerados. *Alimentación, equipos y tecnología*, 1, 79-84.
- Petersen, M.A. (1993). Influence of sous vide processing, steaming and boiling on vitamin retention and sensory quality in broccoli florets. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung Forschung*, 197, 375-390.
- Pie, J.E., Spahis, K., Seillan, C. (1990). Evaluation of oxidative degradation of cholesterol in food and food ingredients- identification and quantification of cholesterol oxides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38, 973-979.
- Platter, W.J., Tatum, J.D., Belk, K.E., Chapman, P.L., Scanga, J.A., Smith, G.C. (2003). Relationships of consumer sensory ratings, marbling score, and shear force value to consumer acceptance of beef strip loin steaks. *Journal of Animal Science*, 81(11), 2741-2750.
- Poulsen, K.J. (1978). Vacuum-packaged cooked potatoes. En K. Paulus, S. Karger y P. Basel (editores), *How Ready are Ready-to-serve Foods?* (pp.138-146).
- Pring, A. (1986). Sous-vide: Boom or threat? *Caterer & Hotelkeeper*, 24 julio, 19.
- Quali, A. (1992). Proteolytic and physicochemical mechanism involved in meat texture development. *Biochimie*, 74(3), 251-265.
- Raharjo, S., Sofos, J.N. (1993). Methodology for measuring malonaldehyde as a product of lipid peroxidation in muscle tissues: a review. *Meat Science*, 35, 145-169.
- Raharjo, S., Sofos, J.N. (1993). Methodology for measuring malonaldehyde as a product of lipid peroxidation in muscle tissues: a review. *Meat Science*, 35, 145-169.
- Ray, B. (1994). Pediocins of *Pediococcus* species. En L. De Vuyst, y E.J. Bañadme (editores), *Bacteriocins of lactic acid bacteria* (pp. 465-496). Londres: Blackie Academy & Professional.
- Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, por el que se regula la remisión de información en materia de normas y reglamentaciones técnicas y reglamentos relativos a los servicios de la sociedad de la información. (BOE N°. 185 de 4 de septiembre de 1999).
- Real Decreto 142/2002, de 1 de febrero, por el que se aprueba la lista positiva de aditivos distintos de colorantes y edulcorantes para su uso en la elaboración de productos alimenticios, así como sus condiciones de utilización. (BOE N°. 44 de 20 de febrero del 2002).
- Real Decreto 2207/1995, de 28 de diciembre, por el que se establece las normas de higiene relativas a los productos alimenticios. (BOE N°. 50 de 27 de febrero de 1996).
- Real Decreto 2817/1983, de 13 de octubre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria de los comedores colectivos. (BOE N°. 270 de 11 de noviembre de 1983).
- Real Decreto 3139/1982, de 12 de noviembre, por el que se modifica la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de platos preparados (precocinados y cocinados). (BOE N°. 282 de 24 noviembre de 1982).

- Real Decreto 348/2001, de 4 de abril, por el que se regula la elaboración, comercialización e importación de productos alimenticios e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes. (BOE N°. 82 de 5 de abril de 2001).
- Real Decreto 3484/2000, 29 de diciembre, por el que se establecen las normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas. (BOE N°. 11 de 12 de enero de 2001).
- Real Decreto 512/1977, de 8 de febrero, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de platos preparados (precocinados y cocinados). (BOE N°. 79 de 2 de abril de 1977).
- Requena, J.A., Vanaclocha, A.C. (2004). Procesado térmico de alimentos en barquetas plásticas. Poster. *III Congreso Español de Ingeniería de Alimentos*, septiembre, Pamplona.
- Reuter, G. (1975). Classification problems, ecology and some biochemical activities of lactobacilli of meat products. En J.C. Can, C.V. Cutting y G.C. Whiting (editores), *Lactic acid bacteria in beverages and food* (pp. 221-229). Londres: Academic Press.
- Rhodes, M.E. (1991). Educating professionals and consumers about extended-shelf-life refrigerated foods. *Food Technology*, 45, 162-164.
- Robb, D. H. F., Kestin, S. C., Warris, G. R., Nute, G. R. (2002). Muscle lipid content determines the eating quality of smoked and cooked Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 205, 345-358.
- Roca, J., Brugués, S. (2004). La cocina al vacío. Barcelona: Montagud Editores, S.A.
