

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS Y DEL EQUIPAMIENTO  
AGRÍCOLA**

**INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN LA CONSERVACIÓN DE MELÓN Y TOMATE  
PROCESADO EN FRESCO**

**TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN FRESH-CUT MELON AND TOMATO**

**ENCARNACIÓN AGUAYO GIMÉNEZ**

**2003**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS Y DEL EQUIPAMIENTO  
AGRÍCOLA**

**INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN LA CONSERVACIÓN DE MELÓN Y TOMATE  
PROCESADO EN FRESCO**

**Tesis Doctoral**

Trabajo presentado por Encarnación Aguayo Giménez, Ingeniera Agrónoma, para aspirar al Grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Cartagena.

**Dirigida por**

**PROF. DR. FRANCISCO ARTÉS CALERO**

**Cartagena, 2003**

*A mis padres*

## AGRADECIMIENTOS

A Francisco Artés Calero le agradezco la oportunidad de realizar mi tesis doctoral bajo su dirección, brindándome la oportunidad de continuar mi formación. Por su confianza en los jóvenes y apoyo en el trabajo.

A mi gran amigo Víctor Escalona Contreras, quien me dedicó su tiempo y apoyo compartiendo el trabajo diario, por su sinceridad y buen corazón, humor y, sobre todo, calor humano. Gracias hermano por mantener la ilusión del primer día.

Deseo agradecer a Ana Allende y Francisco Artés Hernández su alegría, optimismo y animarme ante los problemas. A Perla Azucena Di Marco por poner el alma en lo que hace, por las traducciones, por su ayuda.

Quiero destacar a Mercedes Almagro y Ginés Marín por sus gratas conversaciones, consejos, disposición y cariño.

A Ángel Gil y Antonio Pérez por compartir su simpatía e ilusión. A Rafael Llorach por buscar soluciones y nunca culpables. A Fernando Vallejo, Juan Antonio Tudela, Raquel Villaescusa y M<sup>a</sup> Ángeles Conesa, quienes me mostraron su profesionalidad y devoción por la investigación. A Emma Cantos, Carlos Alcaráz, M<sup>a</sup> Carmen Barba y Mercedes Pedreño por compartir sus gratos desayunos. A Youseff por compartir tu verano con nosotros y el cromatógrafo.

A Carlos Alcaraz, Micaela Carvajal, Félix Romojaro, Francisco Tomás Barberán, Federico Ferreres, Pepe Hernández, Paula Periago, María Isabel Gil y Pedro Segura por sus aportes científicos y calidad humana.

Al personal del CEBAS-CSIC, muy especialmente a Carolina Ruiz, M<sup>a</sup> Dolores Gómez, Gonzalo Gallardo, Toñi González, Matilde Ros, Federico Serrano y Carmen Maciá, por vuestra excelente atención y disposición.

Al Dpto. de Ingeniería de Alimentos y Equipamiento Agrícola de la Escuela de Agrónomos de la UPCT, y en especial, a José Miguel Molina, M<sup>a</sup> Dolores García, Arturo Esnoz, Alfredo Palop, Pablo Escámez, Juan Pablo Fernández, Juan Antonio Martínez y Fermín Moreno, por vuestra cordialidad, apoyo y profesionalidad.

Mariano Otón, Violeta, Mar, May por hacer la vida en el sótano más agradable. A Javier Oswaldo y Andrés Conesa por los comienzos juntos.

Al SAIT, en especial a María Belén Rodríguez, Isidro Iborra y Luis Alberto Alcolea por su colaboración en la determinación de ácidos orgánicos y microscopía electrónica.

A Juan Antonio de la UPCT Y a José Antonio por cederme y enseñarme el manejo del espectrofotómetro.

Al Centro de Capacitación Agraria de Molina de Segura, en especial, a José Rosauero y Fernando Miñano por permitirme realizar los ensayos de ozono con vuestros equipos.

A Juan Giménez de la Oficina Comarcal Agraria de Lorca y a Wadi y Francisco Rodríguez de Frucca CFM y SAT Durán, por el suministro de la materia prima utilizada en esta Tesis. A Rafael Cuquerella en representación de Plásticos del Segura por la facilitación de sus bobinas plásticas. A Ángel Serrano de Cosemar Ozono por facilitarme información.

A los cubanos José D'Amico y Daymi, a los chilenos Dino Figueroa y Mónica Valdenegro, a Paqui Tovar, Miguel González, Joso Ferre y Javier Martínez, por vuestra simpatía y apoyo.

A mis amigos de Cieza por todos sus ánimos. A los futuros doctores Eva Gómez y Jorge Marimón, ya queda menos.

A mis hermanos Antonio, Maribel, Cristina, David y Carmen por estar ahí, por ser una familia, por los ánimos y apoyo, por hacerme las cosas de casa, ya no tendré excusa. A mi hermana Luisa por su esfuerzo y devoción por la música, compartiendo sus noches de estudio con la redacción de esta Tesis.

A mis padres por la fuerza, optimismo, apoyo, comprensión recibida durante toda mi vida. Ellos me han dado continuos ánimos y calor en mis días más fríos. Gracias por estar cerca, por estar ahí. En definitiva, a toda mi familia, y, cómo no, a mis sobrinos Isabel y Antonio, por enseñarme que la vida es mucho más que la investigación.

## ÍNDICE GENERAL

	Pag
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	i
<b>RESUMEN</b>	xii
<b>ABSTRACT</b>	xiv
<b>ÍNDICE DE ABREVIATURAS</b>	xvi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1. Productos procesados en fresco</b>	2
<b>2. Distribución e importancia económica</b>	3
2.1. Productos procesados en fresco	3
2.1.1. Distribución de los productos procesados en fresco en EEUU y Europa	3
2.1.2. Distribución de los productos procesados en fresco en España	
2.2. Productos enteros	7
2.2.1. Tomate	7
2.2.2. Melón	8
<b>3. Generalidades sobre el producto entero</b>	10
3.1. Melón	10
3.2. Tomate	11
<b>4. Preparación de un producto procesado en fresco</b>	12
4.1. Generalidades	12
4.2. Procesado	14
4.2.1. Selección y clasificación	14
4.2.2. Lavado del material entero	14
4.2.3. Pelado y cortado	14
4.2.4. Lavado	16
4.2.5. Lavado de enjuague	18
4.2.6. Post-baño	19

4.2.7. Secado y envasado	19
4.3. Comercialización y expedición	20
<b>5. Fisiología de un producto procesado en fresco</b>	<b>21</b>
5.1. Inducción en la síntesis de etileno	22
5.2. Aumento en la tasa respiratoria	24
5.3. Pardeamiento	26
5.4. Firmeza y deshidratación	27
5.5. Microbiología	30
5.6. Vitrescencia	33
<b>6. Mecanismos para el control de la calidad de productos procesados</b>	<b>34</b>
6.1. Temperatura	35
6.1.1. Daños por frío	36
6.1.1.1. Daños por frío en melón	37
6.1.1.2. Daño por frío en tomate	38
6.2. Modificación de la atmósfera	39
6.2.1. Efectos de la atmósfera en la fisiología del fruto	39
6.2.1.1. Generalidades	39
6.2.1.2. Efecto en la respiración	40
6.2.1.3. Efecto en la temperatura	43
6.2.1.3.1. Efecto en los daños por frío	44
6.2.1.4. Efecto en la emisión y sensibilidad de etileno	44
6.2.1.5. Efecto en los microorganismos	45
6.2.1.6. Efecto en la humedad relativa	46
6.2.2. Envasado en atmósfera modificada (EAM)	46
6.2.2.1. Fundamento	46
6.2.2.2. Diseño	47
6.2.2.3. Polímeros plásticos	50
6.2.3. Atmósfera controlada (AC)	52
6.3. Tratamiento cálcicos para mejorar la firmeza	53
6.4. Ozono	56

<b>7. Calidad nutritiva</b>	63
<b>8. Calidad y vida útil</b>	64
<b>II. INTERÉS Y OBJETIVOS</b>	67
<b>1. Interés y objetivos</b>	68
1.1. Interés	68
1.2. Objetivos	68
1.2.1. Objetivos generales	68
1.2.2. Objetivos específicos	68
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	69
<b>1. Material vegetal, procesado y montajes</b>	70
1.1. Material vegetal	70
1.2. Procesado	70
1.3. Montajes específicos	72
<b>2. Determinaciones analíticas</b>	74
2.1. Determinación de la tasa respiratoria y emisión de etileno	74
2.2. Determinación de la composición gaseosa en EAM	76
2.3. Análisis sensorial	76
2.4. Firmeza	77
2.5. Determinación del calcio libre, fijado y total	77
2.6. Color	79
2.7. Atributos químicos (SST, AT y pH)	79
2.8. Contenido en azúcares y ácidos orgánicos	80
2.9. Pérdidas de peso y volumen de exudación	81
2.10. Contenido en volátiles (etanol, acetaldehído y etil acetato)	81
2.11. Análisis microbiológico	81
2.12. Análisis estadístico	82
<b>3. Aclaraciones sobre la presentación de los resultados</b>	82

<b>IV. RESULTADOS, DISCUSIONES Y CONCLUSIÓN</b>	<b>83</b>
<b>Capítulo 1.</b> Influencia del tipo de corte y temperatura sobre el comportamiento fisiológico y la calidad de diferentes tipos varietales de melón procesado en fresco	85
1.1. Introducción	85
1.2. Materiales y métodos	86
1.2.1. Material vegetal	86
1.2.2. Preparación de la muestra	86
1.2.3. Determinaciones	87
1.3. Resultados y discusión	88
1.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno	88
1.3.2. Eficiencia de los distintos tipos de procesado	97
1.3.3. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos	99
1.3.3.1. Firmeza	99
1.3.3.2. Evaluación sensorial	104
1.3.3.3. Color	108
1.3.3.4. SST, pH y AT	113
1.3.3.5. Pérdidas de peso	115
1.3.3.6. Azúcares	116
1.3.3.7. Comparación entre calidad melón entero y procesado en fresco	118
1.4. Conclusiones	119
<b>Capítulo 2.</b> Influencia de la atmósfera controlada en el comportamiento fisiológico y en la evolución de la calidad de melón	121
2.1. Introducción	121
2.2. Materiales y métodos	122
2.2.1. Material vegetal	122
2.2.2. Preparación de la muestra	122
2.2.3. Determinaciones	122
2.3. Resultados y discusión	123
2.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno	123
2.3.2. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos	127

2.3.2.1. Evaluación sensorial	127
2.3.2.2. Firmeza	130
2.3.2.3. Color	132
2.3.2.4. Pérdidas de peso	133
2.3.2.5. SST y azúcares	134
2.3.3.6. pH, AT y ácidos orgánicos	136
2.3.3. Análisis microbiológico	139
2.3.4. Vida útil	141
2.4. Conclusiones	141
<b>Capítulo 3. Elección del tipo de plástico idóneo en la conservación de melón procesado en fresco a 5°C</b>	142
3.1. Introducción	142
3.2. Materiales y métodos	143
3.2.1. Material vegetal	143
3.2.2. Preparación de la muestra	144
3.2.2.1. Materia prima	144
3.2.2.2. Envasado en atmósfera modificada	144
3.2.2.2.1. Diseño del envase	144
3.2.2.2.2. Envasado	147
3.2.3. Determinaciones	148
3.3. Resultados y discusión	148
3.3.1. Tasa respiratoria	148
3.3.2. Composición gaseosa de las tarrinas	149
3.3.3. Evaluación sensorial y parámetros físicoquímicos	151
3.3.3.1. Evaluación sensorial	151
3.3.3.2. Firmeza	154
3.3.3.3. Deshidrataciones y pérdidas de peso	155
3.3.3.3. Color	155
3.3.3.5. SST, pH y AT	158
3.3.4. Análisis microbiológico	160
3.4. Conclusiones	162

<b>Capítulo 4.</b> Influencia de la composición gaseosa en la evolución de la calidad de melón procesado en fresco a 0°C	163
4.1. Introducción	163
4.2. Materiales y métodos	163
4.2.1. Material vegetal	163
4.2.2. Preparación de la muestra	163
4.2.2.1. Materia prima	164
4.2.2.2. Envasado en atmósfera modificada	164
4.2.3. Determinaciones	165
4.3. Resultados y discusión	166
4.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno	166
4.3.2. Composición gaseosa de las tarrinas	167
4.3.3. Evaluación sensorial y parámetros físicoquímicos	168
4.3.3.1. Evaluación sensorial	168
4.3.2.2. Firmeza	171
4.3.2.3. Color	172
4.3.2.4. SST y azúcares	174
3.2.5. pH, AT y ácidos orgánicos	176
4.3.4. Análisis microbiológico	177
4.4. Conclusiones	179
<b>Capítulo 5.</b> Estudio de la aplicación de cloruro cálcico a dos temperaturas sobre la calidad y el ablandamiento de melón	180
5.1. Introducción	180
5.2. Materiales y métodos	182
5.2.1. Material vegetal	182
5.2.2. Preparación de la muestra	182
5.2.3. Determinaciones	182
5.3. Resultados y discusión	184
5.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno	184
5.3.2. Composición gaseosa de las tarrinas	187
5.3.3. Evaluación sensorial y parámetros físicoquímicos	188
5.3.3.1. Evaluación sensorial	188
5.3.2.2. Firmeza y retención de calcio	190

5.3.2.3. Color	196
5.3.2.4. SST y azúcares	199
5.3.2.5. pH, AT y ácidos orgánicos	200
5.3.4. Análisis microbiológico	202
5.4. Conclusiones	204
<b>Capítulo 6.</b> Estudio de la aplicación de distintas sales cálcicas sobre la calidad y el ablandamiento de melón procesado en fresco	205
6.1. Introducción	205
6.2. Materiales y métodos	207
6.2.1. Material vegetal	207
6.2.2. Preparación de la muestra	207
6.2.3. Determinaciones	208
6.3. Resultados y discusión	209
6.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno	209
6.3.2. Composición gaseosa de las tarrinas	211
6.3.3. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos	211
6.3.3.1. Evaluación sensorial	211
6.3.3.2. Firmeza y retención de calcio	214
6.3.3.3. Color	218
6.3.3.4. SST y azúcares	221
6.3.3.5. pH, AT y ácidos orgánicos	222
6.3.4. Análisis microbiológico	223
6.4. Conclusiones	225
<b>Capítulo 7.</b> Influencia de la aplicación de lavados ozonizados sobre la calidad y microbiología de melón procesado en fresco	226
7.1. Introducción	226
7.2. Materiales y métodos	227
7.2.1. Material vegetal	227
7.2.2. Preparación de la muestra	228
7.2.3. Determinaciones	229
7.3. Resultados y discusión	229
7.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno	229

7.3.2. Composición gaseosa de las tarrinas	232
7.3.3. Evaluación sensorial y parámetros físicoquímicos	233
7.3.3.1. Evaluación sensorial y firmeza	233
7.3.2.2. Color	236
7.3.2.3. SST y azúcares	238
7.3.2.4. pH, AT y ácidos orgánicos	241
7.3.4. Análisis microbiológico	242
7.4. Conclusiones	247
<b>Capítulo 8.</b> Influencias de la atmósfera controlada en el comportamiento fisiológico y en la evolución de la calidad de tomate	249
8.1. Introducción	249
8.2. Materiales y métodos	249
8.2.1. Material vegetal	249
8.2.2. Preparación de la muestra	250
8.2.3. Determinaciones	251
8.3. Resultados y discusión	252
8.3.1. Tasa respiratoria en aire	252
8.3.2. Emisión de etileno	253
8.3.2.1. En aire	253
8.3.2.2. En AC	254
8.3.3. Evaluación sensorial y parámetros físicoquímicos	256
8.3.3.1. Evaluación sensorial	256
8.3.2.2. Color, pérdidas de peso y volumen de exudación	260
8.3.2.3. SST, azúcares, AT y pH	263
8.3.2.4. Volátiles	264
8.3.4. Análisis microbiológico	267
8.4. Conclusiones	269
<b>Capítulo 9.</b> Estudio de la elección del tipo de plástico idóneo y la influencia de la composición gaseosa en la evolución de la calidad de tomate procesado en fresco a 0 y 5°C	271
9.1. Introducción	271
9.2. Materiales y métodos	271

9.2.1. Material vegetal	271
9.2.2. Envasado en atmósfera modificada	271
9.2.2.1. Diseño del envase	271
9.2.3. Envasado	273
9.2.4. Determinaciones	276
9.3. Resultados y discusión	276
9.3.1. Composición gaseosa	276
9.3.1.1. Evolución de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub>	276
9.3.1.2. Evolución de etileno	279
9.3.3. Evaluación sensorial y parámetros físicoquímicos	281
9.3.3.1. Evaluación sensorial	281
9.3.2.2. Color, SST, AT y pH	285
9.3.2.3. Volumen de exudación y pérdidas de peso	289
9.3.4. Análisis microbiológico	289
9.4. Conclusiones	292
<b>Capítulo 10.</b> Estudio y caracterización de dieciséis variedades de tomate sobre su aptitud frente al procesado en fresco y posterior conservación	293
10.1. Introducción	293
10.2. Materiales y métodos	294
10.2.1. Material vegetal	294
10.2.2. Preparación de la muestra	294
10.2.3. Determinaciones	295
10.3. Resultados	296
10.3.1. Características comerciales	296
10.3.2. Firmeza	298
10.3.3. Color epidermis	298
10.3.4. Composición gaseosa	299
10.3.5. Evaluación sensorial	299
10.3.6. Color zumo y volumen de exudación	301
10.3.7. SST, AT, IM y pH	302
10.3.8. Aptitud para el procesado	304
10.4. Conclusiones	305

<b>Capítulo 11.</b> Influencia de la aplicación de lavados ozonizados sobre la calidad y microbiología de tomate procesado en fresco	307
11.1. Introducción	307
11.2. Materiales y métodos	307
11.2.1. Material vegetal	307
11.2.2. Preparación de la muestra	308
11.2.3. Determinaciones	309
11.3. Resultados y discusión	310
11.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno	310
11.3.2. Composición gaseosa de las tarrinas	312
11.3.3. Evaluación sensorial y parámetros físicoquímicos	312
11.3.3.1. Evaluación sensorial	312
11.3.3.2. Firmeza y color del zumo	314
11.3.3.3. SST y azúcares	316
11.3.3.4. pH, AT y ácidos orgánicos	318
11.3.4. Análisis microbiológico	320
11.4. Conclusiones	323
<b>Capítulo 12.</b> Estudio de la influencia a la exposición cíclica de ozono sobre el comportamiento fisiológico y la calidad y microbiología de tomate procesado en fresco	325
12.1. Introducción	325
12.2. Materiales y métodos	325
12.2.1. Material vegetal	326
12.2.2. Preparación de la muestra	326
12.2.3. Determinaciones	327
12.3. Resultados y discusión	328
12.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno	328
12.3.3. Evaluación sensorial y parámetros físicoquímicos	335
12.3.3.1. Evaluación sensorial	335
12.3.3.2. Firmeza y color del zumo	337
12.3.3.3. SST y azúcares	339
12.3.3.4. pH, AT y ácidos orgánicos	341
12.3.4. Análisis microbiológico	342

12.4. Conclusiones	346
<b>V. CONCLUSIONES GENERALES</b>	347
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA</b>	352
<b>TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN DERIVADOS DE LA PRESENTE TESIS DOCTORAL</b>	396



## RESUMEN

Los cambios socioculturales de los últimos años han multiplicado la demanda de alimentos naturales frescos, nutritivos, ya preparados y de consumo fácil y rápido como las frutas y hortalizas mínimamente procesadas en fresco. En este ámbito, las grandes zonas productoras del arco mediterráneo español, donde existe una potente y competitiva agricultura, consideramos que disponen de excelentes oportunidades para elaborar este nuevo tipo de productos.

El tomate y el melón, son dos cultivos de gran relevancia en dichas zonas, con importantes cualidades para ser procesados en esta modalidad. Sin embargo, hasta nuestros trabajos, se conocía poco acerca del comportamiento fisiológico y bioquímico de ambos productos una vez procesados en fresco, así como, sobre las técnicas idóneas para asegurar al consumidor unos elaborados con óptima calidad tanto sensorial como microbiológica. Por ello, se ha considerado de interés el estudio de técnicas combinadas, en la estrategia de la tecnología de barreras frente a la alteración, como la aplicación de atmósferas controladas (AC) y envasado en atmósfera modificada (EAM) pasivo o activo, con el concurso de coadyuvantes innovadores como la ozonización y los baños cálcicos para preservar la calidad y prolongar la vida útil de los elaborados. Todos los estudios se efectuaron a temperaturas de refrigeración (0 y/ó 5°C) para reducir la intensa actividad metabólica que manifiestan tras el procesado.

Inicialmente, se determinaron las actividades respiratorias y las emisiones de  $C_2H_4$  de distintos tipos varietales (Galia, Cantaloupe, Amarillo y Piel de Sapo en melón, y hasta 16 variedades en tomate), procesados en diferentes formatos y a las citadas temperaturas, seleccionando aquellos con mejor aptitud para el procesado en fresco, el melón Amarillo y el tomate Thomas (de larga duración). A continuación, se estudió el comportamiento de ambos frutos en AC para seleccionar la atmósfera idónea y posteriormente generarla a través de un EAM diseñado específicamente. Además, por la elevada susceptibilidad de los productos procesados a la contaminación microbiológica y al ablandamiento, se ensayaron la aplicación de  $NaClO$  y  $O_3$  (como agente alternativo al cloro por los riesgos que entraña para los consumidores alérgicos) y la adición de sales cálcicas y ácido cítrico que permitan limitar ambos fenómenos.

Se ha estudiado la calidad de estos productos durante su conservación, a través de la evolución de parámetros físicos (color, firmeza y pérdida de peso), químicos (contenido en sólidos solubles, pH, acidez, azúcares y ácidos orgánicos), microbiológicos (bacterias mesófilas y psicrotrofas, mohos y levaduras), presencia de alteraciones y atributos sensoriales (apariencia, textura, sabor, aroma y calidad global). Igualmente se ha estudiado el rendimiento en el

procesado de ambos frutos, para distintos tipos de corte (tajadas, cilindros y secciones en melón, y rodajas y cascos en tomate).

Entre los principales resultados destacan los siguientes. Se ha cuantificado el incremento de la actividad respiratoria y emisión de  $C_2H_4$  durante el estrés de herida, que indujo cada tipo de procesado respecto al producto entero. Se ha confirmado que la calidad de ambos productos procesados dependió estrechamente de la temperatura utilizada y de la duración de la conservación. A  $5^\circ C$ , la actividad metabólica fue entre 1,5 y 2,4 veces superior a la correspondiente a  $0^\circ C$ . La conservación a esta temperatura, combinada con AC o EAM (empleando diferentes tipos de propileno), permitió alcanzar una prolongada vida comercial, de hasta 14 días, mientras a  $5^\circ C$  sólo alcanzó 10 días. En ambos productos el tipo de corte manifestó una gran influencia en la apariencia y calidad global para los consumidores.

En el melón, la aplicación de AC ( $4 \text{ kPa } O_2 + 15 \text{ kPa } CO_2$ ) redujo la tasa respiratoria y emisión de  $C_2H_4$  en 2,1 veces y frenó el ablandamiento respecto al testigo en aire. En el tomate, la AC de  $4 \text{ kPa } O_2$  y  $5 \text{ kPa } CO_2$  logró disminuir entre 4,6 y 5,1 veces la emisión de  $C_2H_4$  a  $5^\circ C$ .

En el caso del melón, la aplicación de calcio en baños a  $60^\circ C$  en forma de cloruro, propionato o lactato cálcico fue tremendamente efectiva para reducir el ablandamiento (tan sólo el 8% frente al 30% del testigo después de 8 días de conservación a  $5^\circ C$ ), al incrementarse el contenido del calcio fijado en la pared celular. Además, el propionato de calcio inhibió el crecimiento microbiano.

La aplicación de lavados con agua ozonizada a concentraciones de 6,5 ppm  $O_3$  en secciones trapezoidales de melón y de 3,8 ppm en rodajas de tomate indujo un ligero aumento en la emisión de  $CO_2$  y  $C_2H_4$  durante el estrés de herida. Sin embargo, estos lavados fueron efectivos para frenar el crecimiento microbiano con tiempos de lavado de 3 y 5 min, aunque conforme se prolongó la conservación, este efecto se inhibió, sin duda debido a su característica de fungistático. No obstante, cuando el  $O_3$  se aplicó en forma gaseosa (4 ppm  $O_3$  en aire durante 30 min), con exposiciones cíclicas, resultó más efectivo para reducir el crecimiento microbiano al prolongarse la conservación o si se incrementa la concentración de  $O_3$  (7 ppm). Con ambas formas de aplicación del  $O_3$ , se redujo el consumo de fructosa y glucosa por las piezas de frutos, indicando que también contribuyeron a frenar la senescencia. En ningún momento el  $O_3$  causó daños visibles en ambos productos procesados en sus diferentes presentaciones, ni transmitió sabores o aromas extraños o desagradables.

**ABSTRACT**

During the last years cultural changes have increased the demand of ready to eat food like fresh processed fruit and vegetables. Perspectives for Spanish market, particularly for the Murcia's Region where agriculture is a pushing activity, are highly promising.

Tomato and melon, two very important crops for Murcia's economy, are suitable for fresh processing. There is a lack of information about the physiological and biochemical behaviour of these products after processing and on the technology needed to obtain an optimal sensory and microbial quality. By that reason controlled atmospheres (CA) as well as modified atmosphere packaging (MAP) and ozonized or calcium baths could be considered as useful tools to increase their shelf life.

For the research presented here only cold storage (0° to 5°C) was used as a way to decrease respiration rate.

After measuring respiration rate, ethylene emission and overall quality of fresh cut product at several storage temperatures and processed with different shapes, 'Amarillo' melon and 'Thomas' tomato were selected as the best. Then, the behaviour of both, tomato and melon, under CA was studied as a previous step to select the more suitable MAP. Calcium and ozone baths were also assayed trying to avoid both the loss of firmness and the microbial growth.

Quality was described by using physical (colour, firmness and weight loss), chemical (soluble solids, sugar and organic acids content, pH and acidity), microbiological (mesophylls, psychrotrophs, yeasts and moulds growth) and sensory (appearance, flavour, texture and overall quality) parameters.

Wounding stress increased CO<sub>2</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> emission when compared to intact product. Quality of fresh processed tomato and melon was highly dependent on storage temperature. At 5°C metabolic activity was 1.5 to 2.4 times higher than at 0°C. At this temperature shelf life was up to 14 days. However, at 5°C even when CA and MAP were used, the products were marketable only until the tenth day of storage.

For melon the use of CA (4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>) produced a 2.1 times decrease in the respiration rate, ethylene emission and the loss of firmness. For tomato atmospheres of 4 kPa O<sub>2</sub> and 5 kPa CO<sub>2</sub> decreased 4.6 to 5 times de ethylene emission.

Calcium baths at 60°C with chloride, propionate or lactate calcium highly reduced melon softness (which was only 8%) by increasing the calcium fixed on the cell walls. Microbial growth was also avoided by the use of calcium propionate.

During the wound-induced stress ozonized baths (6.5 ppm O<sub>3</sub> for melon and 3.8 ppm O<sub>3</sub> for tomato) slightly increased the CO<sub>2</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> emission. Baths (3 to 5 min) were effective to

inhibit the microbial growth, however, that effect decreased as the storage time increased. Applied as a gas (4 ppm O<sub>3</sub> during 30 min), cyclic expositions and O<sub>3</sub> concentrations over the mentioned were more effective for reducing microbial growth during storage. Both, O<sub>3</sub> applied as a gas or a solution, prevented fructose and glucose depletion. Use of neither O<sub>3</sub> neither produced visible injuries nor transfer any strange flavour to the product.

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

**1-MCP:** 1-metilciclopropeno

**AC:** atmósfera controlada

**ACC:** ácido 1-aminociclo-propano-1-carboxílico

**ADH:** alcohol deshidrogenasa

**AM:** atmósfera modificada

**ANDEVA:** análisis de la variancia

**AOAC:** Association of Official Analytical Chemists (EEUU)

**APPCC:** Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control

**AT:** acidez titulable

**ATP:** adenosín trifosfato

**CAT:** ciclo de los ácidos tricarboxílicos

**CCAA:** Comunidad Autónoma

**CAAMA:** Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente

**CG:** cromatógrafo de gases

**CR:** cociente respiratorio

**cv:** cultivar

**Cx:** celulasa

**dda:** días después de la antesis

**DBO:** demanda biológica de oxígeno

**DQO:** demanda química de oxígeno

**EAM:** envasado en atmósfera modificada

**EEUU:** Estados Unidos de América

**ES:** error estándar

**FECOAM:** Federación de Cooperativas Agrarias de Murcia

**FDA:** Food and Drug Administration

**FID:** detector de ionización de llama

**ha:** hectárea

**HPLC:** cromatógrafo de líquidos de alto rendimiento

**HR:** humedad relativa

**ICEX:** Instituto Español de Comercio Exterior

**IIR:** International Institute of Refrigeration

**IFPA:** International Fresh-cut Produce Association

**INE:** Instituto Nacional de Estadísticas de España  
**LSD:** prueba de rango múltiple de las mínimas diferencias significativas  
**MAPA:** Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación  
**NS:** no significativo  
**OSHA:** Occupational Safety and Health Administration  
**P:** probabilidad  
**PAL:** fenilalanina amonio liasa  
**PCA:** agar de recuento en placa  
**PDA:** agar de patata dextrosa  
**PDC:** piruvato descarboxilasa  
**PE:** polietileno  
**PFA:** Producción Final Agraria  
**PFK:** fosfofructoquinasa  
**PFP:** fructosa 2,6-bis-fosfatasa  
**PG:** poligalacturonasa  
**PK:** piruvato quinasa  
**PME:** pectinmetilesterasa  
**PP:** polipropileno  
**PPB:** polipropileno biorientado  
**PPM:** polipropileno microperforado  
**PPO:** polipropileno orientado  
**PPOx:** polifenol oxidasa  
**RD:** Real Decreto  
**SDH:** succinato deshidrogenasa  
**sp:** especie  
**spp:** especies  
**SST:** sólidos solubles totales  
**TCD:** detector de conductividad térmica  
**THM:** trihalometanos  
**tm:** toneladas  
**UE:** Unión Europea  
**UFC:** unidades formadoras de colonias  
**UV:** ultravioleta  
**var:** variedad

## **I. INTRODUCCIÓN**

## 1. PRODUCTOS PROCESADOS EN FRESCO.

Los cambios socioculturales de los últimos años han multiplicado la demanda de alimentos de consumo fácil y rápido. El factor determinante de las nuevas tendencias del consumo es el creciente interés por alimentos sanos, seguros, libres de aditivos, es decir, productos frescos o con características similares a los frescos y obtenidos de forma respetuosa con el medio ambiente. Si a esto, se añade el aumento en el poder adquisitivo, el resultado es una creciente demanda de frutas y hortalizas procesadas en fresco (Baldwin *et al.*, 1995; Brackett, 1997; Pérez *et al.*, 2002). Éstas necesitan un tiempo mínimo de preparación y poseen las mismas características nutricionales del producto entero del cual proceden (Ahvenainen, 1996).

Las denominaciones que reciben estos productos son muy diversas: en los países de influencia francófona se les llama casi exclusivamente de la cuarta gama de alimentación (“4<sup>ème</sup> Game”) y en los de influencia anglosajona, mínimamente o ligeramente procesados (“minimally processed”, “lightly processed”, “slightly processed”), parcialmente procesados (“partially processed”), dispuestos para consumir (“pre-prepared”, “ready to eat”, “ready to use”), así como, frescos cortados o recién cortados (“fresh-processed”, “fresh-cut”) (Artés, 2000b). Recientemente, en EEUU a estos productos procesados se les ha incorporado carne u otros productos alimentarios constituyéndose así una nueva gama, concretamente los llamados “home replacement meals” (Cantwell y Suslow, 2002).

Rolle y Chism (1987) sugirieron que el procesado mínimo incluía todas las operaciones (lavado, clasificación, pelado, cortado en rodajas, etc) que puedan hacerse antes del escaldado en una línea de procesado convencional, considerando a todos estos productos como tejidos vivos. Shewfelt (1987) añade a esta definición la posible utilización de bajos niveles de irradiación, envasados individuales y conservación en refrigeración. Para Huxsoll y Bolin (1989) un producto mínimamente procesado es fresco y las células de los tejidos están vivas, pero no se exige que cumplan estas características. Además, incluyen todos aquellos productos no destinados a su consumo directo, sino también los que conservando sus características de productos frescos pueden ser posteriormente transformados por técnicas tradicionales. Cantwell (1991) llamó a estos productos “frutas y hortalizas troceadas ligeramente procesadas”. Wiley (1997) incluye en la definición de frutas y hortalizas mínimamente procesadas todas aquellas que mantienen tejidos vivos, así como, aquellas que han sufrido ligeras modificaciones en sus características de frescura, incluyendo como métodos de conservación la refrigeración y la modificación y control de la atmósfera de envasado. Según Wiley, en función del estado físico de los productos, la tendencia ha sido a incluir solamente los sólidos, semisólidos y semilíquidos

como las frutas y hortalizas refrigeradas mínimamente procesadas, si bien los líquidos refrigerados y zumos, se deberían incluir también en esta clase de alimentos. En la definición que establece el Codex Alimentarius, Commission de procesado mínimo, añade que deben mantenerse bajo refrigeración, son procesados con métodos alternativos a los tratamientos térmicos tradicionales, su pH es mayor de 4,6 y su actividad de agua superior a 0,92, son envasados no necesariamente de forma hermética y pueden requerir un calentamiento antes de su consumo. Si bien esta definición es genérica y engloba a una gran cantidad de productos alimenticios existentes en el mercado actual, King y Bolin (1989), Watada *et al.* (1990), Brecht (1995), Burns (1995), Ahvenainen (1996), Cantwell (1996), Garret (1997) y Artés (2000a) reducen esta gama al acotar las operaciones de acondicionamiento de estos productos hortofrutícolas a métodos más simples como lavado, deshojado, deshuesado, cortado, partido, troceado, rallado u otros.

Luego, englobando las distintas y variadas definiciones de los autores concluiríamos en que dentro de la amplia gama de productos mínimamente procesados existe un grupo de productos vegetales elaborados a partir de frutas, hortalizas e incluso plántulas que han sufrido una o varias sencillas operaciones de procesado por métodos físicos (lavado, deshojado, deshuesado, cortado, partido, troceado, rallado u otros), en las que el producto elaborado permanece vivo y preparado para su consumo inmediato con casi idénticas características correspondientes al estado fresco y entero del cual proceden y con la disponibilidad de la totalidad de la parte comestible. A lo largo de este trabajo, nos vamos a referir a este tipo de productos como “procesados en fresco” (Artés, 2000b).

Este procesado parcial lesiona los tejidos disminuyendo drásticamente la vida útil del producto comparados con el entero del cual proceden (Ahvenainen, 1996; Brackett, 1992; Burns, 1995; Nguyen-the y Carlin, 1994; Schlimme, 1995; Watada *et al.*, 1990) de ahí que estén obligados a la permanencia constante bajo refrigeración y envasado en atmósfera modificada (EAM), que salvaguarde con eficacia el producto elaborado frente a las posibles alteraciones mecánicas, microbiológicas y biológicas (Artés *et al.*, 1999).