- Roche. (1976). Vitamin Compendium. F. Hoffmann-La Roche, Basle, Suiza.
- Rodgers, S. (2007). Innovation in food service technology and its strategic role. *Hospitality Management*, 26, 899-912.
- Rodríguez, O., Barros-Velázquez, J., Piñeiro, C., Gallardo, J. M., Aubourg, S. P. (2006). Effects of storage in slurry ice on the microbial, chemical and sensory quality and on the shelf life of farmed turbot (*Psetta maxima*). *Food Chemistry*, 95, 270-278.
- Rosenquist, H., Smidt, L., Andersen, S.R., Jensen, G.B., Wilcks, A. (2005). Occurrence and significance of *Bacillus cereus* and *Bacillus thuringiensis* in ready-to-eat food. *FEMS Microbiology Letters*, 250, 129-136.
- Rowe, L.J., Maddock, K.R., O'Lonergan, S.M., Huff-Lonergan, E. (2004). Influence of early postmortem protein oxidation on beef quality. *Journal of Animal Science*, 82, 785-793.
- Rowe, R.W.D. (1989). Electron microscopy of bovine muscles: II – The effects of heat denaturation on post rigor sarcolemma and endomysium. *Meat Science*, 26, 281-294.
- Ruiz-Carrascal, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A. I., García, C. (2000). Texture and appearance of dry cured ham as affected by fat content and fatty acid composition. *Food Research International*, 33(2), 91-95.
- Rybka-Rodgers. (2001). Improvement of food safety design of cook-chill foods. *Food Research International*, 34, 449-455.

- Salam, Kh.I., Ahmed, A.M., Elgazzar, M.M., Eldaly, E.A. (2007). Chemical quality and sensory attributes of marinated Pacific saury (*Cololabis saira*) during vacuum-packaged storage at 4 °C. *Food Chemistry*, 102, 1061-1070.
- Saleh, M.A., Ordal, Z.J. (1955). Studies on growth and toxin production of *Clostridium botulinum* in a precooked frozen food. *Food Research*, 20, 340-350.
- Salfield, J.R. (1975). Acidity and alkalinity of foods. En *Experimental work in food science*. pp 57-58. Londres, Heineman Educational.
- Scarpa, J. (1988). Sous vide – fresh technology. *Restaurant Business*, 87(4), 1 Marzo, pp. 136, 138, 140.
- Schafheitle, J. M. (1990). The *sous vide* system for preparing chilled meals. *British Food Journal*, 92(5), 23-27.
- Schafheitle, J., Light, N. (1989). Technical note: sous vide preparation and chilled storage of chicken ballotine. *International Journal of food Science and Technology*, 24, 199-205.
- Schellenkens, M. (1996). New research issues in sous-vide cooking. *Trends in Food Science & Technology*, 7, 256-262.
- Schillinger, U., Geisen, R., Holzapfel, W.H. (1996). Potential of antagonistic microorganisms and bacteriocins for the biological preservation of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 7, 58-64.
- Schmidt, C.F., Lechowich, R.V., Folinazzo, J.F. (1961). Growth and toxin production by type E *Clostridium botulinum* below 40 °F. *Journal of Food Science*, 26, 626-630.
- Scott, V.N., Bernard, D.T. (1982). Heat resistance of non-proteolytic type B *Clostridium botulinum*. *Journal of Food Protection*, 45, 909-912.
- Scott, V.N., Bernard, D.T. (1985). The effect of lysozyme on the apparent heat resistance of nonproteolytic type B *Clostridium botulinum*. *Journal of Food Safety*, 7, 145-154.
- Scott, V.N., Taylor, S.L. (1981). Effect of nisin on the outgrowth of *Clostridium botulinum* spores. *Journal of Food Science*, 46, 117-120.
- SCVPH. (1999). Opinion of Scientific Committee on Veterinary Measures relating to Public Health on *Listeria monocytogenes*.
- Sergelidis, D., Abraham, A. (2008). Adaptive response of *Listeria monocytogenes* to heat and its impact on food safety. *Food Control*, disponible online.
- Sessions, P. (1987). Sensible *sous vide*. *Hospital Caterer*, mayo/junio, 14.