## **2. DISTRIBUCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA**

### **2.1. PRODUCTOS PROCESADOS EN FRESCO.**

#### **2.1.1. Distribución de los productos procesados en fresco en EEUU y Europa.**

En los primeros años de la década de los 70, el hábito alimentario de los EEUU cambió hacia una dieta más saludable rica en frutas y hortalizas. Durante esta década, esa mayor

concienciación del consumidor por la nutrición, salud y el estado físico, ejerció también una importante influencia en la industria alimentaria. En 1987, el consumo de frutas y hortalizas alcanzaba los 11.300 y 10.000 millones de Kg, respectivamente mientras que la ingesta de fruta pasaba de los 34 Kg durante los años 70 a los 45 Kg por persona en la década de los 90 (Schlimme y Rooney, 1997). Para estimular el interés del consumidor por el consumo de productos sanos se ha recomendado incluir en la dieta diaria más de cinco raciones de frutas u hortalizas, es decir, más de 400 g por persona y día (National Research Council, 1989).

Los productos procesados en fresco comenzaron a introducirse a través de las cadenas de establecimientos de comidas preparadas y restaurantes, y en poco años, los supermercados empezaron a demandarlos (Crothers, 1992). Estos productos han pasado de la industria del catering a las vitrinas refrigeradas de los supermercados (Krause, 1992). Tanto el número como la variedad de artículos procesados en fresco han aumentado considerablemente. Si en 1990 en EEUU, representaban sólo el 1% del volumen total de la industria de los productos frescos, la estimación de Zind (1990) para el año 2000 fue de 4 a 8.000 millones de dolares. Se esperaba un arrollador aumento de estos productos, en especial, el de ensaladas de frutas y ensaladas mixtas de vegetales, cuando conquistaran los comercios de venta al por menor. Así, el monto de ensaladas mixtas pasó de 167,5 millones en 1991 a los 507 millones de dolares en 1994, un crecimiento del 200%, probablemente, acababa de surgir el mercado internacionalmente más importante (Sloan, 1995). Según la International Fresh-cut Produce Association (IFPA), la previsión de venta en EEUU para el año 2005 era de 15.000 millones de dolares, cifra demasiado baja según Gorny (2001a) quién estimó unas ventas para el año 2003 de 19.000 millones de dolares.

Un estudio realizado por la IFPA, revela que la venta en graneles alcanzan el 60% del mercado procesado en fresco mientras que las ventas al detalle representan el 40% restante. Las ensaladas son las que abarcan una mayor cuota de mercado dentro de este sector (53%). Las lechugas y zanahorias procesadas son las más demandadas.

El melón se presenta con un artículo muy interesante ya que alcanza un porcentaje bastante elevado (12%) situándose en el sexto producto más demandado (Tabla 1). Las frutas comercializadas en EEUU procesadas en fresco son tomates en rodajas y dados, cubos de melón, sandía, piña y rodajas de manzana (Gorny, 2001b)

**Tabla 1.** Preferencia de los consumidores por una fruta u hortaliza procesada en fresco.

Fruta/hortaliza	%Compra
Lechuga	36
Zanahoria	23
Brócoli	13
Ensaladas (mezcla vegetales)	13
Cebolla	12
Coliflor	8
Patata	8
Espinaca	6
Melón	12
Ensaladas de frutas	9
<b>Manzana</b>	6
<b>Piña</b>	4

Fuente: IFPA, 2002.

Toda esta nueva gama de productos son demandados principalmente por consumidores de entre 25-50 años, de clase social media-alta, con un núcleo familiar de 2 a 3 miembros y situado en un ambiente urbano. Los motivos principales que inducen su compra son, comodidad (41%), nutrición (13%) y sabor (12%), según Pérez *et al.* (2002).

Según Kern (2002), presidente de Dole Food Company en EEUU, se estima que como un 30% de los consumidores no han comprado todavía productos procesados, el mercado seguirá expandiéndose. No obstante, barreras como su elevado precio, el reducido espacio en las estanterías del supermercado y la frecuente falta de existencias (un 16% en comparación con los productos de ultramarinos) pueden limitar su expansión. Aún así, son los artículos con mayor crecimiento dentro de las áreas de un supermercado, ocupando la decimoséptima posición, según la IFPA. Una variante a estos productos como las ensaladas biológicas tienen un 60% anual.

Más tarde, a principios de los 80, se empezaron a desarrollar los productos procesados en frescos en Europa, con Francia y el Reino Unido como líderes tanto en consumo como en producción. Este último comercializa el 90% de sus productos con marca blanca. En los Países Bajos, el 70% de la producción se destinó a la venta a detalle. Sin embargo, la industria es frágil en Alemania e Italia (Watada, 1996).

### **2.1.2. Distribución de los productos procesados en fresco en España.**

El mercado de productos procesado en fresco en España es todavía joven y pequeño, pero con bastante crecimiento. Sus protagonistas son apenas media docena de empresas, lideradas por el grupo cooperativo francés Agrial, propietario de la marca Vega Mayor con su fábrica en Navarra. Aquí, se elaboran más de 80 productos diferentes y copan prácticamente el mercado cuyo volumen supone aproximadamente 22.000 tm con un valor de 49 millones de dolares. El volumen de ventas del sector habrá crecido alrededor de un 40% en el año 2001 respecto al 2000. España no está todavía a la altura de otros mercados, como el francés, aunque el consumidor español ha comenzado a valorar y disfrutar este tipo de alimentos. Al igual que en EEUU, su distribución comenzó en el segmento de comidas rápidas pero cada día se imponen con más fuerza en los hábitos alimenticios tradicionales (Barrios y Escobar, 2002).

Actualmente, el comercio alimentario representa el 40% del volumen producido (hipermercados supermercados, fruterías) mientras que el de las colectividades alcanza el 60% (hostelería, catering y restauración). La positiva evolución que está siguiendo este mercado de la “cuarta gama” está promoviendo que le siga el de la “quinta gama” compuesta por productos cocinados que se comercializan refrigerados.

#### ***Ranking de empresas***

Como ya hemos comentado Vega Mayor lidera el mercado de los productos procesados (57 % en volumen). Tras ella, se encuentra la empresa murciana Kernel Export (17%), que comercializa las marcas Luminosa y Rica Rica. En el 2001, ha alcanzado unas ventas de 9 millones de dolares. Le sigue Sogesol firma de origen francés que comercializa los productos procesados en fresco de la marca catalana Fedreca (14,5%) y Tallo Verde (7,3%), integrada a su vez en el grupo francés Pomona.

La empresa líder en el mercado francés, Bonduelle, no ha entrado todavía en este mercado español (Barrios y Escobar, 2002). Hay que destacar la continua evolución de este mercado por un lado por la reciente creación de nuevas empresas procesadas en fresco como PrimaFlor en Pulpí (Almería) o Actel centrada en la comercialización de fruta procesada en fresco. Hay que añadir, el lanzamiento de nuevos productos como la ensalada Sacromonte de Kernel elaborada a base de escarola y granada.

## **2.2. PRODUCTOS ENTEROS.**

En España las frutas y hortalizas en fresco significan un volumen de comercio anual del orden de 23 millones de tm y 600 millones de dolares. La horticultura para producir estas frutas y hortalizas ocupa 2 millones de ha, de las cuales 40.000 ha son invernaderos, la mayor superficie europea en este tipo de cultivos. Las regiones más importantes para la horticultura son: Andalucía, Comunidad Valenciana, Murcia, Cataluña y Extremadura. La producción de hortalizas es de 10,5 millones de tm que se cultivan en 360.000 has. Los productos más relevantes son: tomates, cebollas, escarolas y lechugas, melones, pimientos y sandías. (MAPA, 2002).

A continuación se recoge la información disponible referida a tomate y melón por ser los productos objeto de los trabajos desarrollados en la presente Tesis.

### **2.2.1. Tomate.**

Según el USDA, la producción mundial de hortalizas en 2001 fue de 697,2 millones tm. Las hortalizas que lideraron este ranking fueron patata, tomate y sandía con 443,5, 100 y 77,4 millones tm, respectivamente. Los principales países productores de tomate son China (20), EEUU (10,2), India (8,5), Turquía (6,8) y Egipto (6,5 millones tm). El volumen de comercio mundial del tomate representó 231,6 billones de libras.

Dentro de la UE, los principales países productores de tomate fueron Italia, España y Grecia, con el 41, 24,2 y 14,1%, respectivamente. En 2001, la superficie dedicada al cultivo de esta solanacea fue de 61.500 ha con una producción total de 3.729.900 tm (MAPA, 2001). España exportó 1 millón de tm de tomate fresco, por 738 millones de dolares. El 24% de esta producción fue exportada principalmente a la UE (21,8%). Los principales clientes fueron Países Bajos, Alemania, Reino Unido y Francia (MAPA, 2001).

Un 22% de estas exportaciones procedieron de Murcia, es decir, 659.507 tm por 580 millones de dolares. Otras CCAA importantes en la producción y exportación de tomates son: Andalucía, Extremadura y Castilla-La Mancha. Las importaciones de tomate realizadas por España no superaron el 1% de las exportaciones (ICEX, 2003).

En Murcia, durante la campaña 2000/01, la superficie dedicada al cultivo del tomate fue de 3.000 ha con una producción de 279.000 tm. Tras la lechuga, alcachofa, brócoli y melón es la hortaliza más cultivada. Las principales zonas de cultivo son Mazarrón y Águilas (FECOAM, 2002).

### **2.2.2. Melón**

En las dos últimas décadas, el melón ha pasado a ser un importante cultivo hortícola europeo. Según el USDA, durante el 2001, el melón fue la octava hortaliza más consumida a escala mundial con de casi 20 millones de tm. Los principales países productores fueron China, Turquía, EEUU, Irán y España. España, con casi 1 millón de tm, es el quinto país mundial productor de melones y el primero en la UE.

El melón es una de las frutas más conocidas y demandadas por los países desarrollados. En los últimos años, se ha incrementado su consumo gracias al auge de los productos procesados en fresco (Torres, y Miquel, 2003). Durante 2002, el volumen de su comercio mundial representó 47,6 billones de libras (Cantaloupes y otros melones).

Los tipos varietales más consumidos en los EEUU son Cantaloupe y Honeydew, como recogen sus estadísticas, donde no se citan otros. Los Kg per capita consumidos fueron de 11, 2 y 2,3 respectivamente (USDA, 2003).

España, seguida de Francia e Italia son los principales productores de melón en la UE y abastecen el mercado de mayo a septiembre. Nuestro país fue el principal exportador del mundo en 2000, seguido de México y Costa Rica (USDA, 2003).

En el período comprendido entre febrero y mayo, el 52% del melón que se comercializa procede de países no comunitarios, destacando Brasil, Israel, Costa Rica y Marruecos.

Durante 1999, el mayor importador de melón en la UE fue el Reino Unido, con un 27 % (149.816 tm), seguido de Holanda con 19 % (108.163 tm), Francia con 18,3 % (101.752 tm) y Alemania con 17,26 % (91.960 tm) (Torres, y Miquel, 2003).

El melón tiene distintos mercados de destino, y la elección del tipo depende del mercado. El mercado interior español prefiere Piel de Sapo, en Alemania se inclinan por el Cantaloupe y en Inglaterra por el Galia y Amarillo. Sin embargo, Cantaloupe continúa siendo la variedad más vendida en Inglaterra entre los melones de invierno (Tabla 2). En Francia se prefiere el Charentais y en el norte de Europa el Cantaloupe (Eurofruit Magazine, 1997).

**Tabla 2.** Principales exportadores mundiales de melón en 2000 según tipo varietal de melón.

<b>Tipo varietal</b>	<b>Producción europea</b>	<b>Consumo</b>	<b>Producción contraestación</b>
Charentais	Italia, Francia	Inglaterra, Norte Europa, Alemania, Francia	Israel, Marruecos
Galia	España	Inglaterra	Israel, Marruecos
Cantaloupe, Amarillo	<b>España</b>	Inglaterra, Norte de Europa, Alemania	Brasil, Costa Rica
Piel de sapo	España	España, Inglaterra	Brasil

**Fuente:** Eurofruit Magazine, 1997.

El cultivo de melón en España se mantiene en 40.000-45.000 ha y una producción de alrededor del 1 millón tm desde hace algunos años (MAPA, 2001). Las principales zonas productoras de melón son Almería, Murcia, Castilla La Mancha, Badajoz y Comunidad Valenciana. En la Tabla 3 se exponen los tipos, producción y superficie de estas regiones.

**Tabla 3.** Principales zonas productoras de melón en España en el 2000.

<b>CCAA</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Producción (Tm)</b>	<b>Tipo varietal</b>
Andalucía (Almería)	11.000	344.689	Galia, Amarillo, Charentais, Piel de Sapo
Murcia	6.300	212.000	Galia, Piel de Sapo, Amarillo
Extremadura (Badajoz)	4.500	67.000	
C. Valenciana	2.000	44.462	Piel de Sapo

**Fuente:** MAPA, 2001.

Aparte de las clásicas confecciones de melón en cajas de cartón con sus alveolos, en países desarrollados el melón está obteniendo cotas altas en presentaciones procesadas para consumir en fresco. Hay tarrinas con ensaladas de frutas, o simplemente con trozos de melón, combinando diferentes colores de pulpa con aspecto muy atractivo (tricolores). También, se encuentra fruta troceada sobre hielo para consumo directo (Torres y Miquel, 2003).

### 3. ORIGEN Y CLASIFICACIÓN BOTÁNICA.

#### 3.1. MELÓN

El melón (*Cucumis melo* L.) es una planta cucurbitácea de fruto carnoso. Se supone originario del África tropical, ya que se han encontrado allí especies silvestres de *Cucumis* (Purseglove, 1968). Dentro de la familia Cucurbitaceae, el melón pertenece a la subfamilia Cucurbitoideae, tribu Melothrieae, género *Cucumis*, especie *melo* (Jeffrey, 1980).

Hay un gran número de variedades dentro de *Cucumis melo*, debido al gran polimorfismo que posee, tanto en hojas y flores, como en el color, tamaño, forma u otras características (Odet, 1985; Kirkbride, 1993). Entre los diferentes sistemas de clasificación de variedades, el principal es la botánica establecida por Naudin (1985). Basándose en ésta, Kirkbride (1993) ha ordenado las variedades más importantes para la horticultura, en 7 grupos:

- *C. melo* var. *cantalupensis* Naud.: frutos de tamaño medio, forma redondeada, superficie lisa de color grisáceo y estrías marcadas y pulpa anaranjada dulce y jugosa, muy aromática. A este grupo pertenecen los cultivares Galia, Ogen y Charentais entre otros. Pesos entre 0,5 y 1 Kg. Maduración precoz y conservación escasa.
- *C. melo* var. *reticulatus* Naud.: frutos de tamaño medio, superficie escriturada con estrías poco marcadas y pulpa de color verde a naranja. Pertenece los cultivares denominados en la literatura americana como “muskmelon” (melones almizclados) o Cantaloupe americano. Peso entre 1 y 3 Kg. Comprende tanto cultivares precoces como de ciclo normal-tardío, la conservación también es escasa.
- *C. melo* var. *inodorus* Naud.: frutos con superficie lisa o escriturada y pulpa normalmente blanca o verde que carece del típico olor a almizcle. Pesos entre 1,8 y 4 Kg. Es de maduración tardía y tiene buena aptitud para la conservación. A este grupo pertenecen los denominados melones de invierno que engloba entre otros a los tipos “Honeydew”, Casaba, Crenshaw, Tendral negro tardío y Persa.
- *C. melo* var. *saccharinus* Naud.: sus características son intermedias entre las *reticulatus* e *inodorus*, y de hecho, algunos cultivares se asignan indistintamente a esta variedad o alguna de las anteriores, como el Tendral negro tardío también considerado var. *inodorus*. Los frutos son de tamaño medio, redondeados u oblongos, superficie lisa con tonos grises, con manchas verdes en ocasiones, y una pulpa muy dulce. Otros cultivares son Tendral verde semitemprano, Piel de Sapo y Amarillo oro.

- *C. melo* var. *flexuosus* Naud.: frutos alargados que se suelen consumir inmaduro como alternativa a los pepinos.
- *C. melo* var. *conomon* Naud.: frutos pequeños de superficie lisa y pulpa blanca, que maduran rápidamente, desarrollando un alto contenido en azúcares pero poco aroma.
- *C. melo* var. *dudain* Naud.: frutos pequeños de corteza amarilla con costillas de color rojo y pulpa de color virando de blanco a rosa.

Los cuatro primeros grupos son los más importantes a escala comercial europea. Actualmente, se prefiere reagrupar las variedades con características similares en grupos llamados “tipos varietales”, asociados con el nombre de la variedad más conocida o antigua de ellos (Odet, 1985). Este es un sistema mejor adaptado ya que cada año se crea un número importante de variedades nuevas.

### 3.2. TOMATE.

Es una planta originaria, al parecer de la zona Perú-Ecuador que se introdujo en Europa en el siglo XVI con fines alimenticios.

El tomate, *Lycopersicum esculentum* (o *L. lycopersicum*), es de ciclo plurianual, aunque anual en cultivo, perteneciente a la familia de las Solanaceas. Su fruto es una baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpo, el tejido placentario y las semillas.

Dentro de la especie se diferencian cinco variedades botánicas (Maroto, 1989):

- *L. esculentum* var. *commune* o *vulgare*: frutos lisos o asurcados, con numerosos lóculos. Las hojas son grandes.
- *L. esculentum* var. *cerasiforme*: a ella pertenecen los tomates “cherry” redondos, de escaso tamaño y pocos lóculos. Las hojas son también pequeñas.
- *L. esculentum* var. *pyriforme*: frutos con forma aperada y normalmente sólo dos lóculos.
- *L. esculentum* var. *validum*: plantas de porte erecto, compacto y desarrollo bajo.
- *L. esculentum* var. *grandiflorum*: las hojas son anchas y planas, con pocos folíolos, enteros o poco hendididos.

El aspecto del fruto es uno de los factores comerciales más relevantes. Los tipos utilizados en España para consumo en fresco, son básicamente dos (Vergani, 1985): el esférico,

de epidermis lisa, que incluye a los tipos Moneymaker, los tomates lisos aplanados, los tomates larga vida y los cherry y el asurcado o grueso, multilocular, más o menos acostillado, con calibres entre 57-67 mm y 77-87 mm.

Como todas las Solanaceas, el tomate es una planta de climatología cálida, sensible al frío, aunque menos que la berenjena y el pimiento.

#### **4. PREPARACIÓN DE UN PRODUCTO PROCESADO EN FRESCO.**

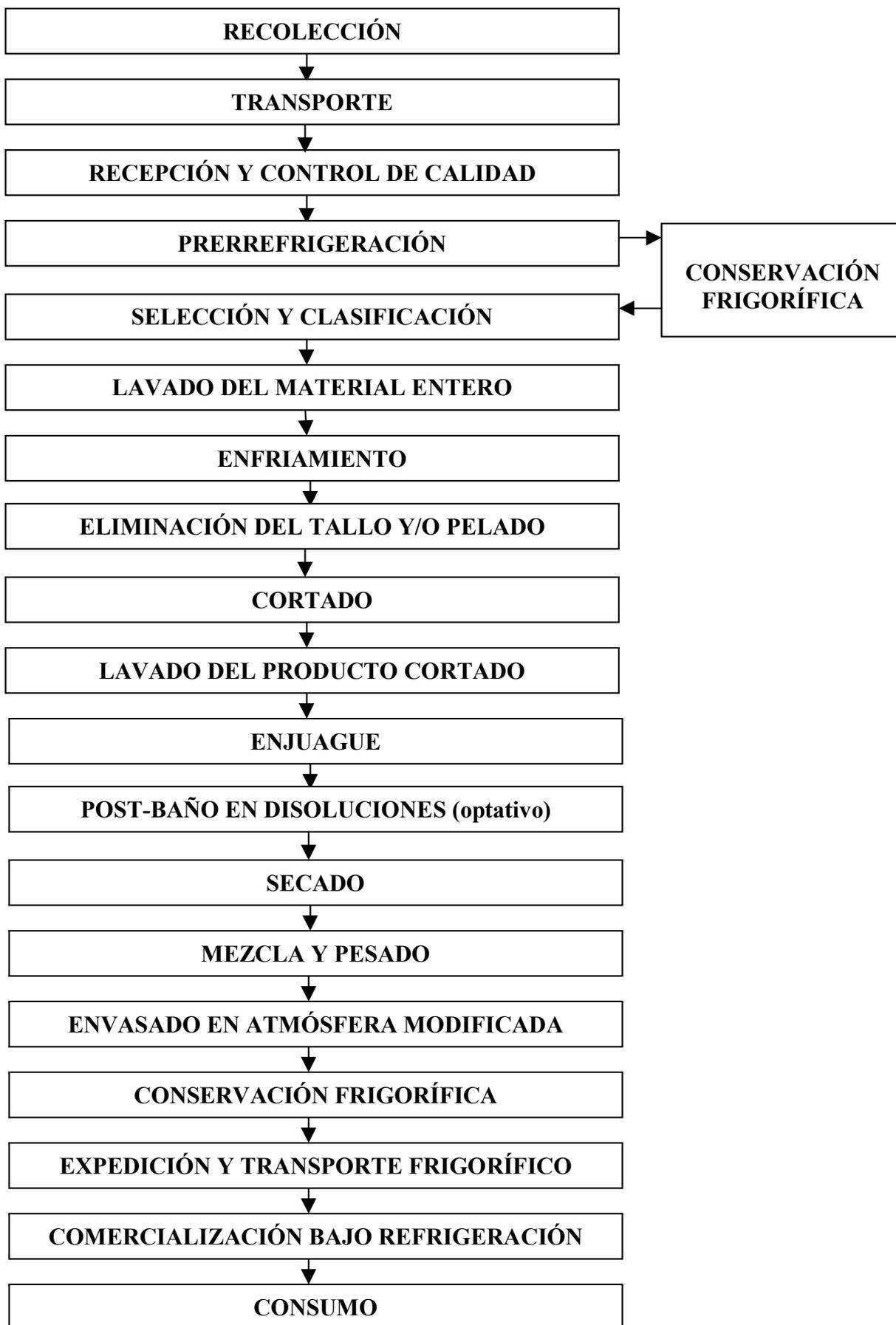
##### **4.1. GENERALIDADES.**

La preparación de un producto procesado en fresco engloba varias etapas que pueden ser divididas en operaciones unitarias específicas.

Cada una de estas operaciones debe realizarse adecuadamente para asegurar una óptima calidad, seguridad alimentaria y vida útil en el producto terminado.

Hay que tener presente que los productos procesados en fresco no reciben ningún tipo de tratamiento, salvo la cloración (o más raramente la ozonización) y acidificación del agua de lavado, que posibilite la reducción de su carga microbiana natural o añadida. En consecuencia, las armas fundamentales para luchar contra los procesos degradativos son, la perfecta higiene de proceso, la refrigeración permanente de los productos a una temperatura inferior a 5°C, que además deberán estar debidamente protegidos de contaminaciones secundarias o cruzadas (Artés, 2000b; Gorny y Kader, 1996a).

A continuación, se reflejan en el siguiente esquema modificado de Garret (1997), Artés (2000a) y Pérez *et al.* (2002) las operaciones unitarias más comunes en la elaboración de un producto procesado en fresco aunque, naturalmente, existen particularidades en los diferentes productos. Posteriormente, sólo se describirán las etapas más relevantes en relación con esta Tesis.



## 4.2. PROCESADO

### 4.2.1. Selección y clasificación.

Si partimos de productos de baja calidad obtendremos una pobre calidad en el producto terminado (Gorny y Kader, 1996a).

La temperatura ambiente en la selección y clasificación debe ser inferior a 12°C, mientras que en las etapas posteriores, como lavado, cortado y envasado deben mantenerse una temperatura entre 4 y 6°C. A partir del cortado, la temperatura del producto no debe sobrepasar los 4°C (Willox, 1995 citado por Jacxsens *et al.*, 2002a).

### 4.2.2. Lavado del material entero.

La efectividad del lavado de un producto procesado puede optimizarse con una limpieza previa del producto entero (Simons y Sanguansri, 1997), para ello, Huxsoll y Bolin (1989) recomiendan utilizar de 5-10 L·Kg<sup>-1</sup> de producto entero. Tanto el agua de lavado del material entero como aquella utilizada tras el cortado y/o pelado deben tener una adecuada calidad microbiológica. Además, se recomienda que su temperatura sea inferior a 5°C (Ahvenainen, 1996; Ahvenainen, 2000).

### 4.2.3. Pelado y cortado.

La eliminación de la capa más externa de una fruta u hortaliza se denomina pelado, raspado, despellejado, descortezado, descascarillado, etc. Algunas frutas y hortalizas como las patatas, zanahorias, manzanas, melones, requieren de un pelado antes de ser cortadas. El pelado puede hacerse manual, con vapor o agua caliente, por medios mecánicos, con vapor a presión elevada (López, 1987). Sin embargo, la operación de pelado industrial de grandes volúmenes de productos se realiza normalmente mecánicamente (tambores de carborundo), químicamente o en peladoras de vapor a presión elevada (Yildiz, 1997).

El pelado debe hacerse de la forma más delicada posible. El método ideal es el pelado a mano con cuchillos afilados pero es el lento y costoso. Barry-Ryan y O'Beirne (1998), observaron en zanahoria un aumento en la respiración del 15% cuando eran peladas a mano en comparación con una zanahoria no pelada, sin embargo, el pelado por abrasión doblaba la tasa respiratoria en comparación al pelado a mano, además de aumentar el crecimiento microbiano y disminuir la calidad sensorial. En el caso de las patatas, el pelado en tambores de carborundo aumenta el pardeamiento que el pelado a mano (Ahvenainen, 1996). Si se usa el pelado mecánico, éste debería parecerse a un pelado con cuchillos.

El cortado debe realizarse con cuchillos u hojas tan afiladas como sea posible y deben ser de acero inoxidable. Bolin *et al.* (1977) comprobaron que el cortado de lechuga con hojas afiladas alargaba la vida útil que cuando se utilizaban cuchillas desafiladas. Un defecto común en el melón procesado es la translucencia o vitrescencia y el cortado con cuchillas desafiladas lo incrementa (Portela y Cantwell, 2001). Bolin y Huxsoll (1991) demostraron en lechugas y Barry-Ryan y O'Beirne (1998) en zanahorias que el cortado con cuchillas afiladas a mano era mejor que si se realizaba con máquinas comerciales de cortado, tanto desde el punto de vista microbiológico como en la calidad visual. El cortado o loncheado con cuchilla o navajas desafiladas perjudica la calidad dado que rompe células y libera jugos celulares. Estos mismos autores (1999) demostraron que con el rallado a mano aumentaba la retención de vitamina C en lechuga triturada, seguido del cortado manual y por último a máquina. Cuando se utilizaban cuchillas desafiladas el contenido de ácido ascórbico decrecía un 10% frente a la utilización de cuchillas afiladas.

Sea cual sea el método de cortado elegido, las cuchillas deben desinfectarse, por ejemplo, con un 1% de solución de hipoclorito sódico (Ahvenainen, 1996).

Una innovación son las cuchillas de agua en las que frutas y hortalizas se cortan por medio de una fina boquilla de agua a alta presión (3.000 kPa), además, el mismo chorro de agua lava el exudado celular de los productos (Heiland *et al.*, 1990).

El rendimiento de las cortadoras está en función de la capacidad de las mismas, de la energía necesaria por unidad de producto, de la forma y características superficiales de la materia prima y del tamaño óptimo que se precise (Yildiz, 1997). La tabla 11, muestra el rendimiento de algunas frutas y hortalizas procesadas.

**Tabla 4.** Rendimiento de la porción comestible de fruta u hortaliza seleccionada.

<b>Producto</b>	<b>Rendimiento</b>
Manzanas	0,92
Melón cantalupe	0,52
Lechuga, cogollo	0,76
Melocotones	0,76
Piña	0,54
Tomate	0,99
Sandía	0,57

**Fuente:** Wiley, 1997.

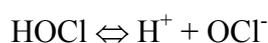
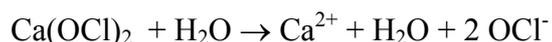
El pelado en melón suele realizarse automáticamente, con máquinas (Kronen) que pelan y quitan las placentas. El tomate, tan sólo, necesita ser procesado según el formato deseado (rodajas, cascos, cubos, etc) y debido a su menor tamaño, la maquinaria que necesita es más sencilla.

#### 4.2.4. Lavado.

Normalmente, tras el pelado y/o cortado, debe realizarse un segundo lavado. Éste constituye un paso crítico en la línea de procesado, e influirá de forma decisiva en la calidad, seguridad y vida útil del producto terminado (Yildiz, 1997). No existe ningún tratamiento que destruya a los microorganismos y desactive los enzimas. El lavado tras el pelado y/o cortado tiene como objetivo disminuir la temperatura del producto, eliminar la suciedad del producto, la carga microbiana y los fluidos de los tejidos, para reducir durante el subsiguiente almacenamiento el crecimiento microbiano y desórdenes fisiológicos, como la oxidación enzimática y (Ahvenainen, 1996; Simons y Sanguansri, 1997). La calidad sensorial y microbiología de esta agua de lavado debe ser óptima y la temperatura no superior a 5°C (Ahvenainen, 1996; Bolin y Huxsoll, 1989; Brackett, 1987).

La cantidad recomendada para lavar un producto cortado es inferior a la consumida cuando el producto es entero, normalmente es suficiente con 3 L·Kg<sup>-1</sup> (Ahvenainen, 1996; Ahvenainen, 2000). La eficiencia del lavado puede mejorarse con la incorporación de soluciones de cloro, y otros compuestos antibacterianos.

El cloro es el desinfectante más empleado para productos procesados en fresco, su forma más efectiva es la del ácido hipocloroso (HOCl). Pero la disociación del HOCl depende del pH del agua y el equilibrio entre éste y el ión hipoclorito (OCl<sup>-</sup>), el cual se mantiene incluso cuando el HOCl se consume por su acción antimicrobiana (Beuchat, 1992). Las distintas reacciones que se desarrollan tras incorporar el desinfectante comercial (Ca(OCl)<sub>2</sub> o NaOCl) se exponen a continuación (Garret, 1992):



Se desconoce el modo de acción por el cual el HOCl es letal para los microorganismos. Parece ser que el cloro se combina con las proteínas de la membrana celular formando

compuestos cloraminados que intervienen en el metabolismo celular de éstas (Beuchat, 1992; Wilcox *et al.*, 1994). La inhibición de enzimas sensibles a la oxidación por cloro parece estar relacionada con la muerte de los microorganismos (Beuchat, 1992). No obstante, los compuestos clorados reducen los microorganismos aerobios en hortalizas de hoja como la lechuga, pero no necesariamente en hortalizas de raíz o en coles (Garg *et al.*, 1990). Sin embargo, Torriani y Massa (1994) comprobaron que el lavado de zanahorias con agua clorada ( $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de cloro libre) redujo de forma significativa los coliformes sin afectar al número de bacterias aerobias. Sinigaglia *et al.* (1999) demostraron la efectividad del cloro ( $100$  y  $150$  de cloro libre) en lechugas y zanahorias procesadas sobre *Pseudomonadaceae* y *Enterobacteriaceae*.

La concentración recomendada para la inhibición de patógenos entéricos es de 60-80 ppm de cloro durante un mínimo de 30 segundos (Hobbs y Gilbert, 1978). Kabir (1994), recomienda  $70 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  durante 13 segundos. Adams *et al.* (1989) mostraron que niveles de  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de cloro libre redujeron el número de bacterias a 100 veces menos. Concentraciones similares según distintos investigadores oscilan entre  $100$ - $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  para el lavado tanto antes como después del pelado y/o cortado (Ahvenainen, 1996; Kabir, 1994; Yildiz, 1997).

Pero estas concentraciones sólo serán efectivas si se mantienen los valores de pH del agua entre 6,5 y 7. Si el agua de lavado es demasiado alcalina habrá menos cloro presente en forma de HOCl y por tanto disminuirá la acción antimicrobiana. Si el agua fuera demasiado ácida podría corroer los equipos de lavado. El uso de agua fría ( $2$ - $5^\circ\text{C}$ ) reduce la solubilidad del cloro, entonces, podría realizarse esta desinfección a mayor temperatura siempre y cuando no se prolongue más de 2-5 minutos y el producto, posteriormente sea enfriado rápidamente con agua fría (Ahvenainen, 1996; Kabir, 1994; Simons y Sanguansri, 1997).

Para aumentar la efectividad del cloro y mejorar la reducción microbiana pueden utilizarse potenciadores del cloro. La adición de éstos, pueden manifestar un efecto microbiano residual prolongando la vida útil hasta 15 días. Además, reducen la concentración necesaria de cloro en un 30-50%, trabajando en un rango de pH mucho mayor (5 a 10) (Silvers, 1994). Pero el cloro puede producir unos productos secundarios llamados cloraminas, trihalometanos perjudiciales para el ser humano si quedan disueltos en el producto procesado. Por ello, actualmente se buscan alternativas al cloro como los clorobromatos, dióxido de cloro, peróxido de hidrógeno, peroxone y ozono (Simons y Sanguansri, 1997). Los desinfectantes aprobados en el código alimentario australiano (National Food Authority, 1996) son cloro, dióxido de cloro, ozono y peróxido de oxígeno, y los residuos máximos permitidos en el producto final no pueden sobrepasar 1 ppm para el cloro y dióxido de cloro y 5 ppm para peróxido de hidrógeno. Las clorobrominas todavía no han sido aprobadas. No se ha especificado ninguna concentración

residual para el ozono. Además de no existir residuos en el uso del agua ozonizada, otra ventaja de éste desinfectante es que permite trabajar, junto con el dióxido de cloro, en sistema abierto o cerrado.

En un sistema continuo, se minimiza el consumo de agua y se mantiene continuamente la eficiencia en el lavado, ya que el agua se reutiliza pudiéndola desinfectar con radiación ultravioleta, ozono o dióxido de cloro. Todo ello mantiene el agua limpia y desinfectada, reduciendo los volúmenes de consumo. Este aspecto debería ser considerado sobre todo en aquellas zonas como California o el levante español donde se sufre una importante escasez de agua.

Matsunaga *et al.* (1995) utilizaron ozono gaseoso combinado con disoluciones acuosas de ozono para esterilizar frutas y hortalizas frescas. Los productos se ponen en contacto con ozono gaseoso ( $170 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) durante 20 minutos a  $25^\circ\text{C}$ , posteriormente, el producto se pela, se sumerge en agua ozonizada ( $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) a  $20^\circ\text{C}$  y, por último, se seca.

Si se opta por un sistema cerrado el desinfectante idóneo es el dióxido de cloro ya que destruye a los microorganismos de forma rápida, no reacciona con la materia orgánica, posee un amplio rango de trabajo de pH y es muy soluble en agua fría. Si se elige un sistema de lavado con recirculación del agua el ozono sería el mejor ya que mejora la claridad del agua por descomposición y coagulación de la materia orgánica y posterior filtración, además podría optimizarse si se incorporan lámparas ultravioletas (Ahvenainen, 2000).

Sea cual sea el método elegido, el lavado exige un control preciso de la concentración del desinfectante utilizado, pH, tiempo de contacto, temperatura y contenido de materia orgánica. Si se subestima este control, probablemente, la operación de lavado será ineficaz e incluso podrá contaminar el producto (Garg *et al.*, 1990). Más adelante se desarrollará el tema del ozono objeto de estudio de esta Tesis.

#### **4.2.5. Lavado de enjuague**

Tras el lavado es necesario un enjuague para reducir el agua superficial, eliminar los jugos celulares que pueden ser sustrato del crecimiento microbiano y posteriores actividades enzimáticas. Esta operación puede realizarse en centrifugas, rejillas vibradoras, transportadoras rotativas, túneles de secado, etc. Todos estos sistemas trabajan en línea, reduciendo el trabajo manual, evitando enjuagues en cuello de botella (Simons y Sanguansri, 1997).