- Seyfert, M., Mancini, R.A., Hunt, M.C. (2004). Internation premature browning in cooked ground beef patties from high-oxygen modified-atmosphere packaging. *Journal of Food Science*, 69(9), C721-C725.
- Shamsuzzaman, K., Chuaqui-Offermans, N., Lucht, L., McDougall, T., Borsa, J. (1992). Microbiological and other characteristics of chicken breast meat following electron-beam and sous vide treatments. *Journal of Food Protection*, 55(7), 528-533.
- Shamsuzzaman, K., Lucht, L., Chuaqui-Offermans, N. (1995). Effects of combined electron beam irradiation and sous-vide treatments on microbiological and other qualities of chicken breast meat. *Journal of Food Protection*, 58(5), 497-501.

- Sheard, M., Church, I. (1992). *Sous Vide Cook-Chill*. Leeds: Leeds Polytechnic.
- Sheard, M.A., Rodger, C. (1995). Optimum heat treatments for “sous vide” cook-chill products. *Food Control*, 6(1), 53-56.
- Shewan, J.M., Macintosh, R.G., Tucker, C.G., Ehrenberg, A.S.C. (1953). The development of a numerical scoring system for the sensory assessment of the spoilage of wet fish stored in ice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 4, 283-298.
- Shixiong, B., Jing, X. (1990). Testing of home refrigerators and measures to improve their performance. IIR Commission B2, C2, D1, D273 Dresden, Paper 96.
- Simard, R.E., Lee, B.H., Laleye, C.L., Holley, R.A. (1983). Effects of temperature, light and storage time on microflora of vacuum- or nitrogen-packed frankfurters. *Journal of Food Protection*, 46, 199-205.
- Simpson, M.V., Smith, J.P., Dodds, K.L., Ramaswamy, H., Blachfield, B., Simpson, B.K. (1995). Challenge studies with *Clostridium botulinum* in a sous-vide spaghetti with meat sauce product. *Journal of Food Protection*, 58(3), 229-234.
- Simpson, M.V., Smith, J.P., Simpson, B.K., Ramaswamy, H., Dodds, K.L. (1994). Storage studies on a sous vide spaghetti and meat sauce product. *Food Microbiology*, 11, 5-14.
- Simpson, R., Carevic, E. (2004). Designing a modified atmosphere packaging system for foodservice portions on non-respiring foods: optimal gas mixture and food/headspace ratio. *Foodservice Research International*, 14(4), 257-272.
- Simunovic, J., Oblinger, J.L., Adams, J.P. (1985). Potential for growth of non-proteolytic types of *Clostridium botulinum* in pasteurised restructured meat products: a review. *Journal of Food Protection*, 48(3), 265-276.
- Sitz, B.M., Calkins, C.R., Feuz, D.M., Umberger, W.J., Eskridge, K.M. (2005). Consumer sensory acceptance and value of domestic, Canadian, and Australian grass-fed beef steaks. *Journal of Animal Science*, 83(12), 2863-2868.
- Skinner, G.E., Solomon, H.M., Fingerhut, G.A. (1999). Prevention of *Clostridium botulinum* type A, proteolytic B and E toxin formation in refrigerated pea soup by *Lactobacillus plantarum* and ATCC 8014. *Journal of Food Science*, 64(4), 724-727.
- Smith, D.B., Fullum-Bouchard, L. (1990). Comparative nutritional, sensory and microbiological quality of a cooked chicken menu item produced and stored by cook/chill, cook/freeze and sous vide cook/chill methods. Poster presentado en *Canadian Dietetic Association Annual Conference* (pp. 6), 7 junio.
- Smith, D.M., Álvarez, V.B. (1988). Stability of vacuum cook-in-bag turkey breast rolls during refrigerated storage. *Journal of Food Science*, 53(1), 46-49.
- Smith, J.P. (1992). *MAP Packaging of Food – Principles and Applications* (pp. 134-169). Londres: Academic and Professional.
- Smith, J.P., Simpson, B.K. (1995). Modified Atmosphere Packaging of Bakery and Pasta Products. En J.M. Farber y K.L. Dodds (editores), *Principles of Modified-Atmosphere and Sous Vode Product Packaging* (pp.209-216). Lancaster, Pennsylvania.