#### 4.2.6. Post-baño.

Los productos procesados que sufren severos desórdenes fisiológicos como el amarillamiento del brócoli, blanqueamiento en zanahorias, pardeamiento en lechuga, ablandamiento, etc podrían reducirse con la aplicación de disoluciones apropiadas a través de baños o sprays. Éstos pueden incorporarse en el agua de lavado o tras el enjuague. Para evitar el pardeamiento, podríamos citar agentes reductores (ácido ascórbico), acidulantes (ácido cítrico), e incluso quelante (pirofosfato de sodio) (Artés et al., 1998; Beck 1992; Dziezak, 1988).

Estos baños pueden incluir la aplicación de películas comestibles que reducen las pérdidas de agua y protegen al producto del O<sub>2</sub>, retrasando las reacciones de pardeamiento. Pueden prevenir la alteración microbiana y evitan pérdidas de sabor y aroma, textura y nutrientes (Baldwin *et al.*, 1995).

Se han utilizado películas a base de calcio como puente de unión a las sustancias pécticas en la pared celular y lámina media y proteger la superficie cortada del pardeamiento. No obstante, la aplicación principal del calcio es mejorar la firmeza disminuyendo el ablandamiento, para ello, el calcio debe fijarse en el ácido péctico de la pared celular formando pectato cálcico. También sirve de unión entre proteínas que intervienen en la adhesión intercelulares. Además, el calcio puede inhibir la actividad de aquellos enzimas que degradan la pared celular. El calcio interacciona con los polímeros pécticos proporcionando substratos inservibles, inaccesibles para la actividad enzimática. El estudio del calcio se desarrollará ampliamente en otro apartado dado que ha sido objeto de aplicación en esta Tesis.

#### 4.2.7. Secado y envasado.

Finalizado el enjuague y la adición de productos, cuando sea necesario, como en el melón para evitar el ablandamiento, se realiza el secado por centrifugación automática o semiautomática, aire caliente o infrarrojos hasta que la superficie del producto procesado esté libre de agua. Tras esta etapa se pueden incorporar otros productos procesados (distintas especies, cultivares o variedades) para obtener así, ensaladas de frutas o ensaladas de hortalizas. Así, en el mercado de EEUU se comercializa la ensalada de hortalizas con zanahoria picada, repollo troceado, pimientos sin corazón, cebolla en cubitos, trozos de col lombarda, lechuga troceada, rodajas de tomate, endibia, achicoria (Yildiz, 1997) o una combinación de rodajas de melón procedentes de tres cultivares con distinto color de pulpa, Galia, Cantaloupe y Piel de Sapo que comercializa Kernel Export S.A.

Una vez realizada la mezcla se pesa automáticamente y pasa a una zona de envasado (de flujo horizontal–flow pack). En éstas se forma el envase, a partir de una bobina que se convierte

en un tubo al darle forma con una pieza cilíndrica, a la vez que se llena, y a continuación, se termosella y se corta con una doble mordaza, separándose los envases una vez que contienen el producto. El envase final obtenido sería una bolsa plástica. Si por el contrario, el envasado fuera en bandejas o tarrinas, éstas se elaborarían en una línea de termo formado. A partir de una película plástica ligeramente calentada, se troquela y por vacío o por inyección de aire comprimido se adhiere a un molde que le proporciona esa forma de bandeja, posteriormente se coloca el alimento y se cubre en su parte superior con una película plástica que se sella en todo el perímetro (Artés, 2000b). Normalmente, tanto el envasado del melón como del tomate se realiza en tarrinas y en las hortalizas foliáceas se suelen realizar en bolsa. La ventaja del primero es que la tarrina proporciona una mayor protección al producto que la bolsa pero como desventaja es el mayor precio de aquella.

Tanto en el envasado en bolsa como en bandejas, la película plástica utilizada se habrá seleccionado correctamente en función a la permeabilidad a los gases ( $O_2$ ,  $CO_2$ ). En ambos métodos podemos obtener un envasado en atmosfera modificada pasiva o activa, si inyectamos una atmósfera preparada exteriormente antes de cerrar el envase. Estas atmósferas activas suelen estar empobrecidas en  $O_2$  empleando barrido de  $N_2$ , y con frecuencia enriquecida en  $CO_2$  para facilitar un efecto más rápido de la modificación de la atmósfera sobre el producto. En general, la composición gaseosa es de 5-10 kPa de  $CO_2$  y 2-5 kPa de  $O_2$  y el resto de  $N_2$  en combinación con el almacenamiento refrigerado ( $< 7^\circ C$ ) (Ahvenainen, 2000; Lee *et al.*, 1995; Garret, 1997; Kader *et al.*, 1989; Philips, 1996). Este apartado de envasado en atmósfera modificada también se estudiará con mayor profundidad más adelante. Finalmente, a los envases se les realiza una inspección visual de calidad, se toman muestras para la realización de los controles de calidad (incluyendo particularmente microbiológicos) y se pasan por un control de pesos y un detector de metales para eliminar cualquier riesgo de presencia de este tipo de elementos extraños. A continuación, los envases se disponen en cajas de cartón, se apilan en pallets y se pasan a las cámaras frigoríficas para un breve almacenamiento a  $0^\circ C$  antes de ser expedidos.

#### **4.3. COMERCIALIZACIÓN Y EXPEDICIÓN.**

La expedición será en transporte frigorífico normalmente a  $1^\circ C$ , distribuyéndose directamente al consumidor institucional o a través de las redes comerciales de mayoristas o al por menor. Las salas de venta suelen disponer de expositores a una temperatura entre 1 y  $5^\circ C$  (es preferible a  $1^\circ C$ ). La duración previsible más frecuente de la supervivencia comercial, o período transcurrido entre la elaboración y el consumo manteniendo la calidad y seguridad, suele ser de unos 10 días como máximo, aunque dependerá del tipo de producto (actividad

respiratoria, emisión de etileno, acidez, tipo de corte, daños en la manipulación, etc) (Artés, 2000b). Para Carlin *et al.*, (1989) estos productos almacenados entre 0 y 5°C deben ser distribuidos en una semana sin dejar de refrigerarlos a través de la cadena de distribución (Garret, 1997).

## **5. FISIOLÓGÍA DE UN PRODUCTO PROCESADO EN FRESCO.**

Cuando una fruta u hortaliza se aproxima al momento de recolección, se encuentra en el estado de desarrollo más sensible a sufrir daños o heridas que en estados prematuros de desarrollo. Los tejidos vegetales comienzan a envejecer y el balance en las reacciones degradativas (catabólicas) supera a las de biosíntesis (anabólicas). Este proceso conduce a cambios como el colapso de los lípidos, desorganización de membranas celulares y de sus orgánulos, y deacilación de los glicolípidos de los tilacoides en los cloroplastos (Mazliak, 1983; Rolle y Chism, 1987). En este proceso de senescencia, la estructura celular y la integridad de la membrana se debilitan y los tejidos maduros aumentan sus susceptibilidad al proceso de deterioro.

La deacilación de los glicolípidos, fosfolípidos y galactolípidos de la membrana, se liberan y acumulan en forma de ácidos grasos libres, los cuales son tóxicos para muchos procesos celulares. Éstos son capaces de interrumpir los sistemas biológicos provocando la lisis de orgánulos e inactivando proteínas. Los ácidos grasos poliinsaturados libres pueden también ser transformados en hidroperóxidos por acción de las hidroxidasas y lipoxigenasas. Los hidroperóxidos son muy inestables y pueden formar radicales libres, volátiles y otros productos finales responsables del daño en los alimentos (Mazliak, 1983). Además, los radicales libres reaccionan con otros compuestos a través de la sustitución del hidrógeno (oxidación). Con estas reacciones, los lípidos y las proteínas de membrana son dañadas químicamente alterándose la selectividad de la membrana celular para la difusión y dejando escapar contenidos celulares que dañan a células adyacentes (Omarkhayyam, 1986).

Todos estos cambios que se desarrollan durante la senescencia de un producto entero aumentan en uno procesado inducidos por el daño físico que sufre en el pelado y cortado. Esta respuesta se manifiesta particularmente en las células y tejidos adyacentes a los dañados por el corte, dado que se liberan ácidos y enzimas hidrolíticos que antes del procesado estaban confinados en la vacuola. El daño en la membrana celular desemboca en un aumento de la permeabilidad, un trastorno que conduce a la descompartimentación celular que pone en contacto a enzimas y sustratos. (King y Bolin, 1989; Mazliak, 1983; Rolle y Chism, 1987;

Saltveit, 1996; Solomos, 1997; Watada, 1990). Con esta descompartimentación se mezclan metabolitos (antes separados) con el sistema generador de etileno, así se estimula la evolución del mismo, lo que se identifica con “el etileno de herida o de estrés” (Mazliak, 1983).

La fisiología de un producto procesado en fresco es esencialmente la del tejido dañado. Este comportamiento se traducirá en un aumento de la respiración (emisión de CO<sub>2</sub>, consumo de O<sub>2</sub>, producción de calor, respiración anaerobia) y emisión de etileno, acumulación de metabolitos secundarios, daños físicos y químicos como pardeamientos y oxidaciones lipídicas, alteraciones del metabolismo fenólico (síntesis de fitoalexinas), inducción de síntesis de sustancias cicatrizantes (lignina y suberina). Además, el corte favorece la contaminación microbiana, la deshidratación (Brecht, 1995; Yildiz, 1997), acelera la maduración y senescencia (Mencarelli y Saltveit, 1988) e induce la biosíntesis de enzimas asociadas con un aumento de la velocidad de otras reacciones bioquímicas responsables del cambio de color (pardeamiento enzimático), sabor, aroma, textura y valor nutritivo (azúcares, ácidos y vitaminas) (Cantwell y Suslow, 2002; Pittia *et al.*, 2002).

La síntesis de nuevo ácido ribonucleico (ARN) y otros tipos de enzimas en los tejidos dañados pone de manifiesto el control génico de la respuesta a estas heridas (Brecht, 1995). Esta respuesta al daño sufrido, no sólo se manifiesta en los tejidos dañados sino también, en tejidos adyacentes debido a la propagación de la señal, la cual induce una miríada de respuestas. Normalmente, las respuestas aumentarán de forma proporcional al daño sufrido. Sin embargo, a partir de un determinado umbral de daño no aumenta la señal de respuesta, probablemente por el solape entre las distintas áreas que se expanden cuando reciben la señal. Debido a este solape se piensa que la señal se propaga de forma circular. Las células próximas al lugar de la herida están inducidas durante más tiempo y con mayor intensidad; conforme la señal se expande en forma concéntrica parece que la intensidad se disipa en los tejidos adyacentes. Las células más alejadas de la zona dañada están inducidas menos tiempo y con menor intensidad. Cuando la señal de la herida converge procedente de dos direcciones, hay una doble inducción, aumentando ésta ligeramente (Saltveit, 1996).

Por tanto, una fruta u hortaliza procesada en fresco siempre será más percedera que el producto entero del cual proviene.

## **5.1. INDUCCIÓN EN LA SÍNTESIS DE ETILENO.**

La herida que sufre un producto procesado induce en la síntesis de ACC (ácido 1-aminociclo-propano-1-carboxílico) sintetasa y por tanto, en la acumulación de ACC, el cual es

oxidado a etileno. La ruta de biosíntesis para la emisión del “etileno de herida” es la misma que para el etileno sintetizado en un fruto maduro (Mattoo y Anderson, 1984; Yang, 1982). Los niveles de ACC y ACC sintetasa aumentaron junto con el etileno en dañados tomates, calabacín de invierno y melones Cantaloupe (Abeles *et al.*, 1992). Según Olson *et al.* (1991), en tomate existen tres formas de ACC sintetasa, dos de las cuales (ACC sintetasa 1 y 2) intervienen en la madurez del tomate. Sin embargo, sólo la ACC sintetasa 1 aumenta bajo situaciones de estrés mecánico.

El efecto del corte en el aumento de la tasa respiratoria y emisión de etileno es diferente según se trate de un fruto climatérico o no, y según del estado en que se encuentre dentro del climaterio (Rosen y Kader, 1989). El cortado o loncheado aumentó la respiración en un 50% en fresa almacenada a 2,5°C, pero no tuvo ningún efecto en la síntesis de etileno a esa temperatura tan baja, típico de un fruto no climatérico. Sin embargo, en peras (fruto climatérico) parcialmente maduras el cortado aumentó la respiración en un 30% pero disminuyó la emisión de etileno a 2,5°C. Luego la herida induce una síntesis de etileno, particularmente en frutos climatéricos y en estado pre-climatérico, pero no en estado post-climatérico (Watada, 1990).

El estado de madurez puede influir en la respuesta fisiológica al cortado. En Cantaloupe, la emisión de etileno fue mucho mayor en cilindros procedentes de melones maduros que en aquellos procedente de melón menos maduros (Cantwell y Suslow, 2002). El loncheado de tomates pintones aumentó la emisión de etileno de 3 a 4 veces más y aceleró su madurez comparado a un tomate entero (Mencarelli *et al.*, 1989). Brecht (1995) comprobó que la emisión de etileno de rodajas de tomate maduro difería según la proximidad al tallo. Así, las rodajas más lejanas al cáliz manifestaron el climaterio antes que aquellas de la zona ecuatorial o próximas al cáliz. Todas las rodajas procedentes de la zona más lejana emitieron más etileno (unas dos veces más) que las rodajas de zonas más próximas al cáliz y mucho más que un tomate entero en su estado climatérico. La producción del “etileno de herida” es normalmente mayor en preclimatéricos y climatéricos que en postclimatéricos tejidos (Abeles *et al.*, 1991), y visto que etileno de herida no tiene efecto en fruta madura no climatérica, podría adelantar la madurez y posterior senescencia de frutos climatéricos (Brecht, 1995).

En determinadas frutas y hortalizas, los niveles de etileno aumentan en proporción a la intensidad del daño (Brecht, 1995; Floros, 1993). La emisión de etileno es proporcional al área dañada y por tanto, a la intensidad del estrés (Watada *et al.*, 1990). Cantwell y Suslow (2002) comprobaron que pequeños cilindros de Cantaloupe alcanzaron mayores niveles de etileno que otros de dimensiones mayores, aunque éstos últimos similares a un melón intacto, todos almacenados a 2, 10 y 20°C (Tablas 5 y 6).

Los cambios más importantes en el color, sabor, aroma y textura están relacionados directamente o indirectamente con el etileno (Rolle y Chism, 1987).

**Tabla 5.** Respuesta de melón y tomate procesados en fresco en comparación con el producto intacto.

<b>Producto</b>	<b>Estado madurez</b>	<b>T<sup>a</sup> (°C)</b>	<b>Tamaño pieza*</b>	<b>Respiración comparada al producto entero</b>	<b>Emisión etileno comparada al producto entero</b>
<b>Cantaloupe</b>	Maduro	20	0,2 mm	-----	Aumenta x 10
	Madurándose	2	2 x 1 cm	Similar	Similar
	Maduro	2	2 x 1 cm	Similar	Similar
	Madurándose	10	2 x 1 cm	Similar	Similar
	Madurándose	20	2 x 1 cm	Aumentada x 2	Similar
<b>Tomate</b>	Verde-maduro	20	1 cm	Similar	Similar
	Madurándose	20	1 cm	Aumenta	Aumenta x 5
	Maduro	20	1 cm	Similar	Similar

**Fuente:** recopilado por Cantwell, 1996. \* Cilindros en melón y rodajas en tomate.

## 5.2. AUMENTO EN LA TASA RESPIRATORIA.

En un producto intacto, las distintas etapas que componen el proceso respiratorio y la cadena de transporte de electrones, se encuentran controladas, sin embargo, cuando un tejido se procesa, estas etapas se desbloquean. Este aumento en la respiración en tejidos dañados es consecuencia del aumento en la emisión de etileno, el cual estimula la respiración. Para curar esa herida y alimentar esa “respiración inducida”, aumenta la degradación del almidón, se acelera el catabolismo de los azúcares (vía glicolisis) y se activa el ciclo de los ácidos tricarbónicos y la cadena de transporte de electrones, con ello, se permite sintetizar ATP (adenosin trifosfato) (Laties, 1978). En opinión de Rolle y Chism (1987) el cortado y/o pelado aumenta la tasa respiratoria dado que al eliminar la piel, se reduce la difusión gaseosa del tejido y aumenta la permeabilidad de la membrana. La respiración tiene lugar en la mitocondria y el O<sub>2</sub> alcanza ésta al atravesar la piel, espacios intercelulares y membranas.

En general, un producto no climatérico tiene mayor tasa respiratoria en los estados tempranos de desarrollo y se reduce conforme evoluciona la madurez. Sin embargo, en un fruto climatérico también tiene una mayor respiración en los estados más tempranos de desarrollo,

para disminuir posteriormente hasta volver a aumentar al coincidir con la madurez gustativa o senescencia. López-Gálvez *et al.* (1997) observaron una mayor tasa respiratoria en rodajas de pimiento inmaduro que en verdes-maduros, pintones y rojos-maduros.

La respiración climatérica también puede estar afectada por las heridas. McLeod *et al.* (1976), comprobaron que cuando un tomate era magullado tanto la respiración como la emisión de etileno aumentaban en comparación al testigo, y además, se adelantaba la maduración. La respuesta de la respiración a la herida también depende, como en el etileno, de la magnitud del estrés. A mayor grado de procesado mayor tasa respiratoria (Cantwell y Suslow, 2002). La tasa respiratoria de cubos, con mayor superficie y grado de procesado, fue mayor en comparación con rodajas, cuartos o el producto entero de calabacín y nabo almacenados a 2°C (Chu y Wang, 2001). En un producto procesado en fresco, cuando la temperatura se incrementa de 0 a 10°C, la tasa respiratoria aumenta de forma significativa, con un  $Q_{10}$  de 3,4 a 8,3 (Watada, 1996). Calabacín, tomate y kiwi tuvieron un  $Q_{10}$  de 3,5 mientras que en pimiento, muskmelon y crenshaw fue de 8,3.

Watada *et al.* (1996) determinaron una mayor tasa respiratoria en rodajas en comparación con el intacto en judías verdes, pepinos, kiwis, plátano, melocotón, lechuga y zanahorias almacenadas a 0, 5, 10 y 20°C. Sin embargo, entre los distintos cultivares de melones la tasa respiratoria del procesado fue similar o ligeramente inferior que los melones enteros cuando se almacenaban a 0,5 y 10°C, pero muy superior si se conservaban a 20°C. En tomate, las diferencias entre loncheado y entero se observaron a partir de los 5°C (Tabla 14). Artés *et al.* (1999) tampoco observaron diferencias entre tomate “Durinta” procesado en rodajas y el entero a 2°C. Sólo cuando se almacenaban a 10°C, se encontraron importantes desigualdades a partir del segundo día. Madrid y Cantwell (1993), observaron una tasa respiratoria similar en cilindros de Cantaloupe que en el fruto entero a 0 y 10°C; sólo cuando se almacenaban a 20°C las diferencias entre el procesado y el melón intacto eran notables (Tablas 7 y 8). Al igual que en el etileno, el estado de madurez también influyó, los más maduros (14,4° Brix) obtuvieron ratios respiratorios dos veces mayores que los menos maduros (10,4° Brix) (Tablas 6 y 7).

**Tabla 6.** Respiración y emisión de etileno en melón Cantaloupe entero o procesado en cilindros almacenado a 0, 10 y 20°C durante 36 horas (Madrid y Cantwell, 1993).

	INTACTO			PROCESADO		
	0°C	10°C	20°C	0°C	10°C	20°C
$\text{mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	4,1	11,2	23,8	5,6	11,2	59,6
$\mu\text{l C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	1,2	2,0	15,7	0,8	1,7	16,5

El incremento en la respiración depende también de la variedad botánica y cultivar (Kim *et al.*, 1993; Madrid y Cantwell, 1993; Song *et al.*, 1992). Kim *et al.* (1993a) y (1993b) observaron una gran variabilidad entre 12 cultivares de manzana almacenados a 2°C cortados en rodajas. Madrid y Cantwell (1993) comprobaron que a 5°C y en un mismo estado de madurez el Honeydew tenía una menor tasa respiratoria y emisión de etileno que el Cantaloupe. Watada *et al.* (1996) también observó estas diferencias entre Muskmelon, Crenshaw y Honeydew (Tabla 7).

**Tabla 7.** Tasa respiratoria ( $\text{mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) en tomates o melones intactos y procesados almacenados a varias temperaturas.

Producto	Tipo de corte	Temperaturas (°C)				
		0	5	10	20	
Tomate	Intacto	1,6	2,3	4,7	20,2	
	Rodajas	1,4	3,0	10,0	35,0	
	% Cambio	-12,5	30,4	112,8	73,3	
Melón	Muskmelon (tipo largo)	Intacto	4,8	8,6	14,7	78,7
		Cubos	3,7	7,0	12,2	230,0
		%Cambio	-22,9	-18,6	-17,0	192,2
	Muskmelon (tipo corto)	Intacto	3,1	6,3	13,6	56,7
		Cubos	2,7	4,2	9,8	81,0
		%Cambio	-12,9	-33,3	-27,9	42,9
	Crenshaw	Intacto	2,1	4,0	6,8	22,5
		Cubos	1,2	3,2	9,0	77,0
		%Cambio	-42,9	-20,0	32,4	242,2
	Honeydew	Intacto	1,4	4,6	5,2	10,0
		Cubos	2,3	3,0	8,3	62,0
		%Cambio	64,3	-34,8	59,6	520,0

Fuente: Watada *et al.*, 1996.

### 5.3. PARDEAMIENTO.

Un desorden inducido por el procesado es la alteración de color que sufren determinadas frutas y hortalizas como manzanas, melocotones, patatas, lechugas y zanahorias procesadas en fresco. El pardeamiento se desarrolla en la superficie cortada de manzanas, melocotones, peras,

patatas y lechugas mientras que en las zanahorias se forma un tejido blanquecino (Watada, 1997). El pardeamiento enzimático consiste, básicamente en la oxidación de sustratos fenólicos a o-quinonas, moléculas muy reactivas que condensan rápidamente, combinándose con grupos amino o sulfhidrilo de las proteínas y con azúcares reductores, dando lugar a polímeros pardos, rojizos o negros, de alto peso molecular y estructura desconocida. La formación de o-quinonas es una reacción reversible en presencia de agentes reductores como el ácido ascórbico, dando lugar a o-difenoles incoloros, mientras que la polimerización posterior es irreversible (McEvily *et al.*, 1992; Taylor y Clylesdale, 1987).

El proceso de pardeamiento se desencadena cuando, tras la operación de corte durante el procesado, se ponen en contacto los sustratos fenólicos, de localización vacuolar, con las enzimas que catalizan las reacciones de oxidación de los polifenoles (polifenol oxidasa o PPOx), de localización citoplasmática, asociada a estructuras de las membranas primordialmente a los plastidios. El pardeamiento enzimático se da cuando los sustratos fenólicos, la PPOx y el oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) se unen bajo condiciones apropiadas de pH, temperatura y actividad del agua (Artés, 1995a; Artés *et al.*, 1998; Barret *et al.*, 1991; Hsu *et al.*, 1988; Kim *et al.*, 1993a; Mayer, 1987; Mayer y Harel, 1991).

## **5.4. FIRMEZA Y DESHIDRATACIÓN.**

### **5.4.1. Firmeza.**

Uno de los cambios más notables durante el proceso de maduración, es el ablandamiento irreversible, el cual está íntimamente relacionado con las alteraciones bioquímicas en la pared celular, lámina media y membrana plasmática. La pared celular sufre una serie de modificaciones que son la causa fundamental del ablandamiento, deterioro del tejido y susceptibilidad a patógenos. Estas modificaciones son reguladas, al menos, en parte por la expresión genética que codifica las modificaciones enzimáticas de la pared celular (Fischer y Bennett, 1991).

Los enzimas relacionados con este ablandamiento son pectinasa, poligalacturonasa (PG) y pectín metil esterasa (PME) (Fischer y Bennett, 1991; García y Barrett, 2002). Estos cambios en la textura afectan tanto a la comestibilidad del producto como a su vida útil (Varoquaux *et al.*, 1990). Durante la maduración y senescencia, se produce la conversión de protopectina insoluble a pectina, disminuye la cristalinidad de la celulosa y el ácido galacturónico, se reduce el volumen de las células, así como el espesor de la pared celular e incluso, caso de la fresa, pueden llegar a plegarse las paredes celulares (Labavitch, 1981). Se desconoce el mecanismo

por el cual un producto se ablanda. La PG cataliza la hidrólisis de los enlaces glicosídicos de la pectina (polímero de ácido galacturónico que puede estar esterificados con metanol) de la lámina media y la pared celular. La PME provoca la hidrólisis de los grupos metilos que pueden estar esterificando al ácido galacturónico (Barrett, 1996). Además de la PG, la  $\beta$ -galactosidasa hidrolizan los compuestos pécticos dando lugar a una disminución en la turgencia de la célula. La sensibilidad de la célula a la hidrólisis enzimática varía considerablemente entre cultivares, incluso influye la composición mineral. Enzimas como  $\beta$ -galactosidasa y exo-PG inician la mayoría de los indeseables cambios en la textura. Ambas solubilizan la pectina y degradan la pared celular. Exo-PG cataliza las reacciones de los grupos libres de ácido galacturónico y endo-PG cataliza las cadenas de ácido poligalacturónico (King y Bolin, 1989).

El procesado de una fruta u hortaliza conlleva, generalmente a una pérdida de firmeza como observaron Ponting *et al.* (1972) en manzana. Qi *et al.* (1998) detectaron, en el día 6, un ablandamiento del 66% a 10°C y del 29% a 5°C en cilindros de Honeydew conservados en aire y bajo 4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> el ablandamiento era de un 27%.

Risse y Hatton (1982) comprobaron el ablandamiento de sandía cuando ésta se mantenía en una atmósfera con etileno a 18°C. Según estos autores, debido a un aumento en la actividad pectinasa, celulasa, esterasa, PPOx y peroxidasa, todas ellas inducidas por el etileno. Determinados géneros de microorganismos sintetizan enzimas (celulasas y otras pectolíticas) causando la descomposición de los tejidos. Los géneros más importantes dentro de las bacterias que sintetizan enzimas pectolíticas son *Erwinia* y *Pseudomonas*, *Bacillus spp.*, *Cytophaga johnsonae* y *Xanthomonas campestris* capaces de crecer a bajas temperaturas (Liao y Wells, 1987).

La velocidad de ablandamiento del kiwi también es dependiente del etileno y la temperatura (Arpaia *et al.*, 1986). Niveles de etileno de 0,05 – 5 ppm aceleraron el ablandamiento, que aumentó con el tiempo y la concentración de etileno. Las rodajas de kiwi pierden el 50% de su firmeza inicial en menos de 2 días a 2°C. Varoquaux *et al.* (1990) sugirieron que la degradación de la textura de las rodajas de kiwi durante el almacenamiento se debió a la hidrólisis enzimáticas de los componentes de la pared celular debido a la activación enzimática por el estrés. Estas células dañadas por el corte liberan enzimas proteolíticas y pectinolíticas que podrían difundirse hacia el interior de los tejidos. La velocidad de migración de las macromoléculas a través del tejido del kiwi es sorprendentemente elevada. Los mecanismos de hidrólisis de los componentes de la pared celular después del corte difieren de los implicados en el proceso normal de maduración del kiwi en el que predomina la solubilización de las protopectinas.

Watada *et al.*, (1990) resaltaron el papel del etileno en la pérdida de firmeza en las rodajas de kiwi al envasarlas juntas con trozos de plátano. La exposición de las rodajas de 2 a 20 ppm de etileno se tradujo en una aceleración de la pérdida de firmeza. No obstante, Watada *et al.*, (1990) sugirieron que el “etileno de herida” puede incrementar la permeabilidad de las membranas y quizás reducir la biosíntesis de fosfolípidos, que a su vez puede perturbar la integridad de la membrana y de la estructura celular. Si bien, como señalaron Varoquaux *et al.* (1990), la pérdida de firmeza de las rodajas de kiwi comienza inmediatamente después del corte, produciéndose a la misma velocidad de ablandamiento que la que tiene lugar después de 6 o 12 horas del corte. Por consiguiente, la degradación de la textura no está inicialmente provocada por la neosíntesis de las enzimas inducidas por el etileno.

Los factores que intervienen en el desarrollo de un mayor o menor ablandamiento son, genéticos, morfología del tejido, estructura de la pared celular, lámina media, turgor celular, contenido en agua y componentes bioquímicos (Harker *et al.*, 1997). Además, la textura está influenciada por las condiciones de cultivo, factores ambientales y prácticas culturales (Sams, 1999).

#### **5.4.2. Deshidratación.**

Tras la recolección de las frutas y hortalizas, el agua que pierden en la transpiración no puede ser reemplazada y deben utilizar únicamente el agua interna. A pesar de que las frutas y hortalizas están principalmente compuestas de agua, pequeños cambios en el contenido de agua se traducen en consecuencias negativas como mermas en el producto y reducción en la calidad. Según Day (1993) con pérdidas de entre 3-6% la reducción en la calidad es notable. Pérdidas de agua del 3 al 5% en espinaca y manzana respectivamente las convierte en productos totalmente no comercializables (Sams, 1999). La frescura de un producto está relacionado con la turgencia y las pérdidas de agua pueden contribuir a aumentar el ablandamiento y disminuir la apariencia (Brecht, 1995).

Los productos procesados en fresco son mucho más vulnerables a la pérdida de agua ya que no poseen ninguna barrera para protegerse frente a la deshidratación. La corteza o piel en muchos casos cética, ha sido eliminada y, evidentemente, convierte al producto procesado en altamente perecedero. En órganos enteros, el agua que ocupa los espacios intercelulares no está directamente expuesta a la atmósfera externa (Brecht, 1995). Sin embargo, además, en las operaciones de cortado, picado, rallado, etc, se incrementa el área y se exponen directamente los tejidos internos a la atmósfera, aumentando drásticamente la velocidad de evaporación del agua (García y Barrett, 2002).

Todo este proceso se acelera cuando se utiliza la centrifugación como método para eliminar el agua sobrante, ya que incrementan la desecación (Bolin y Huxsoll, 1989). La desecación también puede inducir etileno de estrés en las frutas y hortalizas separadas de la planta (Yang, 1985).

Las frutas son mucho más susceptibles a la deshidratación que las hortalizas procesadas dado que normalmente, en las frutas las barreras que previenen de la deshidratación tienen que ser eliminadas en el pelado durante el procesado (Gorny y Kader, 1996a).

La deshidratación puede ser minimizada con el apropiado control de la temperatura y HR. Es muy importante restringir el movimiento de las capas de aire en las proximidades del producto (Wills *et al.*, 1998), manteniendo una HR elevada alrededor del producto para reducir el déficit de presión de vapor de agua y minimizar la pérdida de esta. El adecuado envasado jugará un primordial papel a la hora de proteger un producto procesado en fresco eligiendo plásticos que presenten una muy baja permeabilidad al vapor de agua.

## **5.5. MICROBIOLOGÍA.**

Los microorganismos constituyen un factor muy importante en las frutas y hortalizas procesadas en fresco. Las bacterias, levaduras y mohos son responsables de hasta el 15% de la alteración post-cosecha y representan pérdidas económicas muy significativas para todos los industriales implicados en la cadena de distribución. Además, los productos que muestran signos de crecimiento microbiano incluso sin pudrición clara son estéticamente desagradables y no es probable que el consumidor los compre (Brackett, 1997). A esto hay que añadir la pérdida de ablandamiento, pérdidas de sabor y desarrollo de aromas extraños (Gram *et al.*, 2002). Aunque las pérdidas económicas constituyan un motivo suficiente para calibrar la importancia de la microbiología, aún lo es más garantizar la seguridad de los productos al consumidor ya que las bacterias patógenas constituyen la más seria amenaza a la salud (Brackett, 1997).

Sin embargo, el tipo y población diferirá según el tipo de producto, desinfección, prácticas culturales, área geográfica y el clima, así como la presencia de insectos, animales o pájaros en las frutas y hortalizas cultivadas afectarán al tipo de microorganismo presente, y por tanto, a su manejo, almacenamiento, procesado y condiciones de distribución (Brackett, 1987; Nguyen-the y Carlin, 1994; Zagory, 1999)

A pesar de que las especies de microorganismos encontradas en un producto entero o procesado son tremendamente variables (Jacxsens *et al.*, 2002a), se pueden esperar determinados grupos o especies según el tipo de producto. Las bacterias gram-positivas son los microorganismos predominantes del suelo, las gram-negativas son normalmente menos

numerosas en el suelo. Además, las hortalizas frescas, sin procesar, tienen como características una elevada cantidad de agua y de nutrientes y un pH neutro. Por el contrario, las frutas poseen mayores cantidades de azúcar, son más ricos en ácidos orgánicos y tienen un pH más ácido (<4,6). Por ello, las hortalizas favorecerán generalmente el crecimiento de cualquier tipo de microorganismo, tanto bacterias como hongos, pero puesto que las bacterias crecen más rápido que los hongos a pH neutro, éstas tendrán cierta ventaja de implantarse de forma competitiva, usualmente son las bacterias gram-negativas las que se aíslan con más frecuencia (Brackett, 1987). De forma más concreta la población que coloniza a los vegetales procesados en fresco consiste en *Pseudomonas* spp., *Xanthomonas* spp., *Enterobacter* spp., *Janthinobacterium* spp, levaduras, bacterias ácido lácticas y menos frecuentemente *Aeromonas hydrophila* y ocasionalmente *Listeria monocytogenes* (Carlin *et al.*, 1995).

En las frutas, debido a su alta acidez, permiten principalmente el crecimiento de hongos y bacterias acidúlicas. Los géneros más comúnmente aislados de bacterias y hongos se exponen en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Géneros microbiológicos más comúnmente aislados en frutas y hortalizas

	<b>HORTALIZAS (pH &gt; 4,6)</b>	<b>FRUTAS (pH &lt; 4,6)</b>
<b>Bacterias</b>	Gram-: <i>Pseudomonas</i> , <i>Erwinia</i> , <i>Enterobacter</i> Gram+: <i>Bacillus</i> , <i>bact. coreniformes</i>	Bacterias ácido lácticas ( <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Lactobacillus</i> spp.)
<b>Levaduras</b>	<i>Cryptococcus</i> , <i>Rhodotorula</i> , <i>Candida</i> , <i>Kloeckera</i> .	<i>Saccharomyces</i> , <i>Hanseniaspora</i> , <i>Pichia</i> , <i>Kloeckera</i> , <i>Candida</i> , <i>Rhodotorula</i>
<b>Mohos</b>	<i>Aureobasidium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Epicoccum</i> , <i>Mucor</i> , <i>Chaetomium</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Phoma</i>	<i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Mucor</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Botrytis</i>

**Fuente:** Brackett, 1997.

Kaneko *et al.* (1999) del análisis de 238 muestras de productos listos para consumir procedentes 27 tiendas de detalle de Tokio, demostraron que las ensaladas procesadas en fresco eran los productos más contaminados de los seis tipos examinados. Los principales grupos bacterianos presentes en las mismas eran aerobios totales y coliformes.

La temperatura a la que se mantiene un alimento es probablemente el factor único más importante que afecta al crecimiento microbiano. La mayoría de los microorganismos tienen una temperatura óptima de crecimiento, si bien son capaces de crecer, aunque más lentamente, a

temperaturas superiores o inferiores a la óptima. Los gérmenes capaces de desarrollarse en un producto procesado en fresco refrigerado son los psicrotrofos, no obstante, los mesófilos a pesar de que crecen mejor a temperaturas templadas lo hacen también bajo refrigeración y pueden crecer con elevadas temperaturas.