- Smith, L.D.S., Hobbs, G. (1974). Genus III *Clostridium* Prazmowski 1880, 23. En R.E. Buchanan y N. E. Gibbons (editores), *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 8ª edición (pp. 551-572). Baltimore: Williams y Wilkinson, Baltimore.
- Smith, L.L. (1981). Cholesterol Autoxidation. *Plenum Press*, Nueva York.
- Sofos, J.N. (1993). Current microbiological considerations in food preservation. *International Journal of Food Microbiology*, 19, 87-108.
- Sommers, C., Fan, X., Niemira, B., Rajkowski, K. (2004). Irradiation of ready-to-eat foods at USDA. *Radiation Physics and Chemistry*, 71, 509-512.
- St. Angelo, A.J. (1996). Lipid oxidation in foods. *Critical Reviews in Food Sciecne and Nutrition*, 36(3), 175-224.
- St. Angelo, A.J., Vercellotti, J.R., Dupuy, H.P., Spanier, A.M. (1988). Assessment of beef flavor quality: a multidisciplinary approach. *Food Technology*, 42(6), 133-138.
- St. Angelo, A.J., Vercellotti, J.R., Legrende, M.G., Vinnett, C.H., Kuan, J.W., James Jr., C., Dupuy, H.P. (1987). Chanical and instrumental analysis of warmed-over falvor in beef. *Journal of Food Science*, 52(5), 1163-1168.
- Stabursvik, E., Martens, H. (1980). Thermal denaturation of proteins in post rigor muscle tissue as studied by differential scanning calorimetry. *Journal of Science Food and Agriculture*, 31, 1034-1042.
- Stapelfedt, H., Bjorn, H., Skovgaard, I.M., Skibsted, L.H., Bertelsen, G. (1992). Warmed-over-flavour in cooked sliced beef. Chemical Analysis in relation to sensory evaluation. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 195, 203-208.
- Stapelfeldt, H., Bjorn, H., Skibsted, L.H., Bertelsen, G. (1993). Effect of packaging and storage conditions on development of warmed-over flavour in sliced, cooked meat. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung Forschung*, 196, 131-136.
- Stiles, M.E. (1991). Scientific principles of controlled/modified atmosphere packaging. En B. Ooraikul, M.E. Stiles (editores), *Modified Atmosphere Packaging of Food* (pp. 18-25). Nueva York: Ellis Horwood.
- Stiles, M.E. (1996). Biopreservation by lactic acid bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 70, 331-345.
- Stites, C.R., McKeith, F.K., Bechtel, P.J., Carr, T.R. (1989). Palatability and storage characteristics of precooked beef roasts. *Journal of Food Science*, 54(1), 3-6.
- Stringer, S.C. Peck, M.W. (1999). The effect of heat treatment and organic acid on probability of growth and time to growth from spores of non-proteolytic (psychrotrophic) *Clostridium botulinum* at 10°C. En *Procceding Third European Symposium on Sous Vide* (pp. 223-230). Leuven, Bélgica: Alma Sous Vide Competence Centre.
- Stumbo, C.R. (1973). *Thermobacteriology in Food Processing*, 2ª edición. Nueva York: Academic Press.
- Sun, D.-W., Wang, L. (2001). Vacuum cooling. En D.-W. Sun (editor), *Advances in food refrigeration* (pp. 264-304). Randalls Road, Leatherhead, Surrey KT22 7RY, Reino Unido: Leatherhead Publishing, LFRA Ltd.



- Sungpuag, P., Tangchitpianvit, S., Chittchang, U., Wasantwisut, U. (1999). Retinol and  $\beta$ -carotene content of indigenous raw and home-prepared foods in Northeast Thailand. *Food Chemistry*, 64, 163-167.
- SVAC. (1991). Codes of practice for *sous vide* catering systems.
- Swientet, R.J. (1989). *Sous vide* – refrigerated upscale food in a vacuum pouch. *Food Process*, 51, 34, 36, 38-40.
- Szczesniak, A.S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13: 215-225.
- Szczesniak, A.S., Brandt, M.A., Friedman, H.H. (1963). Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and sensory methods of texture evaluation. *Journal of Food Science*, 28, 397-403.
- Tang, S., Kerry, J.P., Sheehan, D., Buckley, D.J., Morrissey, P.A. (2001). Antioxidative affect of added tea catechins on susceptibility of cooked red meat, poultry and fish patties to lipid oxidation. *Food Research International*, 34, 651-657.
- Tansey, F.S., Gormley, T.R., Bourke, P., O’Beirne, D., Oliveira, J.C. (2003). Texture, quality and safety of *sous vide* frozen foods. En J.S.A. Edwards y I.B. Gustafsson (editores), *Culinary arts and sciences IV: global and national perspectives* (pp. 199-207). Reino Unido: Bournemouth University.
- Tarladgis, B.G., Watts, B.M. (1960). Malonaldehyde production during the controlled oxidation of pure unsaturated fatty acids. *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, 37, 403-406.
- Tewari, G., Jayas, D.S., Holley, R.A. (1999). High pressure processing of foods: An overview. *Sicences des Aliments*, 19, 619-661.
- Thayer, D.W., Boyd, G., Kim, A., Fox, J.B., Farrell, H.M. (1998). Fate of gamma-irradiated *Listeria monocytogenes* during refrigerated storage on raw or cooked turkey breast meat. *Journal of Food Protection*, 61(8), 979-987.
- Tims, M.J., Watts, B.M. (1958). Protection of cooked meats with phosphates. *Food Technology*, 12(5), 240-243.
- Tjomb, P. (1990). Cuisson *sous vide* soft ou hard. *Revue Industries Agro-Alimentaires*, 441, 30-31.
- Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70, 493-508.
- Tornberg, E., Andersson, K., Josell, A. (1997). The rheological properties of whole and minced meat during cooking as related to sensory and structural characteristics. En *Proceedings of the 1st international symposium on food rheology and structure*, 16-20/3, Zurich.
- Torrey, G.S., Marth, E.E. (1977). Temperatures in home refrigerators and mould growth at refrigeration temperatures. *Journal of Food Protection*, 40, 393-397.
- Turchini, G. M., Mentasti, T., Froyland, L., Orban, E., Caprino, F., Moretti, V. M., Valfré, F. (2003). Effects of alternative dietary lipid sources on performance, tissue chemical composition, mitochondrial fatty acid oxidation capabilities and sensory characteristics in brown trout (*Salmo trutta L.*). *Aquaculture*, 225, 251-267.

- Turner, B.E., Foegeding, P.M., Larick, D.K., Murphy, A.H. (1996). Control of *Bacillus cereus* and spoilage microflora in sous-vide chicken breast. *Journal of Food Science*, 61(1), 217-234.
- Turner, B.E., Larick, D.K. (1996). Palatability of sous vide processed chicken breast. *Poultry Science*, 75(8), 1056-1063.
- Ultee, A., Kets, E.P.W., Smid, E.J. (1999). Mechanisms of action of carbacrol on the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(10), 4606-4610.
- UNE 87005 (1992). Análisis sensorial. Prueba de comparación por parejas (ISO 5495:1983). Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Tomo 1. Alimentación. Recopilación de Normas UNE. pp.75-81.
- UNE 87006 (1992). Análisis sensorial. Metodología. Prueba triangular (ISO 4120:1983). Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Tomo 1. Alimentación. Recopilación de Normas UNE. pp.82-91.
- UNE 87010 (1992). Análisis sensorial. Metodología. Prueba dúo-trío (ISO 10399:1991). Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Tomo 1. Alimentación. Recopilación de Normas UNE. pp.112-119.
- UNE 87024-1 (1995). Análisis sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y control de jueces. Parte 1: Catadores (ISO 8586-1:1993). Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Tomo 1. Alimentación. Recopilación de Normas UNE. pp.216-240.
- UNE 87024-2 (1996). Análisis sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y control de jueces. Parte 1: Expertos (ISO 8586-1:1993). Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Tomo 1. Alimentación. Recopilación de Normas UNE. pp.241-248.
- Unger, H. (1985). Microwaveable packs and boil in the bag pouches. *Food Processing*, 54(9), 31-33.
- Vallejo, F., Tomás-Barberán, F.A., García-Viguera, C. (2002). Glucosinolates and vitamin C content in edible parts of broccoli florets after domestic cooking. *European Food Research and Technology*, 215, 310-316.
- van Netten, P., van de Moosdijk, A., van Hoensel, P., Mossel, D.A.A., Perales, I. (1990). Psychrotrophic strains of *Bacillus cereus* producing enterotoxin. *Journal of Applied Bacteriology*, 69, 73-79.