El almacenamiento y procesado de estos alimentos en un ambiente refrigerado seleccionará gradualmente los psicrotrofos (Abee y Wouters, 1999; Brackett, 1997; Nguyen-the y Carlin, 1994; Varoquaux *et al.*, 1996). Los mecanismos que permiten crecer bajo refrigeración están relacionados con las modificaciones para mantener la fluidez de la membrana y el mantenimiento de la integridad estructural de macromoléculas como proteínas y ribosomas. Una de las reacciones mejor estudiadas bajo temperaturas de refrigeración es la síntesis de proteínas de choque térmico que juegan un papel muy importante en la posterior traducción de señales medioambientales a los nucleótidos de las bacterias (Abee y Wouters, 1999).

Los microorganismos han desarrollado numerosas estrategias para mantener la fluidez en sus membranas. En general, conforme la temperatura disminuye, aumenta la proporción de los ácidos más cortos y/o insaturados grasos de los lípidos con ello modulan la actividad de proteínas intrínsecas que realizan funciones como bombeo de iones o absorción de nutrientes (Russell *et al.*, 1995). En *E.coli* la proporción de cis-ácido vacénico (C 18:1) aumenta con la disminución de la temperatura a expensas del ácido palmítico (C 16:0). El aumento medio en la longitud de la cadena tiene un efecto opuesto en la fluidez de la membrana pero pesa más que el efecto de aumentar la fluidez por insaturación de los ácidos (Abee y Wouters, 1999).

Los productos troceados o cortados tendrán una microbiología modificada por varias causas. En primer lugar, el corte permite que el jugo salga desde los tejidos, y contienen nutrientes que utilizan los microorganismos. Esto se une a que el corte aumenta la superficie de los productos, lo que acelera el crecimiento microbiano. Por consiguiente, salvo que la desinfección sea correcta, los productos cortados tendrán mayores recuentos microbianos que los intactos. Un segundo aspecto importante, es que estos han perdido la normal protección (piel o capas externas). Algunas veces, los gérmenes que no se consideran normalmente como alterantes pueden ejercer como tales cuando faltan los mecanismos usuales de protección.

La flora encontrada en un producto procesado en fresco agrupa a mesófilos, bacterias ácido lácticas, coliformes, coliformes fecales, levaduras, mohos y flora pectinolítica (Nguyen-the y Carlin, 1994). La calidad de un producto es aceptable incluso con altos recuentos de microorganismos (Bennik *et al.*, 1998; Nguyen-the y Carlin, 1994). No obstante, los recuentos microbiológicos sólo sirven para dar una idea de la carga microbiana pero no indica si la población es perjudicial. La flora normal presente en la superficie de un producto procesado en

fresco no necesariamente perjudica la calidad o representa un riesgo, pero sirve para como indicador del deterioro crítico del producto (Garret, 1997).

A pesar de que los productos procesados son lavados con soluciones cloradas no se eliminan todos los microorganismos. Éstos pueden sobrevivir y hospedarse en el interior de las células (o en células adyacentes a las rotas) o en zonas donde el desinfectante no penetra (Babic *et al.*, 1996). No obstante, normalmente, los análisis en las distintas etapas de la cadena de procesado reflejaron que el producto final está frecuentemente menos contaminado que el crudo y entero del cual procedió (King *et al.*, 1991) a pesar de que los procesos de cortado, aclarado y centrifugación incrementan el crecimiento microbiano (Allende *et al.*, 2003).

Según Kaneko *et al.* (1999) en ensaladas procesadas en fresco los niveles de aerobios totales a la llegada al comercio oscilaban entre 3,4 y 7,6 unidades log y tras 3 días a 10°C alcanzaban los 4,7 y 8,7 unidades log. Normalmente, los recuentos totales tras el procesado oscila entre 3 y 6 log (Nguyen-the y Carlin, 1994). A continuación, se exponen recuentos de distintos investigadores, en frutas y hortalizas procesadas en fresco.

- 1) 6 log en patatas después de 21 día a 1°C o una población similar tras 7 días a 6°C (Cacace *et al.*, 2002).
- 2) 3,9 log en kiwi, 7,3 papaya y 5,5 log en piña de recuentos totales conservada a 4°C y tras 11 días de conservación (O'Connor-Shaw *et al.*, 1994).
- 3) 8 log tanto en aerobios totales como levaduras y mohos en zanahoria tras 10 días a 8°C (Barry-Ryan, 2000).
- 4) 7,5 log de aerobios totales en pepino y conservado a 5°C tras 6 días de conservación o 4 días a 10°C (Kang y Lee, 1997).
- 5) 8 log de mesófilos y psicrotrofos en Lollo Rosso después de 7 días de conservación a 5°C (Allende *et al.*, 2003).

## 5.6. VITRESCENCIA O TRANSLUCENCIA EN MELÓN.

Es un desorden fisiológico cuya causa no ha sido aún dilucidada que provoca la desvalorización de melones en el campo. También puede manifestarse a lo largo del almacenamiento a medida que el fruto va utilizando los azúcares como energía para su metabolismo (Namesny, 1999).

Se trata del proceso por el cual los espacios celulares libres se llenan con líquido, dando a los tejidos un aspecto de transparencia. Según Paull *et al.* (2003), en piña está asociada a una

mayor actividad de las enzimas catalasas y galactosidasa, lo que ocasiona modificaciones en los galactolípidos de la membrana alterando su permeabilidad.

Es una alteración de la textura de la pulpa, la cual, se convierte en oscura y vítrea, y en una temprana sobremadurez de la fruta. Odet y Dumoulin (1993) y Deikman *et al.* (1998) opinan que el calcio y el etileno juegan un importante papel en promover este desorden dado están relacionadas en muchos procesos que incluyen madurez o senescencia. Serrano *et al.* (2002) comprobaron que la nutrición cálcica tenía un importante efecto en la inhibición de translucencia de Cantaloupe.

En un importante estudio realizado por Chatenet *et al.* (2000) se observó que en melón entero, estos síntomas aparecían primero en la zona distal de la fruta. Las células adquirirían una forma irregular con pocas conexiones entre ellas, sugiriendo una desorganizacióm de la pared celular y un incremento de los espacios intercelulares. Esta translucencia en el tejido del melón también mostraba una interrupción de la pared celular pudiendo reducir el turgor celular, alterar el potencial acuoso, incrementar la absorción de agua y, finalmente, concluía en un tejido hiperhidratado. Según estos autores, el desarrollo de translucencia es independiente del etileno a pesar de que muchos autores sugieran que este desorden aparece durante los estados más tempranos de la fase climatérica relacionándolo con la producción de etileno. Chatenet *et al.* (2000) encontraron una proteína específica sólo en los tejidos sanos ausente en los tejidos con translucencia, descubriendo una fuerte relación entre la deficiencia de calcio y el desarrollo de translucencia. Esta proteína está ausente en los tejidos enfermos pero se desconoce si su desaparición es una causa o consecuencia de este desorden y si ésta se relaciona con el mantenimiento de la pared celular. El calcio además de estabilizar la pared celular al establecer puentes entre los polímeros pécticos actúa como segundo mensajero transmitiendo señales celulares. Los cambios cálcicos en el interior de la célula pueden regular la actividad de muchas enzimas a través de la formación de complejos funcionales con calcio activado conllevando a cambios relacionados con la organización celular y la expresión génica (Zielinsky, 1998).

## **6. MECANISMOS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS PROCESADOS EN FRESCO.**

Los principales factores que influyen en la respiración y permiten prolongar la vida útil de un producto procesado en fresco son la temperatura y la modificación y control de la atmósfera que rodea al producto (Fonseca *et al.*, 2002).

## 6.1. TEMPERATURA.

En los productos procesados en fresco, la temperatura, es el principal parámetro para mantener una adecuada calidad visual, reducir la respiración, frenar el ablandamiento y reducir el crecimiento microbiano (Artés *et al.*, 2002; Brackett, 1987; Cantwell y Suslow, 2002; Jacxsens *et al.*, 2002; Kader *et al.*, 1989; Zagory, 1996), y mantener la calidad del melón procesado en fresco (Madrid y Cantwell, 1993) por encima del envasado en atmósfera modificada (EAM). Sinigaglia *et al.* (1999) observaron que un corto retraso, de 12 h sin refrigeración, tras el escurrido de lechuga y zanahoria procesada, fue suficiente para permitir una proliferación microbiana y subsiguiente acortamiento de la vida útil de estos productos.

Las bajas temperaturas minimizan las diferencias en la respiración y emisión de etileno entre un producto procesado en fresco y el intacto del cual procede (Cantwell y Suslow, 2002; Watada *et al.*, 1996). La temperatura de un producto debe disminuirse a un nivel justo por encima del punto de congelación del tejido o justo por encima de la temperatura umbral que produce daño por el frío en productos sensibles a las bajas temperaturas. La temperatura es el factor ambiental más efectivo para retrasar la maduración y por ello, las frutas y hortalizas, siempre que se pueda, deben mantenerse a 0°C (Kader, 1989).

No hay una legislación comunitaria que establezca la temperatura de los productos procesados en fresco, que son un producto más dentro de los productos refrigerados. En Francia, la legislación de la “légumes de la 4e gamme” mínimamente procesadas regula una temperatura máxima de 4°C (Jacxsens *et al.* 2002a). Pirovani *et al.* (1998) y Gillian *et al.* (1999) recomiendan el almacenamiento del producto envasado en torno a los 4°C y un 70-80% de HR. Watada *et al.* (1996) aconsejan un rango entre 0 y 5°C. A pesar de que apenas existe legislación sobre la temperatura legal de conservación de este tipo de producto, la tercera directiva de seguridad alimentaria para los productos procesados en fresco publicada por la IFPA recomienda 4,4°C como la temperatura ideal de conservación además de etiquetar el producto con la advertencia de “manténgase refrigerado” (Garret, 1997).

Temperaturas excesivas (>7°C) o una refrigeración inadecuada, son las principales factores para el desarrollo de patógenos en un producto procesado (Brackett, 1999; Bryan, 1988). Normalmente, estas temperaturas inapropiadas se desencadenan durante la distribución y exposición en los supermercados (Kaneko *et al.*, 1999) y son prácticas comunes de los comercios, de ahí la necesidad de predecir, a través de la modelización, las concentraciones gaseosas internas y el crecimiento microbiano simulando la cadena de distribución en el “peor de los casos” (Jacxsens *et al.*, 2002a). Según estos, una temperatura superior a 10°C puede encontrarse en la cadena de frío de un producto procesado en fresco durante el transporte y

descarga al supermercado, almacenamiento y exposición en vitrinas y finalmente en los refrigeradores domésticos. Un estudio de LeBlanc *et al.* (1996) reveló el uso de temperaturas excesivas en tiendas o al por menor. De 746 productos analizados en invierno y verano, el 87% y el 93% de las muestras respectivamente, que deberían conservarse a 4°C se mantenían sobre esta temperatura alcanzando incluso los 8,4°C.

### 6.1.1. Daños por frío.

Si las temperaturas son excesivamente bajas, se pueden desarrollar daños fisiológicos, acelerándose la senescencia y devaluándose el producto (Fidler y North, 1967; Zagory y Kader, 1988).

Los patrones respiratorios de las frutas y hortalizas en respuesta a las bajas temperaturas son variables. Muchas frutas y hortalizas son sensibles y muestran un aumento en la tasa respiratoria con temperaturas frías (Eaks, 1960; Eaks y Morris, 1956; Kang y Lee, 1997; Saltveit, 1999) presumiblemente debido a un desacoplamiento en la fosforilación oxidativa (Creencia y Bramlage, 1971; Eaks, 1960). Lyons (1973) sugirió que este aumento en la tasa respiratoria refleja un fenómeno dañino que transtorna el metabolismo.

Uno de los principales factores que inducen daño por frío es la alteración en la membrana plasmática (Lyons, 1973), con cambios en la configuración de la membrana celular (de un líquido cristalino a un gel) y la sensibilidad del mismo está relacionado con los fosfolípidos de la membrana. La alteración de la membrana plasmática a un estado menos fluido conduce a un desequilibrio, descompartimentación y posterior fuga de agua e iones.

Markhart (1986) observó una disminución en la permeabilidad de la membrana y, consecuentemente, cambios en la actividad de la membrana asociados a los sistemas enzimáticos que alteran el metabolismo. El trastorno en la función mitocondrial inhibe el acoplamiento de enzimas tales como los que participan en el ciclo de los ácidos tricarbónicos pero no afectan a enzimas glicolíticas del citoplasma, de ese modo, se crea un desequilibrio en la ruta implicada. El efecto neto de este desequilibrio es la acumulación de productos tales como acetaldehído, etanol, piruvato y oxalacetato potencialmente tóxicos para la célula y, además, imparten sabor y aromas extraños.

Más tarde, Wise y Naylor (1987) sugirieron que el mecanismo del daño por frío era debido a la peroxidación lipídica y que los superóxidos son realmente los que causan el daño. Por ello, la presencia de antioxidantes sirven como protectores frente a este daño.

La producción de etileno se estimula por varios tipos de estreses incluyendo heridas mecánicas (cepillado y cortado), la infecciones por patógenos, también se acumula en respuesta

a temperaturas (bajas, de congelación y en ocasiones por las elevadas temperaturas). En gran número de plantas, la producción de  $C_2H_4$  se estimula por las bajas temperaturas (Wang y Adams, 1980). La ruta de la biosíntesis de  $C_2H_4$  por la exposición a bajas temperaturas es la misma que se desarrolla en la madurez de las frutas. El aumento en la producción de  $C_2H_4$  es debido a un incremento en la actividad del tejido a sintetizar ACC. Sin embargo, la enzima asociada a la conversión de ACC a etileno es dañada con las temperaturas de refrigeración (Wang y Adams, 1980).

La severidad de los síntomas depende de la temperatura y tiempo de conservación (Lipton, 1978).

Los síntomas de daño por frío no suelen ser visibles a temperaturas de refrigeración, sino que se expresan a temperatura ambiente (Saltveit y Cabrera, 1987; King y Ludford, 1983) aunque pueden desarrollarse progresivamente durante la conservación a bajas temperaturas (Hong y Gross, 1998; Morris, 1982).

Los tratamientos para reducir el daño por frío incluyen pretratamientos térmicos, calentamientos intermitentes, baja presión de conservación, incremento en las concentraciones de  $CO_2$  y la HR, envasado en atmósfera modificada, pretratamientos con calcio o  $C_2H_4$  (Morris, 1982; Serrano *et al.*, 1997; Zagory y Kader, 1988).

#### **6.1.1.1. Daños por frío en melón.**

Los melones sufren daños por temperaturas bajas, superiores a la de congelación. La temperatura umbral, por debajo de la cual ocurren estos daños, depende básicamente de las características genéticas y del tiempo de exposición. En general, la temperatura de conservación, en un melón entero, no debe ser inferior a  $5^{\circ}C$  (Namesny, 1999). La sensibilidad a éste disminuye a medida que la madurez fisiológica o la de consumo aumentan.

Los síntomas consisten en la aparición de manchas (moteado) y cambios en la coloración, incapacidad de madurar normalmente, sabores desagradables. La zona dañada puede verse afectada fácilmente por organismos patógenos, en especial, hongos de los géneros *Alternaria* y *Cladosporium*. Los daños por frío producen también alteraciones en la maduración en los melones Honeydew, Casaba, Crenshaw y Persian. Los melones *reticulatus* pueden sufrir daños por frío a temperaturas inferiores a los mencionados  $5^{\circ}C$ . Los *inodorus* resultan más sensibles a temperaturas por debajo de  $7^{\circ}-8^{\circ}C$  (Namesny, 1999).

### 6.1.1.2. Daños por frío en tomate.

Los principales síntomas en tomate son incapacidad para madurar, picado, incapacidad de madurez, aumento de la susceptibilidad al ataque microbiano y pérdida de aroma, descoloración interna, así como desarrollo de translucencia (“water soaking”) (Hobson, 1987; Morris, 1982). Además, puede ir acompañado por un incremento en la tasa respiratoria y emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> que se producen antes que cualquier daño externo sea evidente (Morris, 1982).

Los daños por frío ocurren en tomate cuando se exponen a temperaturas menores de 10-13°C y se manifiestan por la aparición de un punteado sobre la superficie (“pitting”), alta incidencia de podredumbres por *Alternaria* y *Botrytis* (Artés y Escriche, 1994). En los tomates maduros, se desarrollan áreas con apariencia de embebidas en agua, ablandamiento y podredumbres, mientras que en los tomates maduro-verde el color al madurar no llega a desarrollarse completamente.

Hobson (1987) observó que en tomate rojo entero almacenado a 5 y 7,5°C durante 9 días en aire una moderada translucencia y zonas embebidas en agua acompañada de harinosidad y ablandamiento. Este ablandamiento asociado a las bajas temperaturas podría ser debido como consecuencia de una pérdida en la presión del turgor celular (Jackman *et al.*, 1992). Es posible que con la progresión de daño por frío, el agua se mueva del citosol al apoplasto, debido al limitado número de sitios para unirse esta agua libre en el citosol y por el colapso de la membrana, contribuiría a la pérdida de turgor celular y posterior desarrollo de zonas embebidas en agua.

Hong y Gross (2000) detectaron harinosidad en rodajas de tomate antes del desarrollo de translucencia y zonas embebidas en agua y, finalmente esta harinosidad no llegó a ser aparente. Observaron que las zonas embebidas en agua se desarrollaron primero en el tejido que rodea al tejido vascular. Morris (1982) propuso las zonas embebidas eran resultado de la exudación de fluidos celulares al espacio intercelular por la pérdida de la integridad en la membrana y el colapso celular. Cambios en la composición de los esteroides durante temperaturas de refrigeración y después de transferirse a temperatura ambiente podría resultar en una disfunción de la membrana (Whitaker, 1994).

La tolerancia de una fruta frente al daño por frío depende del cultivar, variedad, fecha de recolección y grado de madurez (Dodds *et al.*, 1991; Hong y Gross, 2000; Kim y Ludford, 1983) e incluso hora de recolección (Saltveit y Cabrera, 1987). La sensibilidad a sufrir daños por frío disminuye cuando los tomates empiezan a madurar y vuelve a aumentar en las últimas etapas de maduración (Saltveit y Cabrera, 1987; Wang, 1989). La localización de los daños corresponde con las zonas del fruto que maduran más tarde (Dodds y Ludford, 1990).

## 6.2. MODIFICACIÓN DE LA ATMÓSFERA QUE RODEAL AL PRODUCTO.

Una atmósfera modificada puede ser definida como aquella que se crea por alterar la normal composición gaseosa del aire (78% N<sub>2</sub>, 21% O<sub>2</sub>, 0,03% CO<sub>2</sub> y trazas de gases nobles) para proporcionar una óptima atmósfera que permita prolongar la conservación, así como la calidad del producto. Esto puede lograrse por el uso de envasado en atmósfera modificada (EAM) de forma pasiva o activa o atmósferas controladas (AC). Las técnicas de EAM y AC sólo difieren en el grado de control, siendo esta última la más precisa (Artés, 2000a; Kader, 2002; Moleyar y Narasimham, 1994; Phillips, 1996).

### 6.2.1. Efectos de las atmósferas en la fisiología del fruto.

#### 6.2.1.1. Generalidades.

Las atmósferas con bajo O<sub>2</sub> y/o elevado CO<sub>2</sub> pueden extender la vida útil de muchos productos tanto enteros como procesados en fresco (Kader, 1986) por:

- retrasar las reacciones de pardeamiento en la superficie del corte (King *et al.*, 1991),
- reducir la velocidad de transpiración (pérdida de agua) y la respiración y la biosíntesis y acción del etileno (Artés, 1995b; Gorny, 1997).

El efecto del reducido O<sub>2</sub> y elevado CO<sub>2</sub> son sinérgicos y el efecto que consiguen ambos es superior a los efectos de cada uno por separado.

La tolerancia a altas concentraciones de CO<sub>2</sub> disminuye con la reducción en el nivel de O<sub>2</sub>, y de forma similar, la tolerancia a bajas concentraciones de O<sub>2</sub> disminuye con un aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> (Artés, 1976; Kader *et al.*, 1989).

La concentración mínima tolerable de O<sub>2</sub> para tomate y melón Cantaloupe entero son de 3 y 2 kPa respectivamente, mientras que la máxima concentración de CO<sub>2</sub> tolerada para estos productos enteros es de 2 y 15 kPa respectivamente (Kader, 1980; Kader *et al.*, 1989).

Para cubos de Cantaloupe entre un 3-5 kPa de O<sub>2</sub> y un 6-15 kPa de CO<sub>2</sub>, para Honeydew un 2 kPa de O<sub>2</sub> y un 10 kPa de CO<sub>2</sub>. Para rodajas de tomate se recomienda un 3 kPa de O<sub>2</sub> y 3 kPa de CO<sub>2</sub>. Estas atmósferas acompañadas de una temperatura de conservación entre 0 y 5°C logran una moderada eficacia en tomate y buena en melón procesado (Gorny, 1997; Gorny, 2001b).

Las concentraciones internas de estos gases dependen de las concentraciones externas, tasa de emisión de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> y consumo de O<sub>2</sub>, área superficial y resistencia del sistema dérmico a la difusión de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, (la cual es mucho mayor que la resistencia a la difusión del vapor de agua). La resistencia a la difusión en la pulpa aumenta conforme madura debido a la inundación de algunos espacios intercelulares con jugo celular (Kader *et al.*, 1989).

El periodo de menor resistencia a la difusión aparece cuando la fruta está inmadura y generalmente, existe un corto pero marcado aumento en la resistencia a la difusión de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> después de la recolección (Burton, 1965).

### 6.2.1.2. Efecto en la respiración.

La respiración consiste en la oxidación de sustratos como almidón, azúcares, ácidos orgánicos a moléculas simples como CO<sub>2</sub>, agua y la correspondiente obtención de energía, parte se transforma en calor y parte es necesaria para los procesos metabólicos. Conforme se crea una atmósfera modificada, la respiración comienza a disminuir en respuesta a esa nueva atmósfera, se reduce la producción de CO<sub>2</sub>, el consumo de O<sub>2</sub> y el calor. El resultado es disminuir la actividad metabólica, reduce la actividad catabólica y procesos degradativos, prolongando la vida útil (Artés, 200b; Kader, 1987; Zagory y Kader, 1988).

Esta disminución en la tasa respiratoria en respuesta al bajo nivel de O<sub>2</sub> se debe a la ralentización de las enzimas dependientes del O<sub>2</sub> como PPOx, ácido ascórbico oxidasa y ácido glicólico oxidasa (Kader, 1986).

Pequeñas reducciones en la concentración de O<sub>2</sub> por debajo de los niveles del aire tienen poco o ningún efecto en la tasa respiratoria. Hasta que no se llega al 12 kPa de reducción en la concentración del O<sub>2</sub>, el efecto sobre la velocidad de respiración del producto envasado es bajo (Kader *et al.*, 1989). La respiración es sensible a concentraciones de O<sub>2</sub> por debajo del 8 kPa y concentraciones de CO<sub>2</sub> superiores al 1 kPa, retardando los cambios biológicos y bioquímicos (Myers, 1989; Zagory y Kader, 1988).

Teóricamente, los niveles de O<sub>2</sub> que inducen en la célula una respiración anaerobia son alrededor de 0,2 kPa pero la concentración exterior en el producto oscila de 1 a 3 kPa de O<sub>2</sub>. Un producto procesado en fresco puede tolerar niveles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> más extremos que un producto entero al carecer de cutícula que restrinja la difusión gaseosa y la distancia de la difusión gaseosa desde el centro al exterior del producto es mucho menor que en el producto entero (Watada y Qi, 1999).

Un caso que merece una atención especial, es el efecto del **elevado CO<sub>2</sub>** en la respiración. Este gas puede actuar como inductor o supresor de la respiración, dependiendo de la concentración *in situ*, concentración interna de O<sub>2</sub>, duración de la exposición, tipo de producto y temperatura durante la exposición al CO<sub>2</sub> (Kader, 1986; Ke *et al.*, 1994; Mathooko *et al.*, 1995; Pesis *et al.*, 1994). La respuesta de las frutas y vegetales al elevado CO<sub>2</sub> incluye la inducción de la ruta glucolítica, ruta fermentativa, acumulación de succinato y/o alanina y disminución en el pH y en los niveles de ATP (Ke *et al.*, 1995).

No se conoce el mecanismo de actuación del elevado CO<sub>2</sub> en la inhibición de la respiración, algunas hipótesis mantienen que se debe por el simple mecanismo de retroalimentación ya que el CO<sub>2</sub> es un producto de la respiración (Herner, 1987), otras hipótesis consideran que el CO<sub>2</sub> ejerce un importante control en la actividad mitocondrial. Kader (1989) considera que afecta a los enzimas que intervienen en el ciclo de Krebs, inhibiendo algunas etapas. Otros opinan que el CO<sub>2</sub> puede inhibir la producción de etileno antes que tener un efecto directo sobre el proceso respiratorio, otra hipótesis es por la influencia del CO<sub>2</sub> en la disminución del pH celular (debido a la disociación de ácido carbónico a bicarbonato e iones hidrógeno) (Bown, 1985; Kader, 1986; Ke *et al.*, 1993; Siriphanich y Kader, 1986).

Pero el elevado CO<sub>2</sub>, puede tanto reducir la respiración, como estimularla, así como no tener ningún efecto, según el tipo de producto y la concentración del gas (Kader, 1986; Kader *et al.*, 1989; Mathooko *et al.*, 1995; Pesis *et al.*, 1994). Este aumento en la respiración por exposición al elevado CO<sub>2</sub> puede estar relacionado con un daño fisiológico (Kader, 1986). Pesis *et al.* (1994) propusieron que este incremento en la actividad respiratoria podría deberse a la activación de enzimas involucrados en la actividad respiratoria como una respuesta al estrés, mientras que Young *et al.* (1962) sugirieron que el CO<sub>2</sub> estimula la respiración al aumentar el suministro de ácido oxalacético. En cambio, en algunos productos la tasa respiratoria continúa suprimida incluso después de transferirla a atmósferas sin CO<sub>2</sub> que Li y Kader (1989) denominaron a este fenómeno “efecto residual” de la conservación en AC.

El control de la respiración en frutas y hortalizas es resultado de la interacción de cuatro principales procesos, glicolisis, metabolismo fermentativo, ciclo de los ácidos tricarbónicos (CAT) y cadena mitocondrial respiratoria.

#### 1) Glicolisis.

El CO<sub>2</sub> puede afectar a la ruta glicolítica al afectar a las enzimas involucradas en la mencionada ruta o por regular la ruta del metabolismo fermentativo.

Las dos principales enzimas que controlan la ruta glicolítica son fosfofructoquinasa (PFK) y piruvato quinasa (PK) (Kays, 1991). Peras expuestas a 10 kPa de CO<sub>2</sub> acumularon fructosa 6-fosfato mientras que los niveles de fructosa 1,6-bisfosfato eran sustancialmente reducidos (Kerbel *et al.*, 1988). Luego, el elevado CO<sub>2</sub> posee un efecto inhibitorio en la PFK. La disminución en la actividad de PFK y PFP (fructosa 2,6-bis-fosfatasa) que cataliza la reacción de fructosa 2,6-bisfosfato a fructosa 6-fosfato por elevado CO<sub>2</sub> podría deberse a la inhibición en la síntesis de la PFK y PFP, inactivación de estas enzimas o por un cambio en el pH.

## 2) Ciclo de los ácidos tricarboxílicos (CAT).

El elevado  $\text{CO}_2$  inhibe varias enzimas en el CAT, particularmente la succinato deshidrogenasa (SDH), inhibiéndose la oxidación de succinato a fumarato, conduciendo a la acumulación de succinato (tóxico para las plantas) y, por tanto, disminución de malato (Frenkel y Patterson, 1973; Ke *et al.*, 1993; Shipway y Bramlage, 1974; Wager, 1974). Exposiciones de lechugas a 20 kPa de  $\text{CO}_2$  causaron una disminución en el pH, el cual, en parte podría haber inhibido la actividad catalítica de la SDH y activar sustancialmente la actividad de la glutamato descarboxilasa (Ke *et al.*, 1993). Pero no siempre los cambios de pH por sí pueden ser el único factor limitante en la regulación del CAT, aunque el  $\text{CO}_2$  se difunde libremente a través de la membrana y podría cambiar el pH interno afectando a la actividad enzimática y reacciones oxidativas (Buescher y Adams, 1983; Ke *et al.*, 1990). En otros casos, el  $\text{CO}_2$  provoca un aumento en el pH, probablemente a la disminución de ácido málico (Buescher y Adams, 1983).

Parece ser que el CAT está regulado en gran parte por el estatus energético de la mitocondria. Una disminución en la respiración por acción del elevado  $\text{CO}_2$ , ejerce un importante control en la actividad mitocondrial (Shipway y Bramlage, 1973) ya que la mitocondria es el sitio celular de la fosforilación oxidativa donde se localizan los enzimas relacionados con la respiración. El elevado  $\text{CO}_2$  puede influir en la actividad de estos enzimas dependiendo de su concentración y tiempo de exposición. Estas observaciones sugirieron que el  $\text{CO}_2$  puede actuar como factor de control en el ciclo de los CAT, un exceso de  $\text{CO}_2$  inhibe la actividad mitocondrial, derivándose, por tanto, el piruvato a la formación de acetaldehído y etanol (Shipway y Bramlage, 1973).

## 3) Metabolismo fermentativo.

El EAM o la AC puede conducir a la generación de volátiles. El exceso de  $\text{CO}_2$  (20 kPa) puede inhibir la actividad mitocondrial derivando el piruvato a acetaldehído o etanol (Kader *et al.*, 1989; Shipway y Bramlage, 1973). La acumulación de éstos compuestos está catalizada por piruvato descarboxilasa (PDC) y alcohol deshidrogenasa (ADH) (Ke *et al.*, 1994).

La acumulación de alcoholes se ha asociado a condiciones anaerobios o atmósferas de alto  $\text{CO}_2$ . Una atmósfera enriquecida en  $\text{CO}_2$  pero en presencia de  $\text{O}_2$  (20 kPa) no aumentó de forma significativa las concentraciones en acetaldehído y etanol en aguacate, aunque sí en pera “Barlett” (Ke *et al.*, 1994) y lechuga (Mateos *et al.*, 1993). Según Ke *et al.* (1993) el aumento en la actividad de la PDC y ADH podría deberse a un aumento en la síntesis o en la activación de estos enzimas debido a una disminución en el pH citoplasmático y/o por el aumento en las concentraciones de los sustratos, es decir, piruvato, acetaldehído y NADH.

Yanez *et al.* (2001) estudiaron la relación del etanol con la conservación en atmósferas enriquecidas en CO<sub>2</sub> (30 kPa). La respuesta obtenida varió con el cultivo, por ejemplo, en pepinos, fresas, patatas y ciruelas negras ésta fue lineal. En tomate, kiwi, melocotones, plátanos, zanahoria y lechuga, entre otros, fue cuadrática positiva (rápida acumulación inicial seguido de una saturación) mientras que en uva blanca, naranja, lima y manzana fue cuadrática negativa (lenta acumulación inicial hasta un determinado umbral seguido de un rápido incremento).

La difusión del etanol está influenciado por la edad de la planta, así como, su atmósfera interna que es determinada por la composición ambiental y características metabólicas de las células). Fernández-Trujillo *et al.* (1999) encontraron diferencias entre distintos cultivares de fresa en la respuesta al CO<sub>2</sub>, atribuyéndolo a diferencias en las actividades enzimáticas de piruvato descarboxilasa (PDC) y/o alcohol deshidrogenasa (ADH), y alcohol acetil transferasa (AAT) así como reducciones en el pH que conllevan a la formación de ácido carbónico. Estas enzimas catalizan la conversión de piruvato a acetaldehído, acetaldehído a etanol y etanol a acetil CoA a etil acetato, respectivamente. Parece que el efecto del elevado CO<sub>2</sub> se centra en la actividad de las enzimas mencionadas (Ke *et al.*, 1995).

El acetaldehído probablemente se acumula a causa de un estado de sobremadurez. Éste es un producto de la respiración anaerobia pero puede ser reducido a etanol y reaccionar además para formar etil acetato (Larsen y Watkins, 1995). En muchas frutas y hortalizas, este compuesto puede aumentar en atmósferas de aire a niveles significativos. La acumulación de acetaldehído puede ocurrir ubicuamente con la aplicación de tratamientos drásticos o estreses. Incluso se ha observado que este volátil interviene en el ablandamiento de pera independientemente de la acción del etileno. Por ello, el ablandamiento puede desarrollarse incluso en AC donde la acción del etileno ha sido reducida por alto CO<sub>2</sub> (Toivonen, 1997). No se sabe si la acumulación de acetaldehído coincide con un daño o sugiere que esta acumulación es consecuencia de un daño. En cambio, elevados niveles de etanol no se correlacionan con un tejido dañado pero contribuye con el desarrollo de sabores y aromas extraños (Pesis *et al.* 1994).

En algunos casos, se ha observado que el etanol contrarresta los procesos de senescencia o reduce el daño por frío. Estos efectos positivos han sido atribuido a la integración de la molécula en la membrana la cual conlleva a una modificación en las características y función de la misma (Toivonen, 1997).

### **6.2.1.3. Efecto en la temperatura**

El uso de una atmósfera apropiada puede producir una reducción adicional en el Q<sub>10</sub> de hasta cuatro veces. No obstante, el EAM o AC no son mecanismos de sustitución de la

temperatura, ya que la refrigeración constituye el factor más importante en el control de la respiración (Schlimme y Rooney, 1997).

#### **6.2.1.3.1. Efecto en los daños por frío.**

El elevado CO<sub>2</sub> y humedad y reducido O<sub>2</sub> por la aplicación de AC o EAM, son efectivos en aliviar los daños por frío en productos sensibles (Forney y Lipton, 1990). Un EAM de 5 kPa CO<sub>2</sub> y 10 kPa O<sub>2</sub> con un 90% de HR redujo el daño por frío en mango conservado durante 3 semanas a 12°C (Pesis *et al.*, 2000). Scott y Chaplin (1978) y Meir *et al.* (1997) observaron que el EAM aliviaba los síntomas de daño por frío en aguacate y pepino (Wang y Qi, 1997).

#### **6.2.1.4. Efecto en la emisión y sensibilidad al etileno.**

La producción de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en la maduración de la fruta depende del O<sub>2</sub>. Niveles de O<sub>2</sub> inferiores al 8 kPa disminuyen la producción de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, debido a la inhibición de la conversión de la ACC a C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (Yoshida *et al.*, 1986). Parte del éxito del EAM y la calidad atribuida a estos productos se debe a la prevención del daño de la exposición del etileno. El CO<sub>2</sub> puede inhibir la acción del C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, así como la producción autocatalítica del etileno en productos climatéricos.

El EAM y la refrigeración minimizan la percepción y producción de etileno. Por ello, en un producto procesado en fresco donde la herida, incrementa la tasa respiratoria y emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, es de gran interés el uso del EAM cuyos niveles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> reduzcan este intenso metabolismo (Farber *et al.*, 2003). La producción de etileno se reduce con bajas concentraciones de O<sub>2</sub>, altas de CO<sub>2</sub> o por ambas, cuyos efectos son sinérgicos (Zagory y Kader, 1988). No obstante, Pal y Buescher (1993) encontraron que exposiciones a 30 kPa de CO<sub>2</sub> aceleran la evolución de etileno en zanahorias posiblemente como respuesta al daño sufrido por esta concentración tan elevada

Gorny y Kader (1996b) mostraron que los bajos niveles de O<sub>2</sub> inhibían la actividad de la ACC-oxidasa pero no los elevados niveles de CO<sub>2</sub>. La actividad de la ACC-sintetasa es significativamente reducida por atmósferas tanto de bajo O<sub>2</sub> como de alto CO<sub>2</sub>. Según Yang (1982) el CO<sub>2</sub> compite por el etileno por el mismo centro activo.