- Vargas, F.E., Villanueva, O.M.T., Marquina, D.A. (1995). Influences of cooking on hydrosoluble vitamins in cabbage: cabbage y cauliflower I. Thiamin and riboflavin. *Alimentaria*, 261, 111-117.
- Vaudagna, S.R., Sánchez, G., Neira, M.A., Insani, E.M., Picallo, A.B., Gallinger, M.M., Lasta, J.A. (2002). Sous vide cooked beef muscles: effects of low temperature-long time (LT-LT) treatments on their quality characteristics and storage stability. *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 425-441.
- von Holy, A., Cloete, T.E., Dykes, G.A. (1991). Quantification and characterization of microbial populations associated with spoiled, vacuum-packed Vienna sausages. *Food Microbiology*, 8, 95-104.

- von Holy, A., Holzapfel, W.H. (1989). Spoilage of vacuum packaged processed meats by lactic acid bacteria, and economic consequences. En *Proceeding of the 10<sup>th</sup> International Symposium of the World Association of Veterinary Food Hygienists* (pp. 185-190). Stockholm.
- Walker, S.J., Archer, P., Banks, J.G. (1990). Groth of *Listeria monocytogenes* at refrigeration temperatures. *Journal of Applied Bacteriology*, 68(2), 157.
- Wang, S. H., Chang M. H., Chen T.C. (2004). Shelf-life and microbiological profiler of chicken wing products following *sous vide* treatment. *International Journal of Poultry Science*, 3(5), 326-332.
- Ward, S.M., Delaquis, P.J., Holloy, R.A., Mazza, G. (1998). Inhibition of spoilage and pahotgenic bacteria on agar and precooked roast beef by volatile horse eadish distillates. *Food Research International*, 31(1), 19-26.
- Warner, K.F. (1928). Progress report of the mechanical test for tenderness of meat. *Proc. Am. Soc. Anim. Prod.*, 114-116.
- Watier, B. (1988). L'incidence des nouveaux porcédés sur les teneurs en vitamines des aliments. *Information Diététique*, 3, 33-38.
- Watier, B., Belliot, J.P. (1991). Vitamines et Technologie Industrielle Récente. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 26(1), 23-26.
- White, F.D., Resureccion, A.V.A., Lillard, D.A. (1988). Effects of warmed-over flavor on consumer acceptance and purchase or precooked top round steaks. *Journal of Food Science*, 53, 1251-1252, 1257.
- Winkowski, K., Crandall, A.D., Montville, T.J. (1993). Inhibition of *Listeria monocytogenes* by *Lactobacillus bavaricus* MN in beef systems at refrigerated temperatures. *Applied Environmental Microbiology*, 59(8), 2552-2557.
- Wong, H.C., Chen, Y.L. (1988). Effects of lactic acid bacteria and organic acids on growth and germination of *Bacillus cereus*. *Applied Enviromental Bacteriology*, 54(9), 2179-2184.
- Wood, M.A., Collings, A.R., Stodola, V., Burgoin, A.M., Fenton, F. (1946). Effect of large-scale food preparation on vitamin retention: cabbage. *Journal American Dietetic Association*, 22, 677-682.
- Wright, D.J., Leach, I.B., Wilding, P. (1977). Differential scanning calorimetric studies of muscle and its constituents. *Journal of Science Food and Agriculture*, 28, 557.
- Xiong, Y.L. (1996). Impacts of oxidation on muscle protein functionality. En *Proceeding 49<sup>th</sup> reciprocal meat conference* (pp. 79-86), 9-12 Junio, Provo, Utah, EEUU.
- Yano, Y., Kataho, N., Watanabe, M., Nakamura, T. (1995). Changes in the concentration of biogenic amines and application of tyramine sensor during storage of beed. *Food Chemistry*, 54, 155-159.
- Zhang, Z., Sun, D.W. 2006<sup>a</sup>. Effects of cooling methods on the cooling efficiency and quality of cooked rice. *Journal of Food Engineering*, 77, 269-274.
- Zhang, Z., Sun, D.W. 2006<sup>b</sup>. Effects of cooling methods on the cooling efficiency and quality of cooked brocoli and carrot slices. *Journal of Food Engineering*, 77, 320-326.