Así mismo, las atmósferas con reducido O<sub>2</sub> y/o elevado CO<sub>2</sub> pueden reducir la emisión de etileno y la sensibilidad al mismo, retrasando el ablandamiento (Knee y Bartley, 1981; Watada *et al.*, 1996) y extendiendo la vida útil (Huxsoll y Bolin, 1989; Gorny, 2001b; Kader *et al.*, 1989; Zagory y Kader, 1988). En frutos climatéricos, puede retrasar el comienzo del climaterio y prolongar la vida útil. Los diferentes estados de madurez, cultivar y condiciones postcosecha influyen en la sensibilidad al etileno (Lee *et al.*, 1995).

### 6.2.1.5. Efecto en los microorganismos.

Para el control de patógenos y desarrollo fúngico los niveles de O<sub>2</sub> deben ser inferiores a 1 kPa y/o las concentraciones de CO<sub>2</sub> deben alcanzar 10 kPa (El-Goorani y Sommer, 1981), siempre y cuando el producto tolere esta concentración. Contrariamente, cuando las concentraciones de O<sub>2</sub> y/o CO<sub>2</sub> son inapropiadas, la fruta u hortaliza es más susceptible al crecimiento de patógenos

De los tres gases usados, el CO<sub>2</sub> es el único que posee una verdadera actividad antimicrobiana. Éste aumenta la fase logarítmica del crecimiento microbiano (Phillips, 1996). Las teorías que explican la acción antimicrobiana del CO<sub>2</sub> son (Farber, 1991): alteración de la función de la membrana celular incluyendo efectos en la absorción de nutrientes, inhibición directa de enzimas o disminución en la velocidad de reacciones enzimáticas, penetra en las membranas bacterianas variando el pH intercelular e influye directamente en las propiedades fisico-químicas de las proteínas.

**Tabla 9.** Recuentos microbiológicos (ufc·g<sup>-1</sup>) en distintos productos procesados en fresco a 5°C, según la concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

Autores	Bacterias		Levaduras		Reducción ufc/g aire versus AC		Producto
	Aire	AC	Aire	AC	Bacterias	Lev.	
Babic <i>et al.</i> (1996)	8,5-9,2	7,8- 8,5	--	--	0,7-1	--	Espinaca procesada, 9 d a 5°C. AC = 0,8 kPa O <sub>2</sub> ; 0,8 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>
Izumi <i>et al.</i> (1996)	8,1	7,7	--	--	0,4	--	Bastones/rodajas de zanahoria, 21 d a 5°C AC = 0,5 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>
Portela <i>et al.</i> (1997)	11,3	5,4 <sup>z</sup> 5,6 <sup>y</sup> 6,1 <sup>x</sup> 10,1 <sup>w</sup>	--	--	6 <sup>z</sup> 5,7 <sup>y</sup> 5,2 <sup>x</sup> 1,2 <sup>w</sup>	--	Cilindros de Cantaloupe, 12 d a 5°C AC <sup>z</sup> = 3 kPa O <sub>2</sub> + 15 kPa CO <sub>2</sub> AC <sup>y</sup> = 3 kPa O <sub>2</sub> + 7,5 kPa CO <sub>2</sub> AC <sup>x</sup> = Aire +15 kPa CO <sub>2</sub> ; AC <sup>w</sup> = 3 kPa O <sub>2</sub>
Qi <i>et al.</i> (1999)	8,4	7,1	5,6	4,3	1,3	1,3	Cilindros de Honeydew, 10 d a 5°C AC = 2 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>
Rattanapanone <i>et al.</i> (2001)	4,8	2,8	4,5	2	2	1,3	Cubos de mango, 8 d a 5°C AC = 2 kPa O <sub>2</sub> ó 4 kPa + 10 kPa CO <sub>2</sub>

Lev.: Levaduras. AC: Atmósfera controlada.

La acción inhibitoria de este gas depende del tipo de microorganismo; mientras que las bacterias como las *Pseudomonas* son inhibidas por moderados a altos niveles de CO<sub>2</sub> (10-20 kPa), las bacterias ácido lácticas pueden estimularse por el CO<sub>2</sub> (Carlin *et al.*, 1989). Además, patógenos como *Clostridium perfringens* y *C. botulinum* y *Listeria monocytogenes* apenas se

ven afectados por niveles inferiores a 50 kPa e, inversamente, con estos niveles sí se inhibe la flora que daña al producto, permitiendo a los patógenos multiplicarse debido a la pérdida de la flora propia del producto. Así, un producto que puede parecer comestible puede estar contaminado con peligrosos patógenos (Farber, 1991; Garret, 1997; Phillips, 1996; Zagory, 1996). En la Tabla 9, se exponen las reducciones observadas por distintos autores según la concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> utilizada.

#### **6.2.1.6. Efecto en la humedad relativa.**

El EAM proporciona una adecuada HR en el interior del envase pero hay que evitar las condensaciones y todas aquellas condiciones favorables para el crecimiento microbiano, además, éstas pueden afectar de forma negativa a la permeabilidad del plástico (Zagory y Kader, 1988). Para ello, existen en el mercado plásticos antivaho capaces de dispersar las gotitas de agua o evitar las condensaciones e incluso se les pueden incorporar antifúngicos (Cantwell y Suslow, 2002).

### **6.2.2. Envasado en atmósfera modificada (EAM).**

#### **6.2.2.1. Fundamento.**

Los antecedentes de este tipo de envasado datan del año 1927 donde se intentó prolongar la vida útil de manzanas enteras conservándolas en atmósferas de reducido O<sub>2</sub> y elevado CO<sub>2</sub>. La técnica no fue introducida en Europa comercialmente en envases de detalles hasta principios de los años setenta (Artés, 1976; Phillips, 1996).

El EAM se incluye como una de las etapas cruciales o integrantes en la secuencia de actuación durante el procesado o la conservación de los productos procesados en fresco (Huxsoll y Bolin, 1989).

Es un proceso dinámico en donde el envase cerrado interactúa con el producto envasado, normalmente bajo un cuidadoso control de la temperatura, para finalmente alcanzar un equilibrio en la atmósfera gaseosa interna, normalmente una atmósfera enriquecida en CO<sub>2</sub> y empobrecida en O<sub>2</sub>, que reducirá la velocidad de la respiración, la emisión y sensibilidad al etileno, la senescencia, el ablandamiento (actividad PG), la degradación de la clorofila, la biosíntesis de los carotenos, la pérdida de acidez (vitamina C) y provitamina A, la pérdida de humedad (por transpiración), cambios fisiológicos como las oxidaciones (Artés, 1976, 200b; Day, 1996; Gorny, 2001b; Kader *et al.*, 1989; Saltveit, 1997; Zagory y Kader, 1988), así como, reduce la susceptibilidad a patógenos, disminuye el crecimiento microbiano, aumentando la fase de

latencia del desarrollo microbiano e incrementando el tiempo de generación de la microflora (El-Goorani y Sommer, 1981; Hotchkiss, 1988).

Uno de los beneficios del EAM es que proporciona una HR alta reduciendo, e incluso inhibiendo, la deshidratación típica en la superficie del corte, de un producto procesado en fresco (Cantwell y Suslow, 2002; Gorny, 2001b), altamente susceptible a la deshidratación y pérdida de peso dado que el tejido está exento de piel o cutícula (Watada y Qi, 1999).

Wang (1993) indicó que otra ventaja de mantener esta humedad radica en la supresión del daño por frío, y como observaron Wardawski *et al.*, (1973) en lima y uva.

Las condiciones de atmósfera modificada pueden controlar la duración y magnitud del climaterio (Fonseca *et al.*, 2002). Los efectos del EAM y AC en retrasar o inhibir la maduración son mayores a mayor temperatura (Kader *et al.*, 1989). Conforme las concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> varían en el interior del envase, la relación de CO<sub>2</sub> producido y O<sub>2</sub> consumido (QR) pueden variar.

#### **6.2.2.2. Diseño.**

El EAM debe diseñarse cuidadosamente ya que el un diseño incorrecto puede ser inefectivo e incluso acortar la vida útil del producto. El diseño de un EAM depende de una serie de variables, unas dependen del producto y otras de la película de envasado (Artés, 1976, 1993). Los productos procesados en fresco son muy diferentes de las hortalizas procesadas debido a la distinta fisiología entre los mismos, por ello, muchos de los mecanismos por los que el EAM extiende la vida útil de una hortaliza puede no ser aplicable a una fruta procesada en fresco. Lo cual indica que el EAM puede tener limitadas aplicaciones a la hora de extender la conservación de frutas procesadas en fresco en especial en aquellas frutas con un delicado sabor y aroma (Gorny, 2001b).

Como factores del producto podemos citar, la tasa respiratoria a la temperatura seleccionada de almacenamiento, cociente respiratorio, masa del mismo que se coloca en el interior del envase y atmósfera interna que se desea alcanzar (concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>).

Los factores dependientes de la película de envasado son, permeabilidad del material de envasado al O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y vapor de agua a la temperatura seleccionada por unidad de espesor del material, efecto de la humedad relativa sobre la permeabilidad de la película a los gases citados y superficie del envase cerrado (Artés, 1993; Fonseca *et al.*, 2002).

Para mantener una atmósfera óptima en el interior del envase, la temperatura del ambiente debe ser constante ya que los cambios de temperatura influyen con mayor intensidad en la respiración (el producto demanda más O<sub>2</sub>) que en el ligero aumento de la permeabilidad

del plástico al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> (Artés, 1993; Cameron *et al.*, 1995; Cantwell y Suslow, 2002; Jacksens *et al.*, 2002b; Kader *et al.*, 1989; Silva *et al.*, 1999; Zagory y Kader, 1988; Zagory, 1996). Para evitar esto, se han desarrollado los plásticos “inteligentes” o los microperforados por laser (Cantwell y Suslow, 2002) o modelizaciones (Jacxsens *et al.*, 2002) que prevén estos cambios gaseosos en el interior del envase.

Con el objeto de advertir situaciones donde se haya excedido de la temperatura de conservación se están desarrollando indicadores tiempo-temperatura incorporados en el envase (Cantwell y Suslow, 2002). Otros factores los constituye la integridad del cierre, volumen vacío dentro del envase, velocidad del aire y HR en torno al envase (Schlimme y Rooney, 1997). La exposición de ensaladas de hoja verde en los expositores iluminados para mejorar las ventas, la fotosíntesis puede proseguir por parte de la hortaliza, tomando CO<sub>2</sub> del interior del envase e incluso excediendo al CO<sub>2</sub> respiratorio, en tal caso, el efecto del EAM es contrario (Herppich *et al.*, 2001).

El EAM requiere de la selección cuidadosa del plástico utilizado considerando la permeabilidad al O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y vapor de agua con el objetivo de reducir el deterioro (Schlimme, 1995; Kader *et al.*, 1989). La permeabilidad de la película plástica se define como la transmisión de un agente que penetra a través de un material resistente (Kader *et al.*, 1989). El proceso de permeabilidad se lleva a cabo a través de la difusión activa en donde las películas del agente que penetra se disuelve en la matriz de la película, difundiéndose a través de ella como respuesta a un gradiente de concentraciones (Artés, 1976; Kester y Fennema, 1986). El coeficiente de permeabilidad (P) de las películas poliméricas según Crank (1975) para los gases viene dado por la ecuación 1.

El flujo de CO<sub>2</sub> a través del fruto viene determinado por su tasa respiratoria y peso, pero estará influenciado por la concentración de CO<sub>2</sub> que exista en el envase (ecuación 2). Según Artés (1993) y Solomos (1997), en las condiciones de equilibrio debe cumplirse que el flujo de CO<sub>2</sub> que emite el fruto por acción de la respiración (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>) debe igualarse al caudal o flujo que sale a través del envase (ecuación 3). De la misma forma sucede para el O<sub>2</sub> (ecuación 4). En esta situación de equilibrio, el consumo de O<sub>2</sub> o emisión de CO<sub>2</sub> por parte del fruto se realiza a la misma velocidad que la entrada de O<sub>2</sub> o la salida de CO<sub>2</sub> a través del plástico.

$$P = \frac{J \cdot x}{A \cdot (p_1 - p_2)} \quad ; \quad J = \frac{P \cdot A \cdot (p_1 - p_2)}{x}$$

$$J_{CO_2} = R_{CO_2} \cdot p_1 \cdot W \quad (2)$$

En el equilibrio,

$$J_{CO_2} \text{ membrana} = J_{CO_2} \text{ fruto} \Rightarrow P_{CO_2} \cdot A \cdot (p_1 - p_2) = R_{CO_2} \cdot W \cdot x \quad (3)$$

$$J_{O_2} \text{ membrana} = J_{O_2} \text{ fruto} \Rightarrow P_{O_2} \cdot A \cdot (p_2 - p_1) = R_{O_2} \cdot W \cdot x \quad (4)$$

Siendo,

$P$  = coeficiente de permeabilidad ( $\text{mm} \cdot \text{mL} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$ )

$J$  = flujo del gas que fluye a través de la película ( $\text{mL} \cdot \text{día}^{-1}$ )

$x$  = espesor de la película polimérica (mm)

$A$  = superficie permeable ( $\text{m}^2$ )

$p_1$  = presión parcial del gas en lado 1 de película, en el interior del envase (atm)

$p_2$  = presión parcial del gas en lado 2 de película, en el exterior del envase (atm)

$R$  = Tasa respiratoria del fruto ( $\text{mL} \cdot \text{Kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )

$W$  = Peso del fruto (Kg)

El plástico seleccionado debe tener una permeabilidad que permita entrar al  $O_2$  a una velocidad que contrarreste el consumido por el producto y, similarmente, el  $CO_2$  debe ser evacuado para contrarrestar la producción de  $CO_2$  por el producto (Kader y Watkins, 2000). Los cambios en la temperatura afectan a la velocidad de la respiración y a las condiciones de equilibrio dentro del envase a menos que la velocidad de difusión a los gases a través del plástico varíe con la temperatura en la misma proporción que la respiración (Kader *et al.*, 1989). Sin embargo, para los polímeros de uso común en EAM esto no sucede así (Artés y Martínez, 1997).

Es importante que las películas plásticas utilizadas en el EAM de productos procesados en fresco tengan una relación de permeabilidad al  $CO_2$  y  $O_2$  ( $\beta$ ) relativamente alta (entre 3 y 6) esto implica que el nivel de  $CO_2$  que puede alcanzarse en el interior del envase está limitado por la concentración de  $O_2$  evitando la formación de una atmósfera anóxica dentro del envase (Artés *et al.*, 1996; Kader *et al.*, 1989; Mannapperuma y Sing, 1990; Zagory y Kader, 1988). Por tanto, este tipo de plástico no resulta adecuado para productos que requieren elevados niveles de  $CO_2$  junto con también elevados niveles de  $O_2$  (Fonseca *et al.*, 2002) ni para aquellos productos con una elevada tasa respiratoria.

Sin embargo, una  $\beta$  relativamente pequeña permite alcanzar elevados niveles de  $\text{CO}_2$  sin reducir las concentraciones de  $\text{O}_2$  por debajo de niveles críticos tolerados por el producto.

Existen dos modalidades en el EAM, la pasiva y la activa (Zagory y Kader, 1988). En el primero, de forma natural, la atmósfera deseada se alcanza de forma natural con la interacción de la respiración del producto y la difusión de los gases a través de la película plástica seleccionada (Artés, 1976; Lee *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 1987; Zagory, 1996). El EAM activa implica la colocación del producto procesado en un envase permeable a los gases, evacuación del aire del envase y su sustitución mediante una mezcla de gases seguida por un cierre rápido (Smith *et al.*, 1990). La composición de gases que se utiliza se selecciona para lograr unos niveles óptimos de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  al objeto de que disminuya rápidamente la velocidad de la respiración del producto. A pesar de que esta modalidad supone un coste adicional es una ventaja dada la rapidez con la que se establece la atmósfera deseada (Kader y Watkins, 2000).

### 6.2.2.3. Polímeros plásticos.

Son muchos los plásticos utilizados en el EAM de productos intactos como procesados en fresco, entre ellos, los más indicados son polivinilo de cloruro (PVC), poliestireno (PS), polietileno (PE) y polipropilenos (PP) (Artés *et al.*, 1996 y 1997; Ben-Yenoshua, 1985; Cantwell y Suslow, 2002; Exama *et al.*, 1993; Kader *et al.*, 1989; Mannapperuma *et al.*, 1989; Phillips, 1996). Todos ellos, muestran una selectividad adecuada. El PP es uno de los preferidos ya que genera una conveniente atmósfera en el interior del envase debido a sus relativamente bajas permeabilidad al  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$ , con una relativa alta energía de activación ( $E_a$ ) y un moderado a bajo  $Q_{10}$  previniendo de la respiración anaerobia cuando la temperatura aumenta. También son bajos los riesgos de fermentación de producto con un relativamente alto  $Q_{10}$  envasados en PVC o LDPE debido a la elevada permeabilidad de estos films a pesar de su relativamente baja  $E_a$  (Artés *et al.*, 1997).

PE:

El polietileno presenta una excelente fuerza al desgarro, aunque no a la rotura gran resistencia a la degradación química y relativamente alta permeabilidad (Tabla 9). Se clasifica por su densidad alta, media, baja y ultrabaja, lo que indica impermeabilidad creciente al vapor de agua. De particular importancia es el PE de baja densidad con una elevada selectividad y permeabilidad al  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ , es decir, permite alcanzar bajas concentraciones de  $\text{O}_2$  sin asociarse a elevados niveles de  $\text{CO}_2$ .

PVC:

Posee moderada permeabilidad al vapor de agua y es blando, transparente, antivaho y duradero. Posee una elevada selectividad. Indeseable por llevar cloro en su molécula. El tipo de film retractilado se utiliza mucho para envolver bandejas de fruta u hortalizas frescas.

PP:

Su naturaleza química es similar a la del PE, aunque hasta 10 veces menos permeable que éste a los gases del aire y al vapor de agua. Es fácilmente termosoldable.

PS:

Tiene elevada transmisión gaseosa y una relativa alta relación CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>. Ha sido ampliamente usado para envolver lechugas y tomates debido a su capacidad de termoretractilar. Es relativamente inerte químicamente y posee un alto grado de claridad.

Muchos polímeros son asequibles con buena resistencia y adecuada relación CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> pero la velocidad de transmisión gaseosa absoluta es demasiado baja para un conveniente uso (caso del nylon, poliéster y variantes del polivinilo).

En la siguiente tabla se exponen las características de permeabilidad de los plásticos más usados para productos procesados en fresco.

**Tabla 10.** Permeabilidad de diferentes polímeros plásticos al vapor de H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Los valores corresponden a una película de 25 µm a presión atmosférica y 0°C.

Material	Permeabilidad (P)			P <sub>CO<sub>2</sub></sub> /P <sub>O<sub>2</sub></sub>
	O <sub>2</sub> (mL d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	CO <sub>2</sub> (mL d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	Vapor de H <sub>2</sub> O (g d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	
Polietileno baja densidad	6.000 – 7.920	30.000 – 40.800	14,4 – 19,2	5,0 – 5,2
Polietileno alta densidad	480 – 1.920	6.960 – 7.920	4,8 – 6,0	4,1 – 14,5
Polipropileno	1.931-1.904	7.920 – 12.000	7,2 – 9,6	4,1 – 6,3
Copolímero acetato vinil etileno (EVA)	9.000 – 12.000	-	19,2 – 48,0	-
PVC	192 - 960	3.000 – 6.000	24 - 48	6,3 - 15,6
Poliestireno	4.560 – 5.040	12.960	139,2 – 148,8	2,8 – 2,6
Nylon 6	48 - 144	144 - 288	240	2,0 - 3,0
Nylon 11	280 - 480	1920	60 - 96	4,0 - 6,9
Policarbonato	1.440 – 4.080	-	96	-
Acetato de celulosa	1.920 – 3.000	9.600 – 48.000	1.440	5,0 – 16,0
Celulosa regenerada MS	9,6 – 12,0	48 - 60	9,6 – 12,0	5,0

Fuente: Reid y Serek, 1999 (adaptada).

Recientes avances en la tecnología de coextrusión plástica permiten obtener materiales con una velocidad de transmisión al O<sub>2</sub> deseada. La coextrusión combina varias resinas en un solo paso para producir un polímero multicapa. Uno de los más utilizados es la combinación de un PE de media o baja densidad con un etil vinil acetato (EVA).

Otros plásticos son los microperforados que facilitan el intercambio gaseoso a través de microperforaciones repartidas de forma no uniforme. Se suelen usar en lechuga, brócoli, champiñones, coles de bruselas y judías verdes. Otros plásticos comerciales utilizados en el EAM son Cryovac (W.R. Grace y Co.) de 0,75 a 2,5 mm de espesor, son bolsas multicapa a base de distintos polietilenos, se utilizan en lechuga cortada, brócoli, coliflor, espinacas, patatas peladas, etc. MAPAX (AGA, Suecia) y en especial, MaptekFresh (Sun Blush Technologies Inc), se utilizan para productos procesados en fresco, lechugas y también en champiñones y patata pelada (Farber *et al.*, 2003).

Además, de las características mencionadas, los plásticos utilizados en EAM deberían reunir las siguientes requisitos: tener un permeabilidad predecible (no les debería afectar la presencia de agua), ser consistentes, inertes, baratos, flexibles, fáciles de usar, prácticos, flexibles permitiendo el movimiento a través de la máquina de envasado, soldables (preferiblemente termosoldables) (Ahvenainen, 1996), resistentes a los desgarros como el PPO o PS y perforaciones, como el PEBD, transparentes, facilidad para la impresión y etiquetado, reciclables y de sencilla apertura y cierre para el consumidor (Cameron *et al.*, 1995; Kader y Watkins 2000; Myers, 1989; Phillips, 1996; Zagory, 1996).

La tercera directiva de seguridad alimentaria para los productos procesados en fresco publicada por IFPA recomienda que el plástico utilizado en el envasado sea transparente en al menos el 50% de la superficie permitiendo ver el producto para observar deterioros caso de haberse producido (Garret, 1997).

### **6.2.2. Atmósfera controlada (AC).**

Se habla de AC cuando la atmósfera circundante del producto procesado ha sido alterada y es posible el continuo control para mantener en cada momento una óptima concentración (Zagory y Kader, 1988). El control de estos sistemas es mucho más costoso debido a la necesidad constante de mantenimiento de los niveles gaseosos.

Ésta técnica ha conseguido prolongar la vida útil de productos procesados en fresco como floretes de brócoli (Bastrash *et al.*, 1993), zanahorias (Izumi *et al.*, 1996), lechuga (Hamza *et al.*, 1996), espinacas (Babic y Watada, 1996), fresa (Wright y Kader, 1997a; Holcroft y Kader, 1999), piña (Marrero y Kader, 2001), kakis y melocotón (Wright y Kader, 1997b), mango

(Rattanapanone *et al.*, 2001), nectarinas (Gorny *et al.*, 1999), pera (Gorny *et al.*, 2002), kiwi (Agar *et al.*, 1999), apio (Gómez *et al.*, 2002), hinojo y colirrábano (Escalona, 2003), melón Cantaloupe (Madrid y Cantwell, 1993; O'Connor-Shaw *et al.*, 1996; Portela *et al.*, 1997) y Honeydew (Portela y Cantwell, 1998; Qi *et al.*, 1999), entre otros.

Son muchos los trabajos sobre frutas y hortalizas procesadas en fresco tanto en EAM como en AC, que se discutirán en los capítulos correspondientes de esta Tesis donde se ha trabajado con estas técnicas.

### **6.3. TRATAMIENTOS CÁLCICOS PARA MEJORAR LA FIRMEZA.**

El calcio es un elemento esencial relacionado con la división celular, elongación y crecimiento del fruto (Burstrom, 1968), capaz de mejorar la calidad postcosecha de frutas y hortalizas (Bangerth, 1979; Faust y Shear, 1972; Hopfinger *et al.*, 1984). El retraso de la senescencia a menudo depende del estado del calcio en el tejido y al aumentar el nivel, varios parámetros de senescencia como respiración (Bangerth *et al.*, 1972; Bramlage *et al.*, 1974; Faust y Shear, 1972; Poovaiah, 1986), proteínas, contenido clorofílico (Poovaiah y Leopold, 1973) y fluidez de la membrana (Paliyath *et al.*, 1984) son alterados. El retraso en el proceso de senescencia según Picchioni *et al.*, (1998) se debe a la capacidad de este catión por retrasar el catabolismo de la membrana lipídica ya que observaron con infiltraciones cálcicas un aumento en la concentración de fosfolípidos totales y esteroides libres y conjugados. Según Hanson y Trewavas (1982) se debe a la regularización de la actividad  $H^+$ -ATPasa. El calcio puede regular la senescencia de las plantas a través de la dependencia de la proteína quinasa al calcio (Polya y Chandra, 1990; Garbarino *et al.*, 1991). La actividad quinasa es apreciablemente estimulada por el calcio y es responsable de la fosforilación de muchas proteínas de la membrana plasmática en melón.

Los bajos niveles de calcio se asocian con una reducida vida postcosecha (Wills *et al.*, 1998), como demostraron Tirmazi y Wills (1981) y Mooto (1991) que prolongaron la vida útil del mango mediante filtraciones de calcio aunque esto no fue observado por Van Eeden (1992) y Joyce *et al.* (2001) en esta misma fruta.

Los tratamientos cálcicos disminuyen la respiración y reducen la producción de etileno y retrasan la maduración, como encontraron Faust y Shear (1972), Bangerth *et al.*, (1972), Poovaiah y Leopold (1973), Bramlage *et al.* (1974), Conway y Sams (1984), Ferguson (1984), Poovaiah (1986), Sams *et al.* (1993), Picchioni *et al.* (1998), Saftner *et al.* (1998a) y Duque *et al.* (1999) en manzana, Tingwa y Young (1974), Wills y Trimazi (1982), Rensburg y

Engelbrecht (1986) y Yuen *et al.* (1994) en aguacate, Tirmazi y Wills (1981), Mootoo (1991), y Yuniarti y Suhardi (1992) en mangos, Tsantili *et al.* (2002) en limones Klein y Lurie (1994), Mir *et al.* (1993), Gerasopoulos y Richardson (1999) en peras y Lester (1996, 1998) en Honeydew.

Esta disminución en CO<sub>2</sub> podría deberse al efecto del calcio en aumentar la rigidez de la membrana y bloquear el intercambio gaseoso (Bangerth *et al.*, 1972; Saftner *et al.*, 1998a). En opinión de Hanson *et al.* (1965) esta diferencia en la respiración podría derivarse directamente del efecto del calcio en la mitocondria o indirectamente de cambios citoplasmáticos que modifican la actividad mitocondrial. Se ha demostrado que el calcio influye en el metabolismo mitocondrial de plantas *in vitro*, pero el efecto es generalmente estimulador. El calcio aumenta la estabilidad de la membrana, y quizás, es el responsable de especular que con calcio subóptimo, una penetración más rápida de los metabolitos en la membrana mitocondrial conduce a acelerar la velocidad de descarboxilación. Liebermann y Wang (1982) sugirieron que el sistema de síntesis de etileno reside en la membrana plasmática la cual es protegida por el calcio. También reduce desórdenes fisiológicos y pudriciones (Conway, 1989; Fallahi *et al.*, 1997; Faust y Shear, 1972).

Un aumento en los niveles cálcicos retrasa el ablandamiento al modificar los procesos extra e intracelulares (Ferguson, 1984; Poovaiah *et al.*, 1988). La influencia del calcio para mejorar la firmeza se atribuye a su capacidad para servir como vínculo de unión a sustancias pécticas en la pared celular y lámina media, formándose pectato cálcico que imparte firmeza al tejido y, por tanto, previene el ablandamiento (Barrett, 1996; Conway *et al.*, 1997; Ferguson, 1984; Poovaiah, 1986; Valero *et al.*, 1998). No sólo, contribuye a la firmeza al estabilizar la membrana celular (Glenn *et al.*, 1988; Lurie *et al.*, 1987; Nur *et al.*, 1986; Paliyath y Droillard, 1992) con sus iones y/o por reducción de la permeabilidad de la membrana sino también por la reducción en la pérdida de agua y el consecuente aumento en el turgor celular (Mignani *et al.*, 1995; Picchioni *et al.*, 1998).

El calcio es importante para matener la permeabilidad celular y compartimentación. Este catión es esencial para matener la estructura de membranas y paredes celulares. La prueba de que el Ca<sup>2+</sup> interviene en las membranas se resumen en (Poovaiah, 1986):

- Su deficiencia promueve el deterioro de las membranas (Yapa *et al.*, 1986).
- Altera la arquitectura de las membranas, su introducción en las mismas conlleva en cambios tan importantes como la fluidez y permeabilidad al agua (Paliyath y Poovaiah, 1984)
- Puede alterar una serie de actividades fisiológicas asociadas con la función de las membranas, ej.: puede poner en marcha el transporte activo de algunos iones de membrana o aumentar la

conversión de ACC a etileno en los tejidos por la estabilización de la membrana plasmática (Liebermann y Wang, 1982).

Wienke (1980) sugirió que el calcio introducido en manzanas a través de tratamientos postcosecha se incorpora en la pared celular de la misma forma que el calcio nativo. Por ello, los baños, infiltraciones o rociado de un producto recolectado con soluciones de  $\text{CaCl}_2$  son efectivas en aumentar el contenido cálcico de los tejidos (Drake y Spayd, 1983; Paliyath *et al.*, 1984; Poovaiah, 1979; Poovaiah y Moulton, 1982; Poovaiah *et al.*, 1978; Scott y Wills, 1975).

La mejora de la firmeza con baños cálcicos en frutas u hortalizas procesadas en fresco también se ha descrito tal y como se observó en pera (Rosen y Kader, 1989; Sapers y Miller, 1998), manzana (Soliva-Fortuny *et al.*, 2002), fresa (García *et al.*, 1996; Main *et al.*, 1986; Morris *et al.*, 1985; Rosen y Kader, 1989), zanahoria triturada (Picchioni *et al.*, 1994), cilindros de melón (Luna-Guzmáz *et al.*, 1999; Luna-Guzmán y Barret, 2000) y mango (Chatanawarangoon y Kader, 2002). Sin embargo, los tratamientos cálcicos no fueron efectivos en zanahoria (rodajas y bastones) debido a la baja absorción de calcio por el tejido a pesar de que las concentraciones de calcio se doblaron y triplicaron respectivamente (Izumi y Watada, 1994) ni en rodajas de tomate “Durinta” (Artés *et al.*, 1999).

El tratamiento combinado de altas temperaturas para activar la PE antes del baño cálcico es útil para prevenir el ablandamiento. La PE desesterifica la pectina quedando más puntos libres donde los iones calcio pueden enlazarse. Luna-Guzmán *et al.* (1999) observaron una textura más firme cuando bañaron cilindros de melón en disoluciones cálcicas a 60°C (mejoraba la firmeza un 77%), que si las realizaba a 40°C (58%) o a 20°C (45%).

Una de las sales más empleadas es el cloruro cálcico pero puede conferir un sabor amargo al producto (Bolin y Huxsoll, 1989; Luna-Guzmán *et al.*, 1999; Monsalve-González *et al.*, 1993; Olsen *et al.*, 1966;). Otras sales como el lactato cálcico (Baker, 1993; Dong *et al.*, 2000; Gorny *et al.*, 1999; Luna-Guzmán y Barret, 2000; Main *et al.*, 1986; Morris *et al.*, 1985; Pontin *et al.*, 1972 y Poovaiah, 1986) y el propionato cálcico (Buta *et al.*, 1999) han sido utilizadas como alternativas del  $\text{CaCl}_2$ , evitando también el ablandamiento y proporcionando un mejor sabor y aroma. La combinación de tratamientos cálcicos y la AC en mango procesado en cubos contribuyeron a mantener la firmeza prolongando la vida útil 12 días a 5°C frente al uso de baños cálcicos (9 días) o el testigo (5 días) (Chantanawarangoon y Kader, 2002). La fertirrigación con abonados ricos en calcio mejoran la pérdida de firmeza de melón procesado en fresco (Borochoy-Noori y Shomor, 2002; Serrano *et al.*, 2002).

#### 6.4. OZONO.

El cloro suele usarse en la industria hortofrutícola para mejorar la calidad microbiológica y el control de patógenos, pero recientes estudios indican que tiene limitaciones a la hora de destruir bacterias en la superficie de frutas y hortalizas (Bott, 1991; Cena, 1998; Graham, 1997; Rice *et al.*, 1982; Sapers, 1998).

Organizaciones de la salud y del medio ambiente han expresado su preocupación con respecto al cloro por la formación de residuos químicos en el agua sobrante que recaen en el medio ambiente o la formación de compuestos cancerígenos como trihalometanos (THM) y cloraminas (Cena, 1998; Graham, 1997; Kim *et al.*, 1999a; Page *et al.*, 1976; Wei *et al.*, 1985; 1999). Estos THM se forman por la reacción del cloro libre ( $\text{HOCl}$ ,  $\text{OCl}^-$ ) con compuestos orgánicos y el nivel máximo tolerado de THM en el agua es de  $100 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (Código Americano de Regulación, 1997).

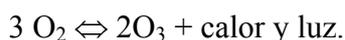
Además, la industria agroalimentaria genera gran cantidad de agua con elevadas cantidades de demanda biológica de oxígeno (DBO) y residuos químicos. Son muchos los problemas generados por las aguas de desecho como enfermedades, muerte de peces, contaminación de aguas y ecosistemas dañados. La industria paga importantes cánones por evacuar este agua de desecho en la red pública. Investigaciones y aplicaciones comerciales demuestran que el ozono puede reemplazar a desinfectantes tradicionales proporcionando otros beneficios (Bott, 1991; Cena, 1998; Cherry, 1999; Kim *et al.*, 1999a; Graham, 1997; Xu, 1999). La ventaja más importante de este gas es que es efectivo a bajas concentraciones (0,01 ppm o menos) y durante períodos de exposición muy cortos, incluso a concentraciones ínfimas de ozono (del orden 0,01 ppm) se advierte un efecto bacteriostático (Beltrán, 1995). La principal función que se le atribuye es su acción microbicida (Rego *et al.*, 2002) y posee un espectro más amplio frente a los microorganismos que el cloro (Kradre *et al.*, 2001).

En 1997, en EEUU se revisó la seguridad y potencialidad del ozono para la industria alimentaria y se presentó generalmente reconocido como seguro (GRAS) para las aplicaciones en contacto con los alimentos (U.S. FDA, 1997). Esta declaración de GRAS se sometió a la Food and Drug Administration (FDA) que aún no se ha pronunciado aunque su uso en productos alimentarios es legal en EEUU (Rice, 1999). A mediados de los años noventa, el ozono fue aprobado para la industria alimentaria en Japón, Francia y Australia. La mayoría de las utilizaciones se han dirigido a la aplicación en agua (Smilanick *et al.*, 1999): tratamiento y desinfección de aguas municipales, plantas de embotellado, piscinas, desinfección de los sistemas de humificación, en numerosos países como Francia, Países Bajos, Alemania, Austria y

Suiza (Graham, 1997). Actualmente, existen más de 3.000 instalaciones de tratamiento de agua en todo el mundo (Rice *et al.*, 2000).

El ozono es un potente oxidante 1,5 veces más fuerte que el cloro, el quinto en el potencial de oxidación termodinámica, tras el flúor, cloro, trifluoruro, oxígeno atómico y radical libre hidroxilo. Destruye bacterias como *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y otros patógenos alimentarios muchos más rápido que los desinfectantes tradicionales, y no deja residuos (Dyas *et al.*, 1983; Langlais *et al.*, 1991; Sapers, 1998). Este gas permite la reutilización, recirculación del agua empleada en el lavado de frutas y hortalizas tras una previa filtración (Perkins, 1997). Elimina el color, olor y turbidez del agua al reducir las cargas orgánicas (Langlais *et al.*, 1991; Rice, 1999).

El ozono un oxígeno triatómico identificado en el año 1840, es un gas azulado a temperatura ambiente y de refrigeración con un potente y característico olor acre (Chang y Chiu, 1996; Horvath *et al.*, 1985).



Es altamente corrosivo y letal para los humanos a concentraciones superiores a 4 ppm. Es detectable por su olor incluso a concentraciones de 0,04 ppm. Los límites de exposición para un trabajador son de 0,1 ppm durante un periodo máximo de 8 horas y 0,3 ppm durante 15 min tal y como aprobó la Occupational Safety and Health Administration de EEUU (OSHA). El O<sub>3</sub> no está caracterizado como cancerígeno o mutagénico y no se acumula en los tejidos grasos ni causa efectos crónicos (Pryor, 1998).

El O<sub>3</sub> es producido de forma natural en la estratosfera, en pequeñas cantidades (0,05 mgL<sup>-1</sup>) por acción de las radiaciones UV del sol o durante las descargas eléctricas. También, se encuentra a bajas concentraciones en la atmósfera, principalmente como resultado de la oxidación fotoquímica de hidrocarburos de automóviles o emisiones industriales. Sin embargo, el gas producido es muy inestable y se descompone rápidamente en el aire (Horvath, *et al.*, 1985). Puede ser generado comercialmente con las lámparas UV particularmente con una longitud de onda por debajo de 200 nm. Para mayores concentraciones de O<sub>3</sub> en el aire son necesarias aplicaciones como la técnica de descarga en corona. Esta molécula se obtiene cuando la molécula de O<sub>2</sub> se somete a una descarga de elevado voltaje.

El exceso de O<sub>3</sub> se descompone rápidamente en O<sub>2</sub> sin dejar residuos en los alimentos, produciendo un gran número de radicales libres siendo el más importante el hidroxilo (OH). Algunos autores afirman que el ozono molecular es el principal inactivador de microorganismos

mientras que otros sostienen que la actividad antimicrobiana se debe a la reacción de los subproductos procedentes de la descomposición del ozono como  $\cdot\text{OH}$ ,  $\text{O}_2^-$  y  $\text{HO}_3$  (Bablon *et al.*, 1991b; Chang 1971; Glaze y Kang, 1989; Harakeh y Butler 1985; Hunt y Marinas 1997). Aunque los radicales libres resultantes son oxidantes más poderosos, su vida media es corta (microsegundos) y no tienen un efecto significativo en la concentración. La vida media de la molécula de ozono en aire es relativamente larga (sobre unas 12 horas) pero en disolución acuosa depende de la cantidad de ozono que demanda el material que está siendo ozonizado.

La aplicación de ozono puede reducir significativamente la flora microbiana en la superficie de los alimentos (Achen, 2000) ya que la descomposición de éste en la fase acuosa del alimento es rápida y su acción antimicrobiana tendrá lugar principalmente en la superficie (Kaess y Weidemann, 1968).

La inactivación de microorganismos por el ozono es un complejo proceso dado que éste ataca a un gran número de constituyentes celulares incluyendo proteínas, lípidos insaturados y enzimas respiratorias en las membranas celulares, péptidoglicanos en envolturas celulares, enzimas y ácidos nucleicos del citoplasma, y proteínas y péptidoglicanos en cubiertas de esporas y cápsides de virus.

Giese y Ghristenser (1954) sugirieron que la superficie celular de la bacteria es el primer lugar de actividad del ozono. Scott y Lesher (1963) propusieron que los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados que componen la cubierta celular son el primer sitio de ataque. Otros componentes de las cubiertas celulares susceptibles de ser oxidados por el ozono son las membranas ligadas a enzimas, glicoproteínas y glicolípidos conduciendo a la salida del contenido celular y eventualmente causando la lisis (Murray *et al.*, 1965). Cuando los lípidos insaturados y los grupos sulfídricos de los enzimas son oxidados por el ozono, se altera el normal funcionamiento de la actividad celular incluyendo la permeabilidad seguido de la muerte. Tratando *Salmonella enteritidis* con soluciones ozonadas alteraba la membrana celular, sin embargo, Komanapalli y Lau (1996) observaron que la exposición corta (1-5 min) de *E. Coli* K-12 al ozono (600 ppm) comprometía la permeabilidad de la membrana pero no afectaba a la viabilidad la cual disminuía progresivamente con exposiciones superiores a 30 min.

Khadre y Yousef (2001) encontraron que las esporas de *Bacillus subtilis* tratadas con disolución ozonada mostraron una profunda interrupción de cubierta externa de la spora.

Varios autores opinan que es la inactivación de enzimas un importante mecanismo por el cual el ozono mata a las células (Chang, 1971; Ingram y Barnes, 1954; Takamoto *et al.*, 1992).

El ozono puede inactivar microorganismos al dañar su material genético. En un estudio (in vitro) de Scott (1975) e Ishizaki *et al.* (1981) con ADN de *E. coli*, observaron que las bases

pirimidínicas fueron modificadas con tiamina siendo más sensibles al ozono que citosina y uracilo. En otro estudio, el ozono abrió el plásmido circular de ADN y redujo su capacidad de transformación, produciendo simples y dobles hebras rotas del plásmido de ADN (Hamelin, 1985) y disminuyó la actividad transcriptora (Mura y Chung, 1990). Estudiando *E. coli*, l'Herault y Chung (1984) encontraron que el ozono puede producir mutaciones. Sin embargo, otras investigaciones no detectaron ningún efecto mutagénico del ozono en *Salmonella* spp. (Victorin y Stahlberg, 1988).

El ozono inactiva numerosas bacterias gram-negativas y gram-positivas y tanto formas vegetativas como esporas. Sobsey (1989) y Lee y Deniniger (2000) concluyeron que las bacterias gram-positivas son más resistentes que las gram-negativas. Igualmente, Restaino *et al.* (1995) comprobó que las gram-negativas eran más sensibles al agua ozonada que las positivas, con la excepción de *L. monocytogenes*. Sin embargo, Kim *et al.* (1999b) encontraron resultados inconsistentes con las conclusiones citadas y la resistencia en orden descendente fue de *E. Coli* O157:H7, *Pseudomonas fluorescens*, *Leuconostoc mesenteroides* y *Listeria monocytogenes*. El ozono es generalmente más efectivo contra las bacterias celulares vegetativas que frente esporas de bacterias y hongos (Kim *et al.*, 1999b). Broadwater *et al.* (1973) determinaron un menor umbral letal para *Bacillus cereus* y *B. megaterium* que frente a sus esporas.

El O<sub>3</sub> es un eficaz fungicida. Farooq y Akhlaque (1983) y Kawamura *et al.* (1986) comprobaron que también inactiva levaduras. Para Restaino *et al.* (1995) las levaduras parecen más sensibles que los mohos a los tratamientos de ozono. Normalmente se requieren concentraciones más elevadas que para las bacterias (Rego *et al.*, 2002).

Sproud y Kim (1980), Kim *et al.* (1980; 1984) encontraron que el ozono inactivaba los virus por atacar a la cápside. El O<sub>3</sub> altera las cadenas de polipéptidos en la cubierta proteica oxidándolas y modificando la estructura tridimensional, al ocurrir esto, el virus no puede anclarse a ninguna célula hospedadora por no reconocer su punto de anclaje (Roy *et al.*, 1981). La acción viricida es observable a concentraciones inferiores a la de acción bactericida dado que la complejidad de la envoltura vírica es inferior a la de la pared bacteriana (Rego *et al.*, 2002).

Este potente antioxidante puede aplicarse de dos formas, en disoluciones acuosas o de forma gaseosa en aire. Según el método elegido los factores a controlar serán distintos, así como la eficacia del tratamiento en el producto en cuestión.

Este gas es relativamente inestable en disoluciones acuosas. Se descompone continuamente, pero lentamente, a oxígeno (Tomiyasu *et al.*, 1985). La vida media del ozono en agua destilada a 20°C es de unos 20 a 30 min. Sin embargo, Wynn *et al.* (1973) encontraron que

tiene una vida media de 165 min en agua destilada a 20°C y Wickramanayake *et al.*, (1984) informaron de una vida muy corta (de 2 a 4 min) en soluciones acuosas a pH 7,0 y 25°C.

La disolución del O<sub>3</sub> en agua, parcialmente soluble en la misma, cumple la ley de Henry donde la cantidad de gas presente en la solución a una determinada temperatura es linealmente proporcional a la presión parcial del gas. Con el aumento de la temperatura el O<sub>3</sub> es menos soluble y estable pero la velocidad de reacción con el sustrato se incrementa (Bablon *et al.*, 1991). La temperatura determina parcialmente la velocidad a la cual puede difundirse a través de la superficie del microorganismo y su velocidad de reacción con el sustrato. Wickramanayake *et al.* (1984) observaron que con el aumento de la temperatura de 0 a 30°C, la velocidad de inactivación de *Giardia cysts* aumentaba. Sin embargo, Kinman (1975) no observaron ningún efecto en la velocidad de desinfección con el incremento de la temperatura (0 a 30°C). Al parecer cuando la temperatura aumentaba, el aumento en la reacción del ozono era compensado por la disminución en su estabilidad y entonces no se observaba ningún cambio. Kim *et al.* (1999a) observaron que reducía la carga microbiana cuando era aplicado a temperaturas superiores que las de refrigeración.

Los microorganismos pueden encontrarse asociados o ligados a materia orgánica suspendida en la disolución, estorbando la accesibilidad del ozono. El apropiado mezclado, burbujeo o turbulencia aumenta el contacto con la burbujas y la solubilización en agua y además rompe los grupos de microorganismos (Katzenelson *et al.*, 1974; Kim *et al.*, 1999a). Por ello, el diseño de agitadores, la sonicación (Burlison *et al.*, 1975) de ozono en agua, aumenta la velocidad de solubilización (Schulz y Bellamy, 2000). No obstante, la sonicación puede aumentar la descomposición de ozono o aumentar la demanda del mismo al separar los materiales orgánicos del producto cortado (Kim y Yousef, 2000). La velocidad del flujo del ozono y el tiempo de contacto también afecta a la transferencia del gas en el agua.

La pureza y el pH del agua afecta enormemente a la velocidad de solubilización del ozono. La disolución es más rápida en agua desionizada y destilada con pH por debajo de 6 que en el agua corriente con un pH de 8,3. El elevado pH del agua del grifo puede desestabilizar el ozono disminuyendo la velocidad de solubilización del mismo. Leiguarda *et al.* (1949) observaron que la eficiencia bactericida del ozono en *E. coli* y *C. perfringens* era ligeramente mayor a pH 6,0 que a pH 8,0. Foegeding (1985) encontró que el pH ácido incrementaba la letalidad del ozono frente a las esporas de *Bacillus* y *Clostridium*. Así mismo, la estabilidad del ozono en la disolución disminuye cuando el pH aumenta (Kim *et al.*, 1999b). El ozono se descompone a elevados pH dando como resultados radicales que contribuyen a su eficacia. La importancia relativa de estos dos mecanismos de inactivación puede variar con el

microorganismo y condiciones de tratamiento. No obstante, la actividad desinfectante del ozono no se ve afectada por un pH del agua de entre 6 y 8,5 (Suslow, 2003).

La presencia de sustancias orgánicas compiten con los microorganismos ya que al demandar ozono reducen la dosis del mismo (Ingram y Barnes, 1954). La sensibilidad de los microorganismos al ozono está profundamente afectada no sólo por la cantidad sino también por la naturaleza de esa materia orgánica presente en el medio (Restaino *et al.*, 1995). Estos autores comprobaron que el tipo de materia orgánica es más importante que la cantidad presente. La presencia de materia orgánica en agua asociada al alimento es altamente indeseable. Además, ciertos subproductos procedentes de la acción del ozono en compuestos orgánicos pueden acortar la vida útil, cambiar la calidad organoléptica o poner en peligro la seguridad del producto final.

Por tanto, la sensibilidad de los microorganismos al ozono, es decir, la efectividad del mismo depende no sólo de la dosis sino de su efecto residual en el medio después de haber sido consumido por otros componentes. Venosa (1972) señaló que uno de los fracasos más serios del O<sub>3</sub> ha sido la incapacidad para distinguir entre la concentración aplicada y la dosis residual efectiva en la desinfección.

Una de las aplicaciones del ozono en agua se dirigen a reducir los residuos de pesticidas, compuestos orgánicos presentes en el agua (DBO ó DQO) o sólidos en suspensión ya que el ozono facilita la floculación y precipitación de los mismos y puede convertir muchos materiales orgánicos no biodegradables en formas biodegradables (Kim *et al.*, 1999b). Smilanick *et al.* (1999) destruyeron en más del 95% la presencia de fungidas como imazalil, tiabendazol y orto-fenil fenol tras 30 min de ozonación. Por ello, tiene especial interés en reducir los residuos de pesticidas y otros residuos químicos (Hwang *et al.*, 2001; Langlais *et al.*, 1991; Nickols y Varas, 1992) y micotoxinas en determinadas productos (McKenzie *et al.*, 1997). Estos mismos autores observaron tras el lavado de fresas con agua ozonada (4 ppm) una disminución de la flora mesófila, sólidos suspendidos, DBO y DQO del 99,2%, 43%, 33% y 43% respectivamente.

Otra de las aplicaciones más importantes del ozono en disolución acuosa es su uso para el lavado de frutas y hortalizas mejorando la seguridad alimentaria del producto para controlar los patógenos en la superficie (Hampson y Fiori, 1997; Smilanick *et al.*, 1999). Numerosos autores han trabajado en este campo, tanto en suspensiones celulares como en productos hortícolas (Beltrán *et al.*, 2003; Hokigne *et al.* 1975; Kim *et al.*, 1999a; Rego *et al.*, 2002; Shimizu *et al.*, 1982; Singh *et al.*, 2002; Smilanick *et al.*, 1999; Spotts y Cervantes, 1992). Los resultados de estos autores se discutirán ampliamente en los Capítulos correspondientes de esta Tesis.

Otra de las aplicaciones del ozono se presenta como gas en aire, como agente desinfectante en cámaras de conservación o durante el transporte previniendo el crecimiento de bacterias, mohos y levaduras en la superficie de los alimentos, así como para controlar insectos. Para obtener un óptimo aprovechamiento del O<sub>3</sub> como gas hay que tener en cuenta la HR del medio. Elford y Ende (1942) observaron que con HR < 45% el poder germicida del ozono era insignificante. Los microorganismos son destruidos más rápidamente por ozono en una atmósfera de elevada HR que baja ya que éstos desecados son más resistentes que las células hidratadas (Ewell, 1946). El ozono es muy efectivo en eliminar el etileno a través de la reacción química  $H_2C=CH_2 + O_3 \Leftrightarrow CO_2 + H_2O$ .

Por sus beneficios como agente microbiano ha sido utilizado en determinados productos y por diferentes investigadores como Baranovskaya *et al.* (1979) en patatas, cebollas y remolacha azucarera a una dosis de 3 ppm, Zhao y Cranston (1995) trataron pimientos a una dosis de 6,7 mg O<sub>3</sub>·L<sup>-1</sup> durante 60 min, Barth *et al.* (1995) lo aplicaron en zarzamoras a una concentración de 0,3 ppm (0,64 · 10<sup>-3</sup> mg·L<sup>-1</sup>) y Sarig *et al.* (1996) trataron uvas con 8 mg·L<sup>-1</sup> de O<sub>3</sub> durante 20 min. Además, Liew y Prange (1994) inocularon zanahorias exponiéndolas a 0,06 mg·L<sup>-1</sup> de O<sub>3</sub> durante 8 horas al día, Singh *et al.* (2002b) inocularon *Escherichia coli* (8 log ufc·g<sup>-1</sup>) en lechuga y zanahoria aplicándoles 2,1 ó 5,2 ó 7,6 mg O<sub>3</sub>·L<sup>-1</sup> de ozono gaseoso aplicadas durante 5,10 y 15 min y Palou *et al.* (2002) también inocularon melocotones y uvas exponiéndolos de forma continua a 0,3 ppm. Todos ellos lograron reducir en mayor o menor medida la población microbiana. Sin embargo, Pérez *et al.* (1999) no pudieron prevenir las pudriciones en fresas con 0,35 ppm.

El ozono no sólo controla patógenos, Saring *et al.* (1996) observó que este gas controlaba *Rhizopus stolonifer* e inducía fitoalexinas en uvas de mesa, y esto que es lo que hacía a las bayas más resistentes a posteriores infecciones. Además el ozono prolonga la vida útil en determinados productos, tal y como encontró Gane (1936) en plátanos con 1,5 a 7 ppm de O<sub>3</sub>, Ewell (1940) quién dobló la vida útil de fresas, frambuesas y uvas aplicando con la aplicación de 2-3 ppm de O<sub>3</sub> durante varias horas al día, Kuprianoff (1953) en manzanas, Baranovskaya *et al.* (1979) en patatas, cebollas y remolacha azucarera, Jin *et al.* (1989) en tomates y mandarinas, Barth *et al.* (1995) en zarzamoras y Sarig *et al.* (1996) en uvas.

Otros beneficios son los encontrados por Bazarova (1982), éste conservó manzanas a 0°C y un 90-95% HR con ozono gaseoso (5-6 µg·L<sup>-1</sup>) durante 4h al día reduciendo las pérdidas de peso y la incidencia de daños en el fruto. Kolodyaznaya y Suponina (1975) observaron que tras varios meses de conservación de patatas con 4 a 9 ppm de ozono, éstas mostraron más contenido en vitamina C. Maguire *et al.* (1980) obtuvieron en tomates madurados con ozono un

pronunciado y típico aroma a tomate en presencia de 3,7 ppm de ozono. Ewell (1950) detectó un aumento en el aroma al tratar fresas. Gottauf y Hansen (1965) observaron que la adición de ozono en la cámara de conservación no eliminaba los componentes típicos responsables del aroma de manzanas.

Sin embargo, Pérez *et al.* (1999) obtuvieron un contenido de volátiles en fresas ozonadas de un 62%. El uso del ozono no causa siempre un beneficio universal durante la conservación de los alimentos, ej.: en arándanos, donde la delgada piel de la fruta reacciona con el ozono permitiendo que este penetre rápidamente, oxidando y dañando el fruto (Norton *et al.* 1968; Rice *et al.*, 1982). El ozono puede oxidar compuestos orgánicos, particularmente aquellos con anillos fenólicos o enlaces insaturados en su estructura (Razumovski y Zaikov, 1984).

Kuprianoff (1953) señaló que era de esperar que el ozono afectara al metabolismo de los organismos vivos como las frutas y hortalizas. Sin embargo, no es fácilmente detectable el efecto que causa en la misma ya que en la mayoría de las frutas no puede penetrar en profundidad por falta de permeabilidad de la piel y por la superficie de la fruta generalmente contiene pocos materiales fácilmente oxidables. Sin embargo, la sensibilidad de las frutas u hortalizas varía de acuerdo al tipo de producto incluso depende de la especie.

## 7. CALIDAD NUTRITIVA.

En EEUU, la presentación de frutas y hortalizas procesadas en fresco ha abierto un nuevo camino para incorporar vitaminas a la dieta. Más de 20 hortalizas se comercializan de esta forma junto con frutas como piñas, melones y uvas. Para los consumidores, merece la pena el coste extra que pagan por estos productos por su salubridad, gran sabor y ahorro de tiempo que supone la elaboración (Garret, 1997). No obstante, las operaciones de procesado y preparación (pelado, loncheado, lavado, etc) junto con los tratamientos para conservar y prolongar la vida útil (refrigeración, EAM, AC, irradiación, etc) tienen un efecto en la calidad nutricional del producto (Klein, 1987) aunque depende del tipo de nutriente. Por ejemplo, el ácido ascórbico es un componente muy lábil mientras que el resto de vitaminas, en general, suelen ser bastante estables.

El melón, es una fruta baja en calorías y sodio, no tiene colesterol y suministra muchos nutrientes esenciales como potasio. Además, caso del Cantaloupe, es una fuente importante de  $\beta$ -caroteno y vitamina C. No obstante, poseen bajos niveles de algunos nutrientes como vitamina E, ácido fólico, hierro y calcio. En dietas con mucha grasa y proteínas, como las actuales, se recomienda la ingesta de 5 a 8 piezas (236 g) de fruta y/u hortaliza, para asegurar una adecuada

nutrición, reducir el riesgo de cáncer junto con otras enfermedades crónicas y mejorar, en general, la salud personal (Lester, 1997).

Investigaciones científicas, han revelado la presencia en plantas de fitoquímicos que no presentan un reconocido valor nutritivo pero son muy importantes en la lucha contra enfermedades humanas. En melón, la cucurbitacina- $\beta$ , litio y zinc son prometedoras sustancias en la prevención de cánceres, depresiones y úlceras, además, de estimular el sistema inmunitario (Beackstrom-Sternberg y Duke, 1995). El tomate rico en vitamina C y licopeno previene afecciones cardíacas y cánceres como el de próstata, además disuelve el ácido úrico y, por tanto, está recomendado a las personas que sufren gota.

## **8. CALIDAD Y VIDA ÚTIL.**

Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, la calidad es la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permitan juzgar su valor. Para Abbott (1999), el término calidad implica el grado de excelencia de un producto o su conveniencia para un uso particular. La calidad es un concepto humano que agrupa a muchas propiedades o características. La calidad de un producto abarca propiedades sensoriales (apariencia, textura, sabor y aroma) y nutritivas (vitaminas A y C, minerales y fibra dietética) (Watada y Qi, 1999). Piagentini *et al.* (2002) añaden a la apariencia propiedades como frescura, color, defectos y deterioro, en las propiedades texturales exige que el producto sea crujiente, turgente, firme y que posea dureza e integridad en el tejido. A éstas incorpora seguridad alimentaria, es decir, ausencia de residuos químicos y una óptima calidad microbiana.

Los atributos de calidad serán aquellos que proporcionan una apreciación en la aceptabilidad del consumidor. Shewfelt (1999) señala que la calidad, a menudo, se define desde la orientación del producto o del consumidor. Pero no hay que olvidar la gran variabilidad de consumidores que agrupan el mercado, desde el agricultor hasta el consumidor y cada uno posee sus propios criterios de calidad y aceptabilidad. A menudo, existe una predisposición por parte del consumidor con unas expectativas y preferencias personales, por ello los atributos que componen la calidad varían con el contexto. Para Shewfelt (1999) el concepto de calidad engloba a todas aquellas características que posee el propio producto mientras que todas aquellas percepciones y respuestas del consumidor las engloba bajo el término aceptabilidad y las especificaciones de calidad deben regirse por los atributos más importantes de calidad (Shewfelt, 1986).

El consumidor utiliza todos sus sentidos para evaluar la calidad, vista, gusto, tacto e incluso el sentido del oído. Integrando todas los datos (apariencia, aroma, flavor, sonidos al masticar, la textura al tacto y en la boca) elabora un juicio de aceptabilidad de esa fruta u hortaliza (Abbott, 1999). La calidad de un producto debe comenzar por la elección de las especies y variedades por su mayor calidad organoléptica y valor nutritivo, la recolección en un estado óptimo de calidad y del posterior adecuado manejo a lo largo de la cadena de producción y distribución (Artés, 2000b; Watada, 1999; Zagory y Kader, 1988). Son muchos los factores que afectan a la calidad como variedad, recolección en el momento óptimo de madurez, higiene, desórdenes físicos y químicos y condiciones de almacenamiento (temperatura, EAM o AC, HR) (Watada, 1997). Los criterios microbiológicos son normalmente descritos en términos de requerimientos legales pero son estándares mínimos. Para Zagory (1999) en muchos casos los recuentos bacterianos tienen poca o ninguna relación con la calidad del producto o su vida útil ya que la proliferación de microorganismos es una primera causa del final de la vida comercial.

El término vida útil (“shelf life”- “vida en el anaquel”) comprende el periodo de tiempo que se puede esperar de un producto manteniendo un predeterminado nivel de calidad bajo unas específicas condiciones de almacenamiento (Shewfelt, 1986), según esta definición, las determinaciones de vida útil están basadas principalmente en la selección de un atributo específico de calidad y unos criterios de aceptabilidad. Aquí será necesario definir los diferentes criterios de calidad usados para determinar la aceptabilidad y definir el fin de la vida útil. Éstos son difíciles de medir y pueden cambiar con el tiempo y estar influenciados por factores culturales.

Para Vankerschaver *et al.* (1996) la vida útil de un producto procesado puede definirse como el tiempo que transcurre desde su elaboración hasta que ese producto es seguro y sano bajo unas condiciones recomendadas de conservación. Estos autores modelizaron la predictiva vida útil de endivias procesadas en fresco y en su modelo seleccionaron la temperatura como uno de los principales factores.

La vida útil de un producto procesado en fresco es mucho menor que para una fruta u hortaliza intacta y, además, es diferente según el tipo de fruta u hortaliza y está a merced de las necesidades del mercado y de las localizaciones del mismo (Watada, 1996). Recordemos que en este tipo de producto la elevada tasa respiratoria, transpiración y, en general, intensa actividad metabólica y deterioro por microorganismos son las principales razones de una vida útil más corta, de 1 a 2 semanas cuando el producto estaba entero frente incluso a 3 días bajo óptimas temperaturas de conservación (Ahvenainen, 1996; Brackett, 1987; Shewfelt, 1986).

No obstante, a pesar de que un producto procesado en fresco es altamente perecedero, se puede asegurar una alta calidad en el producto, siempre y cuando se seleccione con el adecuado grado de madurez para el procesado, se controlen los defectos y desórdenes y se mantengan las correspondientes temperaturas, atmósferas y HR (Watada y Qi, 1999). Los tres pilares para obtener un producto de calidad son “conservarlo frío, limpio y trasladarlo rápidamente” (Zagory, 1999).

## **II. INTERÉS Y OBJETIVOS**

## **1. Interés y objetivos**

### **1.1. Interés**

Los estudios se centraron en melón y tomate cultivados en el Campo de Cartagena y la zona de Mazarrón-Aguilas, de la Región de Murcia, debido al escaso conocimiento existente sobre el comportamiento de ambos productos procesados en fresco y a la práctica inexistencia de información científica sobre el comportamiento postrecolección de las más importantes variedades cultivadas en estas zonas, a pesar de estar entre las destacadas de España en ambos cultivos. En este trabajo se estudia la evolución fisiológica, química, sensorial y microbiológica de estas frutas, con el fin de mejorar sus actuales condiciones de procesado en fresco, conservación, transporte, distribución y comercialización.

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivos generales**

Los objetivos generales de la Tesis han sido:

- Conocer el comportamiento fisiológico en la postrecolección del melón y del tomate enteros y mínimamente procesados en fresco.
- Determinar las principales causas de deterioro que afectan a estos productos una vez procesados y conservados.
- Proponer alternativas tecnológicas viables para extender la vida comercial de ambas frutas procesadas en fresco, manteniendo su calidad nutritiva, sensorial y microbiológica.

#### **1.2.2. Objetivos específicos**

Los objetivos específicos de este trabajo han sido los siguientes:

- Estimar el efecto de la temperatura y de diferentes composiciones gaseosas durante la conservación de melón y tomate mínimamente procesados en fresco.
- Conseguir un periodo de conservación suficiente preservando adecuadamente los atributos de calidad de estas hortalizas.
- Estudiar la evolución de la calidad sensorial y microbiológica de ambas frutas cuando son procesadas en fresco.
- Aplicar las técnicas de atmósfera controlada y de envasado en atmósfera modificada para extender la vida comercial de ambos productos procesados en fresco.
- Desarrollar los baños cálcicos a temperatura moderada para reducir el ablandamiento del melón procesado en fresco.
- Desarrollar aplicaciones de ozono en baños de agua ozonizada y gaseoso (exposiciones cíclicas) para controlar la contaminación microbiana.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

## **1. MATERIAL VEGETAL, PROCESADO Y MONTAJES.**

### **1.1. MATERIAL VEGETAL.**

Las experiencias con melones y tomates se realizaron durante tres campañas consecutivas (desde 1999/2000 a 2001/2002). En los ensayos de melón se utilizó fundamentalmente el cultivar “Amarillo”, variedades “Solaris” y “Doral”.

En los ensayos de tomate se utilizaron dos variedades de larga vida, “Calibra” y “Thomas”. No obstante, en esta Tesis y para ambas especies, se realizó un estudio con el objetivo de averiguar el tipo varietal y/o variedad más idóneo para el procesado en fresco y su posterior conservación.

La mercancía fue proporcionada por las empresas más importantes en los cultivos respectivos, Fruca CFM (Fuente Álamo, Murcia) en el caso del melón y S.A.T. “Durán” (Mazarrón, Murcia).

Ésta se suministraba en cajas de cartón de 6 ó 15 Kg siguiendo el mismo proceso de selección, calibrado y empaquetado que los productos comercializados en el mercado nacional e internacional.

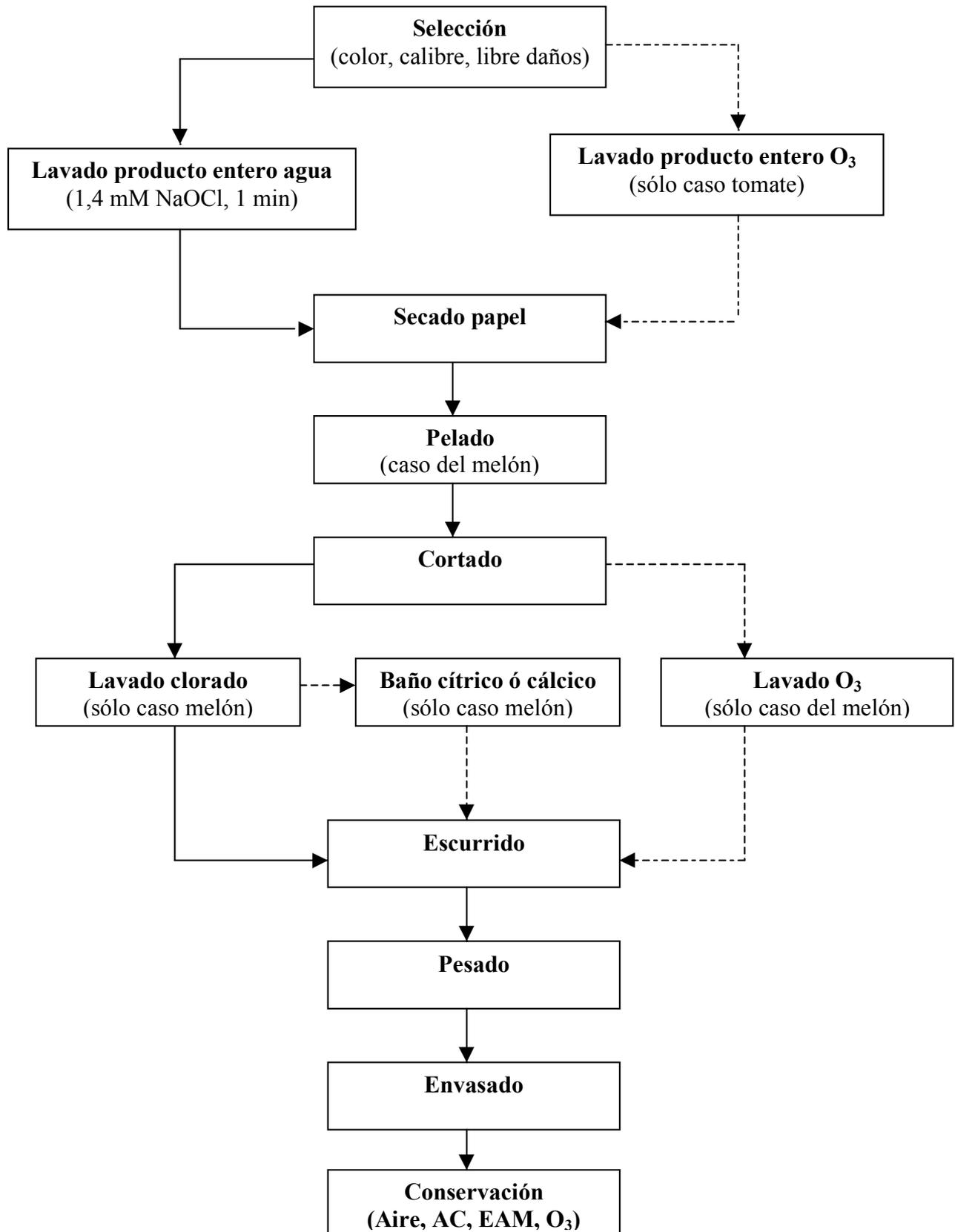
### **1.2. PROCESADO.**

A modo de resumen se presenta en la Figura 1, el diagrama de flujo con las etapas realizadas en el producto procesado en fresco. No obstante, en cada Capítulo se describirán los pasos seguidos para elaborar el producto mínimamente procesado.

Todas estas operaciones se realizaron a una temperatura de 5 a 10°C en el interior de una cámara acondicionada para esta finalidad (aislada, limpia e higienizada).

El cortado del melón se realizó a mano mientras que en el tomate se utilizó una cortadora automática (Hallde RG-100, Suecia) provista de hojas afiladas de acero inoxidable, para obtener rebanadas de 0,8 cm de espesor.

Para la obtención de cascos de tomate se utilizó una máquina manual (no posee marca) que dividía los tomates en 8 secciones paralelas al eje longitudinal.



**Figura 1.** Etapas en la elaboración de un producto procesado en fresco. En líneas continuas las etapas que se realizaron en todos los ensayos y en líneas discontinuas sólo si se realizaron en determinados ensayos, técnica objeto de estudio.

### 1.3. MONTAJES ESPECÍFICOS.

En determinados ensayos, como la conservación del producto en AC o bajo una ozonación continua, se necesitó de montajes específicos que describimos a continuación.

El resto de los ensayos requirieron de técnicas más sencillas descritas en el Capítulo correspondiente.

#### 1.3.1. Atmósfera controlada.

Los melones o tomates enteros y procesados en fresco se colocaron en el interior de frascos de vidrio (cámara de respiración) de 0,5 ó 0,75 L (procesado) a 1,75 ó 2,6 L (entero) de capacidad según el caso, provistos de cierre hermético, dentro de los cuales circulaba una corriente de 0,1 a 0,3 L h<sup>-1</sup> de aire o, según la experiencia, una AC.

Tanto la corriente de aire como las de AC tuvieron una HR de 95 - 100%, según el método descrito por Artés (1976) y Kader (2002b) que se representa en la Figura 2.

Para aplicar los tratamientos y realizar las mezclas gaseosas correspondientes a las AC, se empleó un sistema mezclador de gases con llaves de aguja de alta precisión y manómetros de agua para regular los flujos de aire, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> utilizados en las mezclas (Flowboard, Davis, CA, EEUU).

El aire se obtuvo a partir de un compresor ubicado en el exterior de las instalaciones frigoríficas y el CO<sub>2</sub> y el N<sub>2</sub> de botellas suministradas por Air Liquide S.A. (Murcia, España).

Se utilizaron 5 repeticiones por tratamiento. Cada repetición estuvo formada:

#### 1) Producto entero.

Tomate, 3 frutos por frasco de 1,75 L de capacidad.

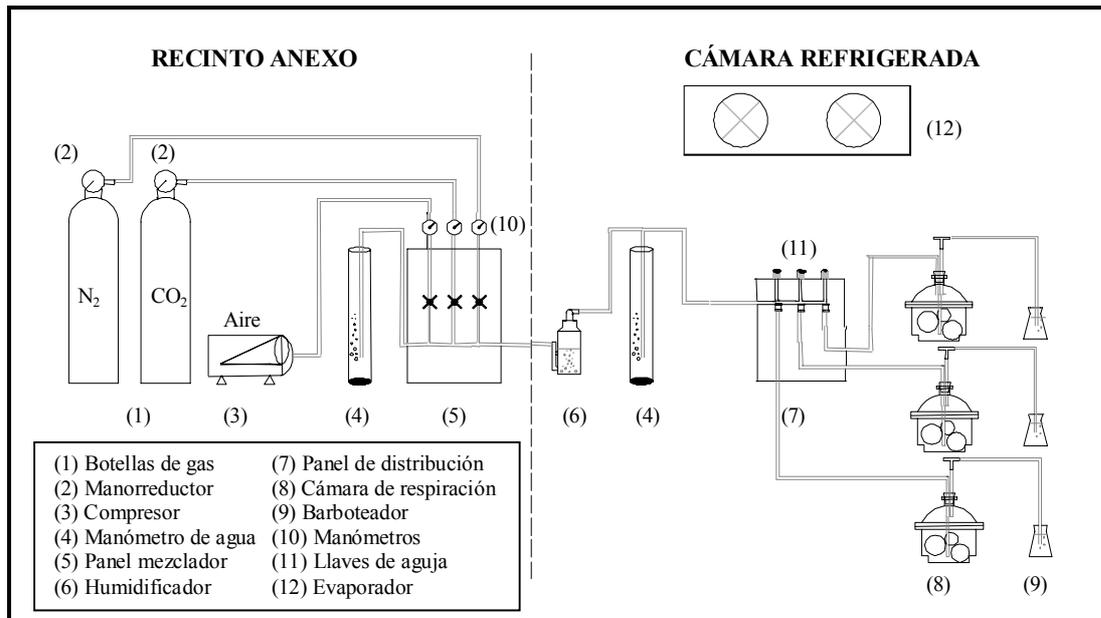
Melón, 1 fruto por deshidratador de 2,6 L de capacidad

#### 2) Producto procesado.

Tomate y melón, unos 185 y 400 g por frasco de 0,5 ó 0,75 L, según tipo de ensayo.

Para determinar el flujo a utilizar se empleó la siguiente expresión considerando un valor orientativo de la tasa respiratoria según datos bibliográficos y una acumulación de CO<sub>2</sub> inferior al 0,3 kPa (Watada *et al.*, 1996).

$$\text{Flujo de aire (mL h}^{-1}\text{)} = \frac{\text{mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}}{\text{CO}_2 (<0,3\%)} \times \text{Peso de la muestra (kg)} \times 100$$



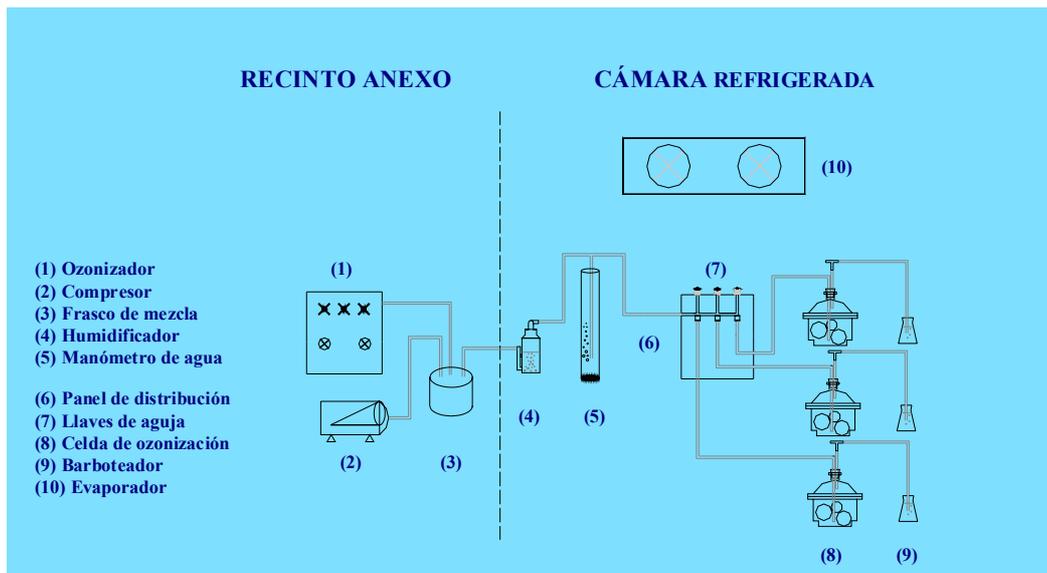
**Figura 2.** Representación del sistema continuo de gases utilizado para distribuir el aire y las diferentes atmósferas controladas en el interior de las cámaras con producto (tomada de Escalona, 2003).

### 1.3.2. Ozonación.

Para el ensayo de conservación de tomate en  $O_3$  mediante exposiciones cíclicas, se diseñó el siguiente montaje (Figura 3).

Mediante un ozonizador industrial (AMBICON, Ambiente Biológico y Control, Murcia, España) de una producción de  $2 \text{ g } O_3 \cdot \text{h}^{-1}$  se obtenía un flujo ozonizado de elevada concentración en este gas. Éste se diluía en un frasco de mezcla junto con un flujo de aire obtenido a partir de un compresor. Para asegurarnos de la concentración obtenida se utilizó un sensor (EcoSensor, INC., modelo A-21ZX, EEUU) colocado en el frasco de mezcla.

Posteriormente, el flujo ozonizado pasaba a un humidificador y, a través de un manómetro de agua y con un panel de distribución repartirse en las distintas celdas de ozonización. Para regular el caudal de entrada ( $0,1$  a  $0,3 \text{ L h}^{-1}$ ) se disponían de unas llaves de aguja. El producto colocado en las celdas de ozonización entrando en contacto íntimo con el flujo ozonizado.



**Figura 3.** Representación del sistema utilizado para distribuir el flujo ozonizado en el interior de las cámaras con producto.

## 2. DETERMINACIONES DE LOS PARÁMETROS FISIOLÓGICOS, SENSORIALES Y MICROBIOLÓGICOS.

### 2.1. DETERMINACIÓN DE LA TASA RESPIRATORIA Y EMISIÓN DE ETILENO.

El estudio de la actividad respiratoria de un producto es un excelente indicador de la actividad metabólica de un tejido, es una guía muy útil para conocer la potencial vida útil de un producto, indica la velocidad de deterioro de un producto (Bai et al., 2001).

Para determinar la tasa respiratoria ( $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) y la emisión de etileno ( $\text{nL}$  o  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), inicialmente se utilizaron los métodos dinámico y estático, pero debido a la moderada a baja actividad respiratoria y de emisión de etileno de los productos estudiadas se optó preferentemente por el estático. Los frascos se cerraron herméticamente durante 1,5 a 3 horas y tras finalizar este periodo se tomaron muestras gaseosas de 1 mL del espacio de cabeza, para conocer la cantidad de  $\text{CO}_2$  acumulado, que se analizaron en un Cromatógrafo de gases (CG) (Shimadzu GC-14, Tokio, Japón) provisto con un detector de conductividad térmica (TCD) a  $200^\circ\text{C}$ . Las temperaturas del horno y del inyector fueron  $50$  y  $100^\circ\text{C}$  respectivamente. Se utilizó He como gas portador (flujo:  $30 \text{ mL min}^{-1}$ ) y una columna Chromosorb 102 ( $2 \text{ m} \times 1/8''\text{SS}$  Supelco, Inc., Bellefonte, Penn, EEUU). De la misma forma que para  $\text{CO}_2$ , se tomaron muestras de 1 mL, para conocer la cantidad de etileno acumulado, que se analizaron en un CG (Hewlett Packard 5730A, EEUU) con un detector de ionización de llama (FID) a una

temperatura de 200°C. La llama se obtuvo de la combinación de hidrógeno (flujo: 90 mL min<sup>-1</sup>) y aire (flujo: 270 mL min<sup>-1</sup>). La temperatura del horno fue 35°C aproximadamente. El gas portador empleado fue He (flujo: 30 mL min<sup>-1</sup>) y la columna utilizada una Porapak Q 4 ft, 80/100. A continuación se procedió al barrido continuo con aire (< 0,03 kPa CO<sub>2</sub>) o AC, para eliminar el CO<sub>2</sub> en el aire, el exceso de este gas en AC y el etileno en todos los tratamientos (Watada *et al.*, 1996). Las determinaciones fueron periódicas y se prolongaron a lo largo de la conservación y, en algunos casos, durante la comercialización.

Para determinar los mL de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> se emplearon las siguientes expresiones (Artés, 1976; Kader, 2002b; Kays, 1991).

Sistema dinámico:

$$\text{mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1} = \frac{\Delta \text{CO}_2 \%}{100} \times \frac{\text{Flujo (mL h}^{-1}\text{)}}{\text{Peso de la muestra (kg)}}$$

Sistema estático:

$$\text{mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1} = \frac{\Delta \text{CO}_2 \%}{100} \times \frac{\text{Volumen libre (mL)}}{\text{Peso de la muestra (kg)}} \times \frac{1}{\text{Tiempo (h)}}$$

Para convertir los mL CO<sub>2</sub> a mg se multiplicaron los mL por un factor que varía según la temperatura utilizada:

Temperatura (°C)	mg/mL CO <sub>2</sub>
0	1,96
5	1,94
10	1,90
20	1,84

Para determinar la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (nL o μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) se emplearon las siguientes expresiones (Artés, 1976; Kader, 2002b; Kays, 1991).

$$\text{nL kg}^{-1} \text{ h}^{-1} = \Delta \text{C}_2\text{H}_4 \text{ ppm} \times \frac{\text{Volumen libre (mL)}}{\text{Peso de la muestra (kg)}} \times \frac{1}{\text{Tiempo (h)}}$$

$$\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1} = \frac{\Delta \text{C}_2\text{H}_4 \text{ ppm}}{1000} \times \frac{\text{Volumen libre (mL)}}{\text{Peso de la muestra (kg)}} \times \frac{1}{\text{Tiempo (h)}}$$

## 2.2. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GASEOSA BAJO ENVASADO EN ATMÓSFERA MODIFICADA.

Frecuentemente, se determinaron las concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en el interior de los envases termosellados, tomando 0,5 mL de muestra gaseosa con una jeringuilla plástica a través de un septum de silicona colocado sobre la película plástica. Estas muestras fueron analizadas en un CG (Perkin Elmer Autosystem, Norwalk, Connecticut, EEUU) equipado con una columna Porapack QS 80/100 (1.2 m x 3.18 d.i.) y un detector de conductividad térmica acoplado a un integrador (Pe 1020 Norwalk, Connecticut, EEUU). El sistema utilizó una válvula 10-port (Supelco Inc., Bellefonte, Pennsylvania, EEUU) con una temperatura en el horno y el detector de 35° y 115°C respectivamente. El gas portador fue He con un flujo de 18,4 mL min<sup>-1</sup>.

Las concentraciones de etileno se determinaron a partir de muestras gaseosas de 0,5 mL inyectadas en el mismo CG utilizado para medir la emisión de este gas (sección 2.1).

El calibrado y comprobación del correcto funcionamiento de los CG fueron realizados mediante botellas de patrones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de concentración conocidas (Air Liquide S.A., Murcia, España) (Artés et al., 2000).

## 2.3. ANÁLISIS SENSORIAL.

Mediante un panel entrenado formado por al menos 5 personas (25 - 60 años de edad), conocedoras de las características sensoriales de estos productos, se evaluó la apariencia, el aroma, la textura, el sabor y la calidad global (aceptabilidad) utilizando una escala hedónica. Normalmente, esta constó de 9 puntos en donde 1, correspondió a extremadamente mal o, en el caso de textura, muy blanda; 3, me disgusta o textura blanda; 5, ni me gusta ni me disgusta o moderada textura; 7, me gusta o buena textura y 9, me gusta de manera insuperable o excelente textura. Los valores inferiores a 5 se consideraron no aptos para comercializar el producto. Esta escala reflejó, en el aroma y el sabor, la intensidad del atributo siendo el valor 1, ausencia del atributo; 3, baja intensidad; 5, moderada; 7, alta y 9, intensa (adaptadas de Kader *et al.*, 1973; Lipton, 1980). En algunos ensayos, para el caso del aroma, textura y sabor la escala hedónica fue equivalente, pero constó de 5 puntos. De la misma forma, esta escala reflejó, en el aroma y

el sabor, la intensidad del atributo siendo el valor 1, ausencia del atributo; 2, baja intensidad; 3, moderada; 4, alta y 5, intensa.

#### **2.4. FIRMEZA.**

Para tal evaluación se utilizó una prensa Lloyd Instrument modelo LR 10K (Fareham, Hants, Reino Unido).

Para el caso del melón, entero o procesado, la evaluación fue mediante una penetración en la zona central de 5 mm de profundidad, con un punzón de acero inoxidable de 4,5 mm de diámetro. La velocidad de penetración fue de 50 mm min<sup>-1</sup> (adaptado de Portela y Cantwell, 2001).

Para el tomate, la firmeza tanto en el producto entero como en las rodajas, se determinó mediante compresión de dos platos (12 x 18 cm) a una velocidad de 4 mm min<sup>-1</sup> (adaptado de Artés et al., 1999). En ambos casos, la fuerza de penetración se expresó en Newton (N).

#### **2.5. DETERMINACIÓN DEL CALCIO LIBRE, FIJADO Y TOTAL.**

Con este método se evalúa el calcio libre y fijado de melón procesado y bañado con distintas sales cálcicas. Esta técnica está adaptada según Carvajal et al. (1999). La dividimos en los siguientes pasos.

##### **2.5.1. Extracción de la muestra.**

De las piezas de melón procesado (secciones trapezoidales) inmersas o no (testigo) en un baño cálcico se extrajo con un sacabocados de 15 mm de diámetro, cilindros en tres de las cuatro caras de la pieza. No se extrajo ninguna muestra en la cara en la que descansa la placenta ya que esta superficie no es plana y en ocasiones los cilindros se rompían. Obtenidos los cilindros, éstos se seccionaba a una altura de 5 mm, adquiriendo discos, donde una de sus caras había estado en íntimo contacto con el baño. Con este método determinaremos el calcio filtrado hasta 5 mm.

Cada muestra estuvo compuesta por 15 g de discos, normalmente, unos 18 discos pertenecientes a 6 secciones trapezoidales. Se prepararon 5 muestras por tratamiento.

##### **2.5.2. Obtención de los extractos.**

Las muestras se trituran con un mortero y se les añade 30 mL de agua descalcificada. Esta mezcla (sólido-agua) permanece 1 hora en un agitador (modelo, Ika labortechnik, KS 125 Basic, Alemania). Con ello, se rompe la estructura celular para extraer el calcio libre localizado en su mayoría en la vacuola y el citoplasma. La disolución obtenida, se centrifuga a 25.000 rpm

durante 1 hora. Una vez centrifugado se separa el sobrenadante totalmente transparente del extracto sólido. En este sobrenadante se determina el calcio libre mientras que en el extracto se evaluará el calcio fijado a la pared celular y otros orgánulos.

### **2.5.3. Determinación del calcio.**

#### ◆ Determinación del calcio libre.

En un espectrofotómetro de absorción atómica (AA-6200, Shimadzu, Kyoto, Japón) a una longitud de onda de 422,7 nm, se determina el calcio presente en el sobrenadante.

#### ◆ Determinación del calcio fijado.

El extracto (parte sólida) obtenido tras la centrifugación pasa a una desecación vía seca y posterior digestión con nítrico-perclórico para ser medida en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Se seca en estufa (Selecta, Barcelona, España) a 60°C durante unas 48 horas el extracto obtenido. Se muele y se toman 0,5 g que se desecan en un horno mufla (HK-11, Hobersal) a 100°C durante 24 h. Para conocer la relación entre peso fresco y húmedo debemos pesamos la muestra antes y después de introducirla en el horno. Tras la desecación, se pesa 0,1 g de muestra evitando que coja humedad manteniéndola en un desecador con gel de sílice.

Éstas muestras sufrirán la digestión con nítrico-perclórico. En un tubo digestor (de 50 mL) se añade la muestra desecada junto con 3 mL de nítrico (65%) y perclórico (60%) (Panreac, Barcelona, España) relación 2:1. Se tapa la muestra y se deja 12 horas a 50°C. Luego, se sube de 50°C en 50°C la temperatura del digestor (P-Selecta, Barcelona, España), dejándolo durante una hora en cada una de ellas, hasta llegar a 200°C.

Obtenida una muestra transparente, libres de vapores generados por el nítrico, el proceso de digestión finaliza. Una vez que la muestra se enfría se limpian las paredes del tubo digestor, enrasando casi a 25 mL en el mismo tubo digestor y se lleva a ultrasonidos durante unos min. A continuación, se vierte a un matraz aforado donde se enrasa definitivamente a 25 mL. En el extracto obtenido se cuantifica el calcio fijado por espectrofotometría.

Para la calibración del espectrofotómetro se utilizó un patrón (Merck, 1000 mg·L<sup>-1</sup>) de concentración conocida y se prepararon disoluciones de 1 a 5 ppm de calcio. Si la cantidad de calcio presente en las muestras de melón no se encontraba dentro del rango, se diluía en agua bidestilada. Finalmente, los valores leídos en el espectrofotómetro (ppm) deben multiplicarse por los factores de dilución utilizados a lo largo de todo el proceso. Además, en el caso del

calcio fijado conviene expresarlo en función del peso fresco. Para ello, se multiplicará por el factor obtenido tras las distintas pesadas antes y después de introducir la muestra en el horno.

## 2.6. COLOR.

En el producto entero, melón o tomate, el color se determinó en 3 puntos equidistantes alrededor de la zona ecuatorial. En el producto procesado, sólo determinó sobre la pulpa de melón y nunca sobre la matriz del tomate. En aquel caso, se midió en el centro de 2 de las caras de la pieza procesada.

Las medidas de color se realizaron con un fotocolorímetro Minolta CR-300 (Ramsey, NJ, EEUU) y un diámetro de apertura de ventana de 8 mm empleando un plato de calibración blanco ( $Y = 94,3$ ;  $x = 0,3142$ ;  $y = 0,3211$ , fuente de iluminación C y 2º observador). Los valores se expresaron en los parámetros de color del sistema CIELab,  $L^*$  que indica la luminosidad o claridad del color (0 = negro, 100 = blanco),  $a^*$  ( $-a =$  verde,  $a =$  rojo) y  $b^*$  ( $-b =$  azul,  $b =$  amarillo). Se prefirió presentar los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  en función del ángulo hue o tono de color ( $H^\circ = \tan^{-1} b^*/a^*$ ) y Croma o saturación del color  $[(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}]$  (McGuire, 1992). Además, en el caso del melón procesado, se calculó el índice de blancura ( $IB = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$ ) utilizado por Bolin y Huxsoll (1991) para señalar el blanqueamiento en zanahoria. En nuestro caso, este índice junto con el parámetro  $L^*$  fueron los más idóneos para mostrar deterioro en la pulpa e incluso daño por translucencia. Para melón Amarillo, se observó un daño por translucencia moderado cuando  $L^* \leq 66,6$  e  $IB \leq 64,2$ , si estos parámetros alcanzaban un  $L^* \leq 58,3$  e  $IB \leq 56,6$  el daño era severo.

El color del zumo fue analizado, tanto en melón como en tomate, tras ser introducida la muestra en un tubo de cristal y de esperar 2 min para conseguir la decantación de la pulpa. Los resultados se expresaron en  $L^*$ , Croma,  $^\circ H$  e IB (sólo en el caso del melón).

## 2.7. ATRIBUTOS QUÍMICOS.

Cada repetición fue triturada con una licuadora (Moulinex, Barcelona, España) y sobre el zumo obtenido se realizaron los análisis de sólidos solubles totales (SST), pH y acidez titulable (AT). Los SST se determinaron con un refractómetro (Atago N1, Tokio, Japón) a 20°C y se expresaron en  $^\circ Brix$ . El pH se determinó utilizando un pH-metro (Crison 501, Barcelona, España). La AT se expresó como g de ácido cítrico por 100 mL en. Los valores de AT se obtuvieron por titulación de 10 mL de zumo con NaOH 0,1 N a pH 8,1 (AOAC, 1984). En el caso de calcular el índice de madurez (IM), éste se obtiene del cociente de los SST y la AT.

## 2.8. CONTENIDO EN AZÚCARES Y ÁCIDOS ORGÁNICOS.

Una parte del zumo (20 mL) obtenida de cada repetición para evaluar los parámetros anteriores se congeló a  $-70^{\circ}\text{C}$  hasta el momento del análisis. Este zumo fue descongelado, filtrado a través de una gasa de tela y centrifugado a  $10468\text{ g}_n$  durante 15 min en una centrífuga Sigma (modelo 1-13, Alemania). El sobrenadante fue filtrado dos veces, la primera a través de un filtro con una porosidad de  $0,45\text{ }\mu\text{m}$  (Filtro de nylon, Whatman, Clifton NJ, EEUU) y la segunda a través de un cartucho Sep-Pack (Waters, Irlanda).

Para determinar la composición de azúcares se utilizó un Cromatógrafo de líquidos de alto rendimiento (HPLC) equipado con un detector de índice de refracción (Hitachi, modelo L-7490, Tokio, Japón) y una columna LiChrospher 250-4  $\text{NH}_2$  de  $5\text{ }\mu\text{m}$  de porosidad (Merck, Alemania). Los azúcares fueron determinados a partir de una muestra de  $20\text{ }\mu\text{L}$  empleando una fase móvil de acetonitrilo: agua 85:15 (Merck, Alemania) con un flujo de  $1,5\text{ mL min}^{-1}$  y la columna a temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$  (horno, Hitachi, modelo L-7350, Tokio, Japón). Los resultados, se expresaron en  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , no obstante, debido al alto contenido en agua del melón, esta unidad sería prácticamente similar a  $\text{g} \cdot \text{Kg}^{-1}$  de peso fresco.

En la evaluación de los ácidos orgánicos, se utilizaron dos HPLC. Inicialmente, se cualificó y determinó la longitud de onda idónea de los principales ácidos orgánicos que poseían las muestras de melón y tomate. Para ello, se utilizó un Cromatógrafo de líquidos (Waters 2695) acoplado a un diodo de ray con un una columna C18 (Polarity, Waters). Se analizó un volumen de muestra de  $10\text{ }\mu\text{L}$  en una fase móvil de agua y metanol (Merck, Alemania) en una relación 99:1 (a pH 3, ajustado con ácido trifluoracético) con un flujo de  $0,04\text{ mL min}^{-1}$  y la columna a  $30^{\circ}\text{C}$ . Según, este cromatógrafo la longitud de onda idónea para todos los ácidos orgánicos fue de 208 a 210 nm salvo para el ácido ascórbico donde se leía mejor a 243 nm.

Una vez identificados los ácidos, las muestras se cuantificaron en un HPLC con un detector ultravioleta (Hitachi, modelo L-7400, Tokio, Japón) con una longitud de onda de 210 nm y una columna LiChrospher 60 RP-select B de  $5\text{ }\mu\text{m}$  de porosidad (Merck, Alemania). Los ácidos se determinaron a partir de una muestra de  $10\text{ }\mu\text{L}$  empleando una fase móvil de 50 mM de fosfato di-hidrógeno potasio buffer en agua y metanol (Merck, Alemania) en una relación 99:1 (a pH 3, ajustado con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) con un flujo de  $0,3\text{ mL min}^{-1}$  y la columna a temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$  (horno, Hitachi, modelo L-7350, Tokio, Japón) (adaptado de Melgarejo *et al.*, 2000). Los resultados, se expresaron en  $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  o  $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ . No obstante, debido al alto contenido en agua del melón, esta unidad sería prácticamente similar a  $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  o  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  de peso fresco.

## **2.9. PÉRDIDAS DE PESO Y VOLUMEN DE EXUDACIÓN.**

Las pérdidas de peso se determinaron por diferencia entre el peso inicial y en el momento de evaluación mediante una balanza (Mettler, Madrid, España) con una precisión de 0,01 g expresándose como porcentaje.

De forma similar, el volumen de exudación se calculó vertiendo el zumo en una probeta con una precisión de 0,1 mL y se expresó en relación con 100 g de producto.

## **2.10. CONTENIDO EN VOLÁTILES (ETANOL, ACETALDEHIDO Y ETIL ACETATO).**

Otra parte del zumo (10 mL) obtenida de cada repetición, se filtró a través de una gasa introduciéndose en viales de vidrio (de 25 mL) a los que se le añadió 2 g de NaCl, para evitar reacciones enzimáticas. Estos viales se cerraron con un septum y se congelaron en N<sub>2</sub> líquido y se conservaron a -70°C hasta su análisis.

Para el posterior análisis, las muestras se descongelaron a temperatura ambiente y se incubaron a 30°C durante 15 min (Selecta, Barcelona, España). Un 1 mL de espacio de cabeza se analizó en un Cromatógrafo de gases (Shimadzu 14A, Kyoto, Japón) equipado con un detector de llama (250°C) y una columna Metawax (Supelco, 30 m de longitud y 0,53 mm de diámetro). La temperatura del detector (FID) fue de 220°C, la columna y el inyector se mantuvieron a 70 y 150°C, respectivamente. Los componentes fueron cuantificados por comparación con estándares en los que se conocía el tiempo de retención y área del pico. Las concentraciones fueron expresadas en ppm ( $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ ). La técnica utilizada se adaptó de Gil et al. (1998).

## **2.11. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.**

Antes del envasado y a lo largo de la conservación de los productos procesados en fresco, se tomaron tres muestras de 30 g por tratamiento, que se mezclaron con 270 mL de agua peptonada estéril (Merck) durante 1 min dentro de una bolsa estéril (Modelo 400 Bags 6041, Londres, Reino Unido) usando un masticador (Colwort Stomacher 400 Lab, Seward, Medical, London, UK). Las diluciones se hicieron en 9 mL de agua peptonada.

En condiciones asépticas, por dilución, se extrajo una alícuota de 1 mL para el recuento de bacterias mesófilas y psicrotrofos aerobios y 0,2 ó 0,1 mL para hongos y levaduras. En bacterias se utilizó como medio nutritivo agar para conteo de placas (PCA, Merck) y para hongos y levaduras rosa de bengala (Merck). Las condiciones de incubación fueron 30°C durante 48 h para bacterias mesófilas y levaduras, 7°C durante 5 días para bacterias psicrófilas y de 22°C durante 5 días para hongos. Cuando se estudiaron coliformes se utilizó Chromocult coliformes

agar (Merck) incubándose a 37°C durante 24 h mientras que para *Pseudomonas* se utilizó cetridimide agar (Merck) manteniéndose a 30°C durante 48 h. Cada dilución fue hecha sobre placas por duplicado, de acuerdo con Pascual y Calderón (2000).

Los recuentos totales se expresaron en unidades logarítmicas de unidades formadoras de colonias por g (UFC·g<sup>-1</sup>). En adelante, todos los datos de recuentos microbianos se expresarán como un dato de UFC/g que corresponderá a las unidades logarítmicas del dato. La calidad microbiológica fue evaluada considerando los límites máximos exigidos para la industria de procesado en fresco de España (RD 3484/2000, 2001) que establece como límites máximos 7 log ufc·g<sup>-1</sup> para bacterias aerobias, 5 ufc·g<sup>-1</sup> para levaduras y 3 ufc·g<sup>-1</sup> para mohos.

## **2.12. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.**

En general, se utilizó un diseño completamente aleatorizado analizándose los resultados mediante un análisis de la varianza (ANDEVA) factorial, y a un nivel de confianza del 95%. Se emplearon 5 repeticiones por tratamiento. Los factores considerados variaron según la experiencia. En el capítulo correspondiente a cada ensayo se mencionan los factores estudiados. Cuando los tratamientos presentaron diferencias significativas, éstas fueron comparadas mediante la prueba de rango múltiple de las mínimas diferencias significativas (LSD).

El programa estadístico utilizado para realizar el ANDEVA simple fue el Statgraphic Plus versión 2.1 y para el ANDEVA múltiple y el análisis de las interacciones entre los diversos factores el Sigma Stat versión 2.0 (Corporación Jandel).

## **3. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.**

A continuación se presentan las diferentes experiencias escritas esencialmente como artículos de investigación para facilitar su lectura y publicación. Se ha seguido el esquema tradicional, con introducción, objetivos, materiales y métodos, resultados, discusión y conclusiones. Según el caso, los materiales y métodos correspondientes a cada ensayo fueron los generales anteriormente señalados en la Sección 2, describiéndose sólo aquellos aspectos no citados en esta Sección.

Los trabajos están ordenados según un criterio tecnológico, de forma que los aspectos más generales o necesarios para definir la base de las siguientes experiencias se tratan inicialmente, para ir profundizando progresivamente en esta Tesis.

#### **IV. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

**MELÓN**

## Capítulo 1. INFLUENCIA DEL TIPO DE CORTE Y TEMPERATURA SOBRE EL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO Y LA CALIDAD DE DIFERENTES TIPOS VARIETALES DE MELÓN PROCESADO EN FRESCO

### 1.1. INTRODUCCIÓN.

En Europa, el melón presentado como fruta procesada en fresco es un producto poco común. Sin embargo, en EEUU se sitúa en el sexto producto más demandado (IFPA, 2002). En España, los tipos varietales más comunes son Galia, Cantaloupe europeo pertenecientes a la variedad botánica *cantalupensis* y Amarillo y Piel de Sapo dentro de *saccharinus* (Odet, 1985).

Normalmente, el estudio del procesado en fresco de estos tipos varietales suele ser en cilindros (Luna-Guzmán y Barret, 2000; Luna-Guzmán *et al.*, 1999; Madrid, 1996; Madrid y Cantwell, 1996; Portela y Cantwell, 1998; Portela y Cantwell, 2001), en cubos (Ayhan *et al.*, 1998; Bai *et al.*, 2001; O'Connor-Shaw *et al.*, 1996; Qi *et al.*, 1999; Sapers *et al.*, 2001; Watada *et al.*, 1996) y raramente en rodajas de 2 cm<sup>3</sup> (Lamikanra y Richard, 2002; Lamikanra y Watson, 2000; 2001; Lamikanra *et al.*, 2000).

La fisiología de un producto mínimamente procesado en fresco es esencialmente la del tejido dañado en las operaciones de pelado, cortado, troceado, rallado, loncheado o triturado (Brecht, 1995; Chu y Wang, 2001; Salveit, 1997). Muchos factores determinan la intensidad de la herida por el corte, como especie, tipo varietal, cultivar, estado de madurez, temperatura, concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, presión de vapor de agua, presencia de inhibidores y severidad de la herida (Cantwell, 1992; Brecht, 1995). Normalmente, la tasa respiratoria de un producto procesado en fresco es mayor que la del producto intacto del cual procede (Rosen y Kader 1989; Watada *et al.*, 1990) y Madrid y Cantwell (1993) encontraron en melón Cantaloupe una tasa respiratoria en cilindros doble que en el melón entero a 20°C. Sin embargo, a temperaturas inferiores a 10°C, la respiración del melón procesado fue similar a la del intacto. Watada *et al.* (1996) encontraron a 0°C y 5°C una mayor tasa respiratoria en Muskmelon y Crenshaw intactos que en el producto procesado, aunque en cubos de Honeydew la tasa del melón entero fue menor cuando se conservaba a 0°C.

Son muy pocos los estudios realizados respecto sobre el comportamiento metabólico bajo refrigeración en melón procesado en fresco salvo para los tipos varietales Cantaloupe americano y Honeydew. Exceptuando los típicos procesados en cilindros o cubos, existe escasa información acerca del tipo de corte y su influencia en la calidad final. Además, en melón para ensaladas de fruta es necesario buscar variedades con buena vida comercial una vez

manipulados. Se pretende lograr una supervivencia de 10 a 14 días, reduciendo la emisión de etileno causado por el corte y reducir así la senescencia y alteraciones fúngicas que afecta negativamente la apariencia, manteniendo una buena firmeza de la pulpa y evitando las pérdidas de zumo en la tarrina (Torres y Miquel, 2003).

Por todo ello, el objetivo del presente trabajo fue estudiar comparativamente para los tipos varietales más producidos en España (Galia, Cantaloupe, Amarillo y Piel de Sapo) el tipo de procesado idóneo (tajadas, secciones trapezoidales y cilindros) y la mejor temperatura de conservación (0 ó 5°C).

## 1.2. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 1.2.1. Material vegetal.

El material vegetal estuvo compuesto por melones procedentes de los tipos Galia (“Gredos”), Cantaloupe (“Dalton”), Amarillo (“Solaris”) y Piel de Sapo (“Sancho”) cultivados en el Campo de Cartagena (Murcia). Los frutos se seleccionaron en función de su tamaño y coloración externa, descartándose aquellos que presentaron lesiones por golpes y/o rozaduras o alteraciones. Posteriormente, se tomó al azar una muestra de 20 melones a los que se determinó el peso y los diámetros ecuatorial y polar (Tabla 1.1.).

**Tabla 1.1.** Caracterización inicial (pesos y calibres) de los melones Galia, Cantaloupe, Amarillo y Piel de Sapo.

	<b>Peso (g)</b>	<b>Diámetro ecuatorial (cm)</b>	<b>Diámetro polar (cm)</b>
<b>Galia</b>	1394,2 ± 77,6 <sup>z</sup>	13,4 ± 0,1	14,8 ± 0,5
<b>Cantaloupe</b>	1729,8 ± 10,1	14,2 ± 0,2	15,6 ± 0,3
<b>Amarillo</b>	2150,9 ± 47,8	15,5 ± 0,3	20,8 ± 0,4
<b>Piel de Sapo</b>	2617,4 ± 68,0	16,1 ± 0,1	22,2 ± 0,5

<sup>z</sup>Media (n = 20) ± error estándar.

### 1.2.2. Preparación de la muestra.

El procesado del melón se realizó en una cámara frigorífica higienizada a 10°C. Se formaron lotes al azar de 20 melones enteros que se sumergieron durante 1 minuto en agua a 5°C con 100 mg·L<sup>-1</sup> de NaClO (pH = 7,5). Posteriormente, se secaron con papel absorbente y se colocaron en cajas limpias. El cortado del melón se realizó con cuchillos desinfectados con NaClO en las condiciones citadas. Se procedió al procesado según distintos formatos. Para obtener secciones cilíndricas se seccionaron los melones en rodajas, de 3 a 3,5 cm,

perpendiculares al diámetro polar. Sobre estas rodajas, con un sacabocados de 1,5 cm de diámetro se extrajeron cilindros de la pulpa, evitando las zonas próximas a la corteza y a la placenta por ser son tejidos menos homogéneos.

Las tajadas se obtuvieron de melones cortados longitudinalmente en ocho partes iguales eliminándose las semillas y la corteza. Las secciones trapezoidales se obtuvieron al dividir las tajadas transversalmente en cuatro partes. En todos los procesados se descartaron las zonas próximas al pedúnculo y al ombligo del melón. Las dimensiones obtenidas en los distintos tipos de corte se exponen en la Tabla 1.2 (Fotog. 1.1 y 1.2). Las piezas de melón procesado se sumergieron durante 1 min en una nueva agua clorada en las condiciones citadas anteriormente. Una vez escurridas, los trozos se pesaron (350-400 g) y se colocaron en frascos de vidrio (0,75 L). Los melones enteros se colocaron en frascos de 2,6 L. Todos los recipientes se trasladaron a las correspondientes cámaras frigoríficas a 0 ó 5°C donde se les hizo pasar un flujo de aire húmedo (0,1 a 0,3 L·h<sup>-1</sup>) a través de un sistema mezclador de gases (Flowboard, Davis, CA, USA). Se dispusieron cinco repeticiones por tipo varietal, corte y temperatura.

**Tabla 1.2.** Dimensiones de los formatos procesados de Galia, Cantaloupe, Amarillo y Piel de Sapo.

Tipo varietal	Rodaja (cm)			Cilindro (cm)	
	Largo	Ancho	Alto	Ø	Alto
Galia, Cantaloupe	13,0 ± 0,3 <sup>z</sup>	3,0 ± 0,1	2,5 ± 0,2	1,5	3,1 ± 0,2
Amarillo, Piel de Sapo	16,8 ± 0,3	3,3 ± 0,2	2,8 ± 0,3	1,5	3,9 ± 0,1

<sup>z</sup>Media (n = 20) ± error estándar.

### 1.2.3. Determinaciones.

Para evaluar el comportamiento metabólico de los distintos tipos varietales se realizaron las siguientes determinaciones, detalladas todas en ellas en el apartado general de Materiales y Métodos (Sección 2).

Regularmente, a través de un sistema continuo se determinó la tasa respiratoria y la emisión de etileno. Al inicio y final del ensayo se determinaron:

- Firmeza
- Color
- Análisis sensorial
- Pérdidas de peso

En el zumo obtenido a partir del melón procesado, además, se evaluaron:

- Color
- SST, pH y AT
- Azúcares

Además, se evaluó el rendimiento para cada tipo de corte. Los resultados expresan la media de 5 repeticiones salvo para firmeza, color y rendimiento del tipo de corte. En firmeza y color se analizaron 5 piezas por repetición mientras que en la determinación de la eficiencia del corte se utilizaron 20 melones por cada tipo de procesado.

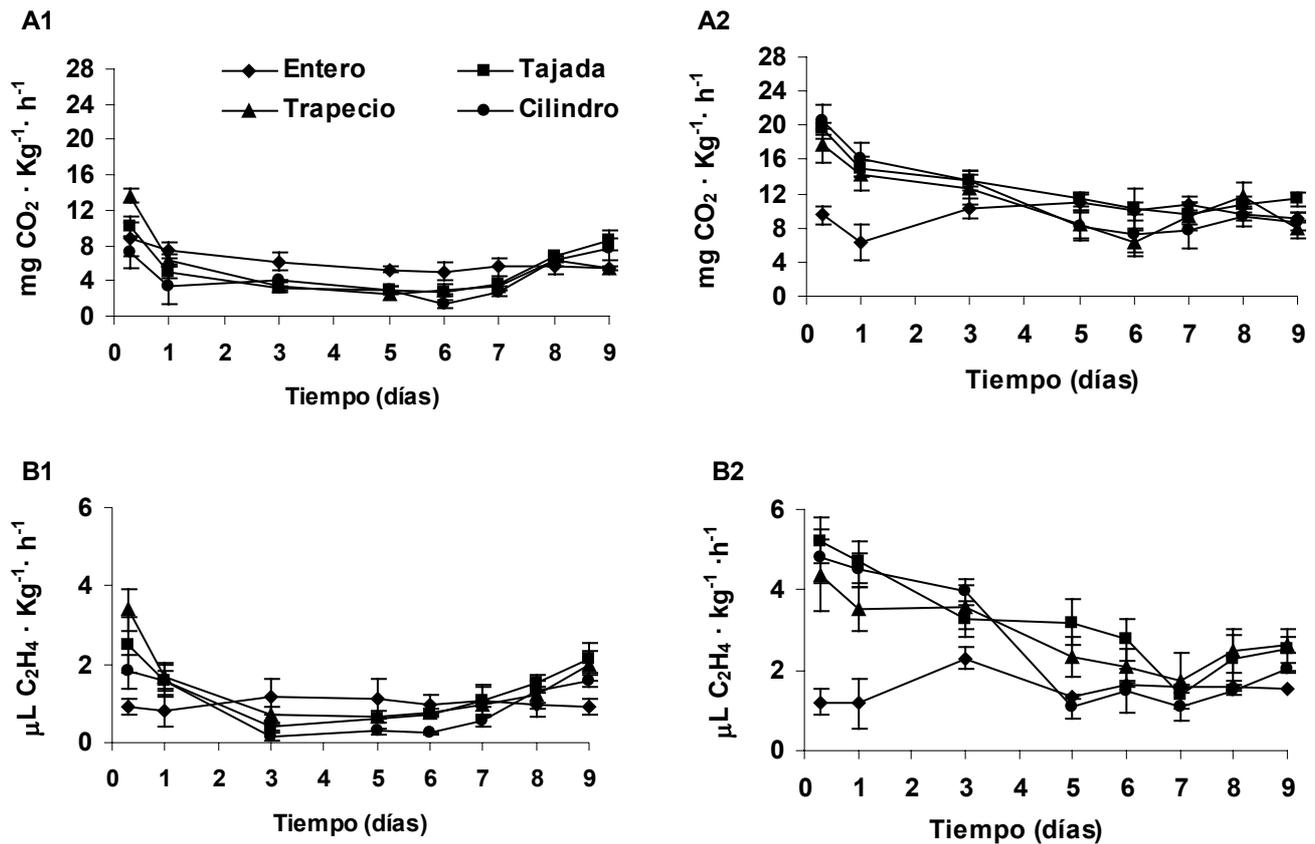
La interpretación de los resultados se realizó mediante un análisis de la varianza bifactorial (temperatura x tipo de corte). Cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó una prueba de comparación de medias por mínimas diferencias significativas (LSD).

### **1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

#### **1.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno.**

En las tajadas, secciones trapezoidales y en los cilindros se observó un aumento instantáneo de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en comparación con el melón entero, como respuesta a la herida o “estrés del corte” (Abeles *et al.*, 1992; Agar *et al.*, 1999; Artés *et al.*, 1999; Durigan y Sargent, 1999; Luna-Guzmán *et al.*, 1999; Madrid y Cantwell, 1993; Paull y Chen, 1997; Portela y Cantwell, 2001;). Esta respuesta se observó en todos los tipos varietales y en ambas temperaturas aunque de forma más intensa y duradera a 5 que a 0°C (Figuras 1.1 a 1.4).

En general, al comparar a 5°C los distintos tipos de corte, los cilindros fueron los que sufrieron un mayor estrés alcanzando valores ligeramente más altos de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. Sin embargo, a 0°C las diferencias entre los tipos de corte fueron muy pequeñas mostrando una baja emisión de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ya que temperaturas de 0-2,5°C inhiben la producción de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (Madrid y Cantwell, 1993). Aquino-Bolaños *et al.* (2000) estudiaron el metabolismo de cilindros, bastones y discos de jícama a 0, 5 y 10°C. Estos autores observaron que el tipo y tamaño de la pieza no afectó de forma importante la respiración mientras que la temperatura empleada causó claras diferencias.



**Figura 1.1.** Tasa respiratoria (A) y emisión de etileno (B) de melón Galia entero y procesado en fresco a 0°C (1) y 5°C (2) en aire durante 9 días. Medias (n = 5) ± desviación estándar.

En determinadas frutas y hortalizas, la emisión de etileno aumenta en proporción a la extensión de daño (Brecht, 1995; Floros, 1993) y división del producto entero (Hoffman y Yang, 1982). Meigh *et al.* (1960) observaron en tomates maduros y McGlasson (1969) en bananas verdes que el daño depende del tamaño de la pieza, aumentando la intensidad al reducir el tamaño del procesado incrementando la emisión de etileno. La producción de etileno es proporcional a la superficie dañada y, por tanto, a la intensidad del estrés (Watada *et al.*, 1990). Chu y Wang (2001) en calabacín y nabo a 2°C, correlacionaron de forma positiva el grado de procesado de un producto, a mayor grado de corte (cubos y bastones), mayor superficie y, por tanto, incremento en la tasa respiratoria en comparación con rodajas y segmentos. Salveit (1997) propuso que la respuesta de la herida generalmente aumenta con el incremento del daño y que después de alcanzar cierta severidad, un daño adicional no incrementaría la respuesta metabólica, sugiriendo un solape en el área dañada.

Paull y Chen (1997) observaron una diferencia de 5 veces en la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> durante el estrés del corte respecto al entero, cuando la papaya era cortada, si además se eliminaban las semillas, la diferencia era hasta de 9 veces con respecto al entero, debido al mayor daños en el

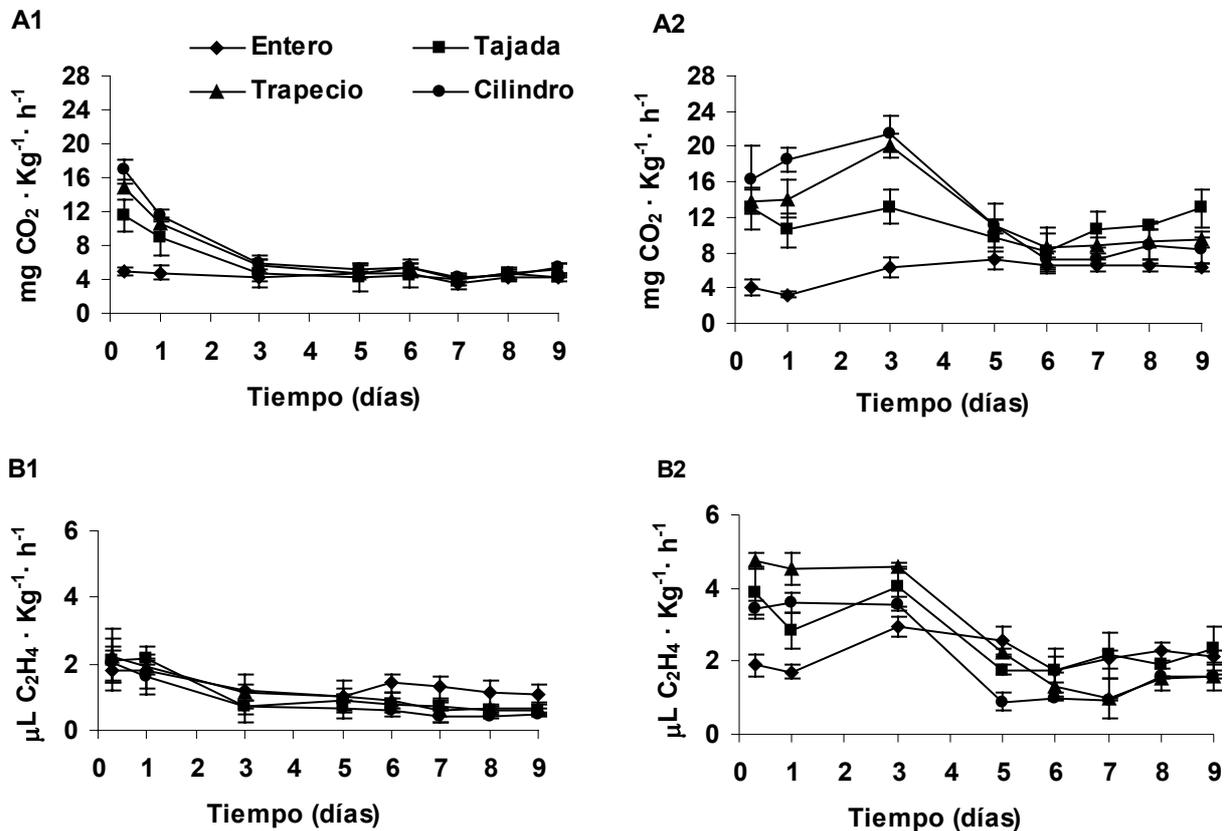
tejido. Quizás, estas diferencias tan marcadas durante el estrés del corte y el entero radican en que este metabolismo fue estudiado a 22°C. No obstante, el aumento en la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en fruto procesado comparado con el entero como respuesta a la herida del corte ha sido también observable por McGlasson y Pratt (1964), Laties (1978) y Rosen y Kader (1989).

Así mismo, López-Gálvez *et al.* (1996) detectaron un incremento en la enzima fenil alanina amonía liasa (PAL) tanto en presencia como en ausencia de etileno al reducir el tamaño de la lechuga. No obstante, Madrid y Cantwell (1993) no encontraron diferencias en cuanto a la emisión de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> entre cilindros (1,8 Ø x 3,5 cm) y melón intacto de Honeydew conservados a 0 y 2,5°C. Es más, Watada *et al.* (1996) observaron tasas respiratorias más bajas en cubos de Muskmelon y Crenshaw conservados a 0 y 5°C que en los melones enteros. Sin embargo, en Honeydew los cilindros conservados a 0°C y 10°C obtuvieron una mayor emisión de CO<sub>2</sub> que los enteros, aunque a 5°C ocurrió el efecto contrario. No obstante, a 20°C todos los investigadores encontraron mayor emisión respiratoria en el procesado que el producto entero.

Bolin *et al.* (1977) y Barry-Ryan y O'Beirne (1998), demostraron que la cantidad de daño también depende del afilado de las cuchillas empleadas en el corte e incluso de la dirección del corte (Abe *et al.* 1992, Zhou *et al.* 1992). No obstante, Portela y Cantwell (2001) encontraron una tasa respiratoria y emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> similar en cilindros de melón Cantaloupe cuando se cortaban con cuchillas afiladas versus desafiladas a 5°C. Sin embargo, a partir del quinto día y a 10°C la tasa respiratoria y emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> fue mayor cuando se emplearon cuchillas desafiladas debido a una alteración patológica. Probablemente, en nuestro caso, el empleo de un sacabocados frente al cuchillo, ambos afilados, provocó un mayor estrés, ya que, el uso de un sacabocados requiere ejercer una mayor presión en el producto para introducir y extraer la pulpa en el sacabocados.

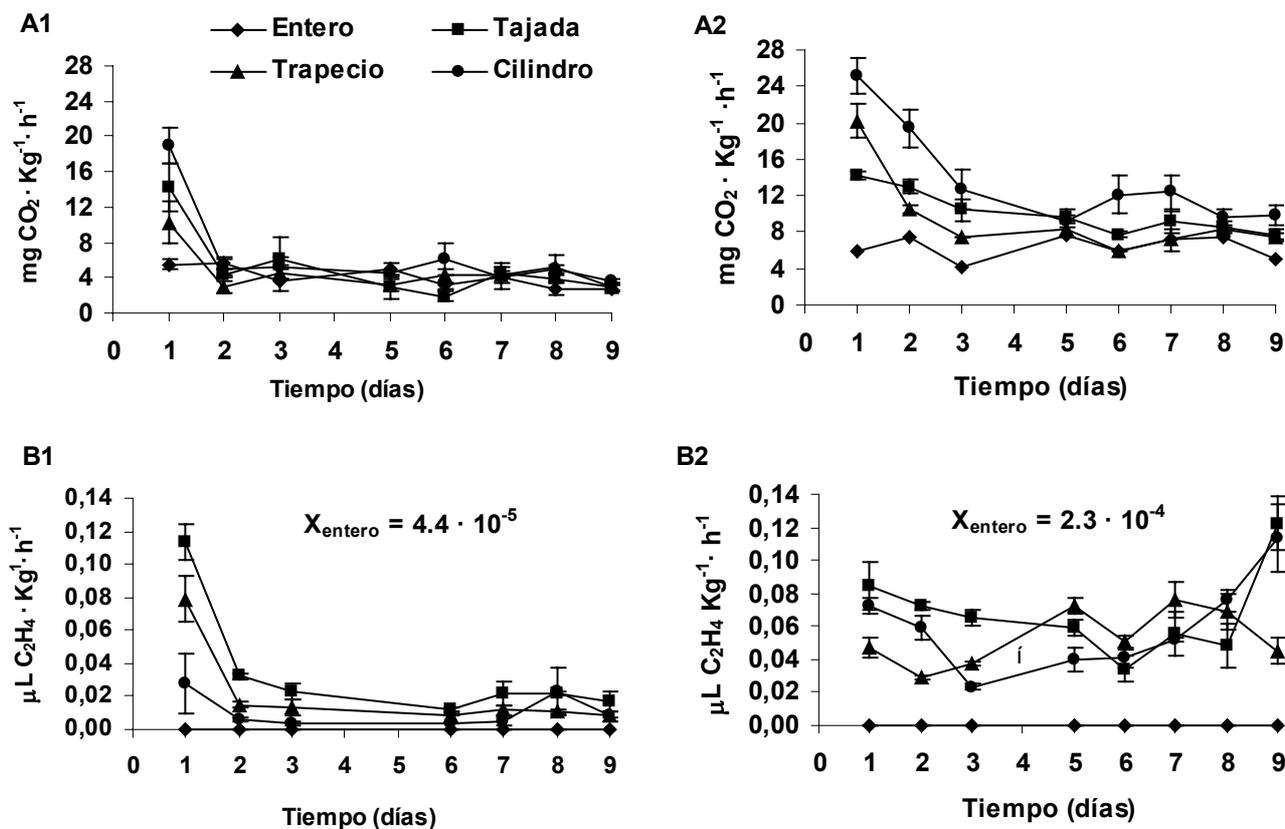
Las bajas temperaturas (0 frente a 5°C) redujeron de forma significativa la duración del estrés del corte, prolongándose hasta el día 3-4 en los conservados a 5°C mientras que sólo duró 1 día a 0°C. A partir de aquí, en general, en todos los tipos varietales y para cada temperatura, las emisiones de CO<sub>2</sub> se redujeron gradualmente hasta estabilizarse, observándose un comportamiento similar entre los distintos tipos de procesados y melón intacto, excepto en el Galia. Como observaron Luna-Guzmán *et al.* (1999) y Madrid y Cantwell (1993), las bajas temperaturas minimizaron las diferencias entre melón procesado y entero, así como redujeron el estrés del corte. Sin embargo, los melones enteros del mencionado tipo varietal conservados a 0°C alcanzaron una mayor emisión de CO<sub>2</sub> (Figura 1.1-A1) debido probablemente, al daño por frío sufrido a esa temperatura (Eaks, 1960; Eaks y Morris, 1956; Kang y Lee, 1997; Saltveit, 1999) que se tradujo en picado y manchas de color pardo en la epidermis. Lyons (1973) sugirió

que este aumento en la tasa respiratoria refleja un fenómeno dañino que trastorna el metabolismo. Lipton (1978) observó alteraciones del color en la superficie de Honeydew conservados a 0°C durante 18 días. En nuestro caso, no se detectaron daños por frío en los tipos varietales restantes, probablemente a consecuencia de la corta conservación.



**Figura 1.2.** Tasa respiratoria (A) y emisión de etileno (B) de melón Cantaloupe entero y procesado en fresco a 0°C (1) y 5°C (2) en aire durante 9 días. Medias ( $n = 5$ )  $\pm$  desviación estándar.

En los últimos días a 5°C, se observó un ligero incremento en la emisión de  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  en los melones procesados, probablemente debido al crecimiento microbiano y un deterioro general del tejido provocado por el inicio de la senescencia, como encontraron Luna-Guzman y Barret (2000), Bai *et al.* (2001), Madrid y Cantwell (1993) y Durigan y Sargent (1999) en cubos o cilindros de Cantaloupe a 5°C entre el sexto, séptimo, octavo ó noveno día respectivamente. Según Cacace *et al.* (2002) y Marrero y Kader (2001), el final de la vida útil de un producto procesado está marcado por un agudo incremento en la respiración seguido de un aumento en la producción de  $\text{C}_2\text{H}_4$  ocasionado por el crecimiento microbiano

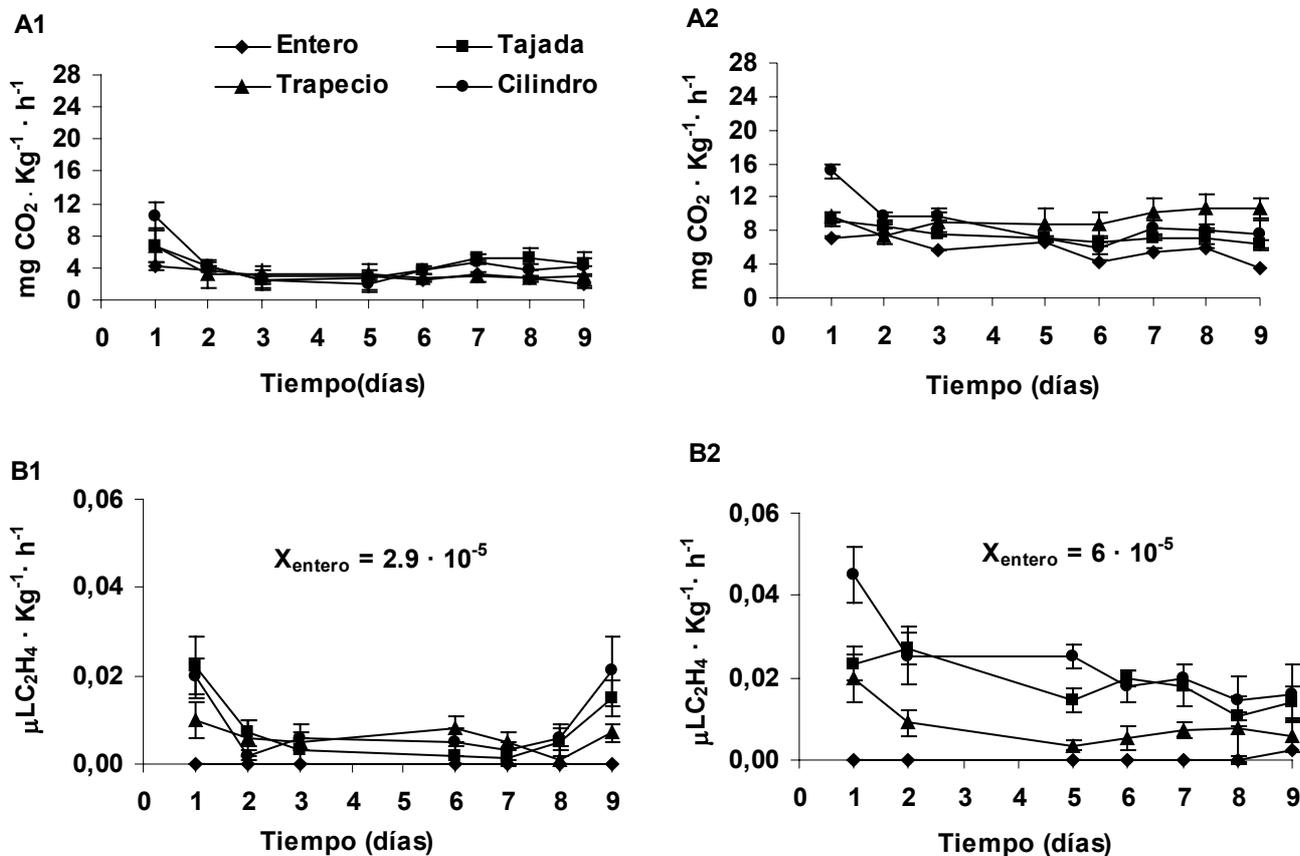


**Figura 1.3.** Tasa respiratoria (A) y emisión de etileno (B) de melón Amarillo entero y procesado en fresco a 0°C (1) y 5°C (2) en aire durante 9 días. Medias ( $n = 5$ )  $\pm$  desviación estándar.

Las diferencias observadas entre las temperaturas de conservación fueron significativas en la emisión de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, entre 1,5 a 2 veces más, a 5°C que a 0°C, siendo mayores en el procesado que en el fruto entero (Figuras 1.1 a 1.4) como les sucedió a Madrid (1993), Madrid y Cantwell (1993), Watada *et al.* (1996), Luna-Guzmán *et al.* (1999), Qi *et al.* (1999) y Portela y Cantwell (2001). También, Cacace *et al.* (2002) observaron una tasa respiratoria algo más del doble en tiras de patata, y más de tres veces cuando la diferencia de temperatura fue de 2 a 10°C (Gunes y Lee, 1997). Una respuesta similar observó Paull y Chen (1997) en papaya. Este comportamiento indica que para un producto procesado en fresco, la temperatura es el principal parámetro que prolonga la vida útil y mantiene una adecuada calidad (Artés, 2000a; Cantwell y Suslow, 2002; Jacxsens *et al.*, 2002a; Kader *et al.*, 1989).

Superado el estrés del corte, la tasa respiratoria media de todos los tipos varietales procesados osciló entre 3-6 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 0°C y entre 7-11 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 5°C, registrándose los valores más bajos en Piel de Sapo. Respecto a la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, los niveles

en Galia y Cantaloupe fueron mucho mayores que los de Amarillo y Piel de Sapo (Figuras 1.1 y 1.2 versus Figuras 1.3 y 1.4).



**Figura 1.4.** Tasa respiratoria (A) y emisión de etileno (B) de melón Piel de Sapo entero y procesado en fresco a 0°C (1) y 5°C (2) en aire durante 9 días. Medias ( $n = 5$ )  $\pm$  desviación estándar.

En melón intacto, Kader (2001) en función de la producción de  $\text{C}_2\text{H}_4$  a 20°C clasificó al Honeydew con un comportamiento moderado mientras que al Cantaloupe como alto emisor de  $\text{C}_2\text{H}_4$ .

En función de su tasa respiratoria a 5°C, el Honeydew tiene una baja emisión de  $\text{CO}_2$  frente a la moderada del Cantaloupe. Watada *et al.* (1996) estudiaron la tasa respiratoria, a 0 y 5°C, en melón procesado en cubos y entero procedente de distintos tipos de melón. Estos resultados juntos con los encontrados por Madrid y Cantwell (1993), Luna-Guzmán *et al.* (1999) y Portela y Cantwell (2001) en melón procesado e intacto se exponen en la Tabla 1.3. Los resultados aquí expuestos corresponden a valores medios una vez estabilizada la tasa respiratoria del producto.

**Tabla 1.3.** Tasa respiratoria y emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> de distintos tipos de melón procesados e intactos conservados a 0, 5 y 20° C según diferentes autores, incluyendo este estudio.

<b>MELÓN PROCESADO</b>									
	T <sup>a</sup> (°C)	<i>Var. reticulatus</i>		<i>Var. inodorus</i>		<i>Var. cantaloupensis</i>		<i>Var. saccharinus</i>	
		Cantaloupe americano	Muskmelon	Honeydew	Crenshaw	Galia	Cantaloupe europeo	Amarillo	Piel de Sapo
TR (mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	0°	4 <sup>x</sup>	3,7	2,3 <sup>w</sup>	1,2 <sup>w</sup>	3-4	4,5-5,5	4-6	3-4
	5°	7-8,5 <sup>x, v, u</sup>	7	3 <sup>w</sup>	3,2 <sup>w</sup>	7-10	7-11	7-9	7-8
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (μL kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	0°	0,2-0,4 <sup>x</sup>				0,3-1,5	0,5-1	0,004-0,02	0,002-0,008
	5°	1-2,5 <sup>x, u</sup>		0,2-1,5 <sup>y</sup>		1-3	1-2,5	0,03-0,07	0,007-0,02
		7-10 <sup>s</sup>		14-25 <sup>s</sup>					
<b>MELÓN ENTERO</b>									
TR (mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	0°		4,8 <sup>w</sup>	1,4 <sup>w</sup>	2,1 <sup>w</sup>	5-6	1-2,5	3-5	2,5-3,5
	5°	10-20 <sup>t</sup>	8,6 <sup>w</sup>	4,6 <sup>w</sup>	4 <sup>w</sup>	9-10	4-4,5	5-7	6,5-4,5
	20°	8-16 <sup>s</sup>		5-10 <sup>t, s</sup>					
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (μL kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	0°					1,0-1,2	1,5-1	4,4·10 <sup>-5</sup>	2,9·10 <sup>-5</sup>
	5°			7-10 <sup>s</sup>		1,5-2	1,8-2,6	2,3·10 <sup>-4</sup>	6·10 <sup>-5</sup>
	20°	10-100 <sup>t</sup>		1-10 <sup>t</sup>					
		40-80 <sup>s</sup>							

<sup>z</sup>Artés et al. (1993). <sup>x</sup>Madrid y Cantwell (1993). <sup>w</sup>Watada *et al.* (1996). <sup>v</sup>Luna-Guzmán y Barret (2000). <sup>u</sup>Portela y Cantwell (2001). <sup>t</sup>Kader (2001). <sup>s</sup>UC.Davis (2003). Datos sin llamada corresponden a medias (n = 5) obtenidas en este estudio.





En la Tabla 1.3, se observa que el incremento en la respiración depende también de la variedad botánica y tipo varietal (Gorny *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 1993; Madrid y Cantwell, 1993; Song *et al.*, 1992). Kim *et al.* (1993a) y (1993b) observaron una gran variabilidad entre 12 cultivares de manzana almacenados a 2°C y cortados en rodajas. También, Gorny *et al.* (2000) observaron una elevada tasa respiratoria y emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en rodajas de pera Bartlett frente a Anjou, Bosc y Red Anjou. En este trabajo se observó una semejanza entre tipos que pertenecen a una misma variedad botánica. Además, Cantaloupe americano y Muskmelon (var. *reticulatus*) tienen un metabolismo similar al Cantaloupe europeo y Galia (var. *cantalupensis*). Ambas variedades botánicas poseen un metabolismo más intenso pudiéndose clasificar como moderado, según la clasificación de Kader (2002). Tras ellos, Amarillo y Piel de Sapo (var. *saccharinus*) y por último, los tipos varietales Honeydew y Crenshaw (var. *inodorus*) que poseen un metabolismo más suave.

Es de esperar una vida útil ligeramente mayor en aquellos tipos varietales pertenecientes a las variedades botánicas *saccharinus* e *inodorus* tanto en el melón entero como en el procesado. Estos resultados concuerdan con los de Artés *et al.* (1993) quienes obtuvieron a 20°C una mayor tasa respiratoria en Galia que en Piel de Sapo y Amarillo enteros.

Amarillo y Piel de Sapo, tanto procesados como enteros, emitieron unos niveles muy bajos de etileno en relación a los demás. Probablemente, podría deberse al estado en que se encuentra dentro del climaterio. Aunque no se sabe si la respiración climatérica es un artefacto de la recolección (Shellie y Saltveit, 1992). Además, la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> depende de la fecha de recolección, un Honeydew recolectado entre 35 y 40 dda incrementa la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> conforme madura pero no si se recolecta antes de 35 dda (Lipton y Mackey, 1984).

El efecto del corte en el aumento de la tasa respiratoria y emisión de etileno es diferente según se trate de un fruto no climatérico o climatérico, y según del estado en que se encuentre dentro del climaterio (Rosen y Kader, 1989). Sin embargo, la herida induce una síntesis de etileno, particularmente en frutos climatéricos y en un estado pre-climatérico, pero no en el estado post-climatérico (Watada, 1990). Paull y Chen (1997) obtuvieron en papaya inmadura procesada una mayor emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> provocado por el corte frente a otro estado más maduro. Madrid (1993) obtuvo una mayor tasa respiratoria en cilindros Cantaloupe conservados a 15°C procedentes de un estado ligeramente menos avanzado de maduración, pero estas diferencias no fueron significativas cuando se conserva a 5°C.

### 1.3.2. Eficiencia de los distintos tipos de procesado.

La elección del corte afectará al rendimiento del producto e influye en la mayor o menor atención del consumidor hacia el producto. Cada tipo de procesado tiene un rendimiento característico (Tabla 1.4.). Independientemente del tipo de corte, en todos se descartó la cavidad placentaria (3,4%) y la piel (43,7%), obteniendo siempre como mínimo unas pérdidas del 47%. En el pelado, se ha estimado un espesor mínimo de corteza de  $12,7 \pm 0,7$  mm, espesores menores darían un sabor herbáceo mientras que mayores disminuirían el rendimiento del melón.

En función del aprovechamiento total o parcial de la pulpa se obtienen rendimientos más o menos elevados. Así, las tajadas poseen los mayores rendimientos ya que el aprovechamiento de la pulpa es del 100%, proporcionando a su vez piezas muy homogéneas. En las secciones trapezoidales los extremos apicales de las tajadas se descartaron antes de dividir éstas en secciones, con esto se consigue trapecios similares y el rendimiento de la pulpa disminuye ligeramente (3,4%). Sin embargo, un procesado en cilindros limita la utilización de la pulpa ya que para obtener piezas homogéneas hay que descartar las zonas inmediatas a la placenta, epidermis o aquellas próximas a la extracción de un cilindro puesto que no permiten la obtención de cilindros compactos y homogéneos.

**Tabla 1.4.** Rendimiento del procesado (%) según el tipo de corte realizado.

Tipo de corte	Rendimiento	% Descartado		
		Placenta	Piel	Pulpa
<b>Tajada</b>	$52,9 \pm 0,3^z$	$3,4 \pm 0,1$	$43,5 \pm 0,2$	--
<b>Secciones trapezoidales</b>	$49,6 \pm 0,5$	$3,4 \pm 0,1$	$43,7 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,1$
<b>Cilindros</b>	$35,1 \pm 1,4$	$3,4 \pm 0,1$	$43,7 \pm 0,2$	$17,8 \pm 0,7$

<sup>z</sup> Medias (n = 20)  $\pm$  error estándar.

Wiley (1997) calculó un rendimiento de la porción comestible del 52% para melón Cantaloupe ligeramente inferior al de la piña (54%) o al de la sandía (57%). Esta última especie tiene la ventaja de tener las semillas repartidas en la pulpa, luego no hay que eliminar la cavidad placentaria y los rendimientos son mayores que en el melón, pero con el inconveniente lógico de incorporarlos en el producto.

No obstante, los valores aquí presentados se han calculado realizando un procesado a mano, la elaboración de estos productos a escala industrial suele realizarse con maquinaria especializada la cual tendrá una eficiencia característica. Aunque no se evaluó el rendimiento en función del tipo varietal, es de esperar que aquellos melones de mayores calibres como Amarillo

y Piel de Sapo tendrán mejores rendimientos que un Galia o Cantaloupe de calibres, normalmente inferiores.

### 1.3.3. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos.

Para no complicar el diseño estadístico de este ensayo, se ha optado por no considerar el factor tiempo. Para la interpretación de los resultados se realizó un ANDEVA bifactorial (temperatura x tipo de corte) como hemos descrito en la Sección 1.2.3. de este capítulo.

#### 1.3.3.1. Firmeza.

##### ◆ Melón intacto.

En las Tablas 1.5 y 1.6 se observa que Galia y Cantaloupe poseen una menor firmeza que Amarillo y Piel de Sapo, siendo este último uno de los que menor ablandamiento sufren. En el polo opuesto, el Cantaloupe redujo su firmeza notoriamente.

**Tabla 1.5.** Evolución de la firmeza (N) en distintos tipos varietales de melones intactos.

		<b>Galia</b>	<b>Cantaloupe</b>	<b>Amarillo</b>	<b>Piel de Sapo</b>
<b>Inicial</b>		66,46 ± 1,99 <sup>z</sup>	75,27 ± 0,52	110,78 ± 1,81	94,60 ± 2,80
<b>Tras 10 días</b>	<b>0°C</b>	63,43 ± 1,80	61,83 ± 2,74	104,10 ± 1,76	93,37 ± 1,86
	<b>5°C</b>	57,75 ± 3,60	54,9 ± 1,69	95,27 ± 0,73	91,15 ± 1,82

<sup>z</sup> Medias (n = 15) ± error estándar.

Probablemente, este ablandamiento en el Cantaloupe europeo (densamente reticulado) y en el Galia (ligeramente reticulado) podría deberse a la desintegración de la red, tal y como le sucede al Muskmelon y al Cantaloupe americano (ambos *var. reticulatus*). Éstos, entre 10 y 20 después de la anthesis (dda) desarrollan un escriturado, es decir, lenticelas procedentes del tejido felodérmico que interrumpen la epidermis. En la recolección, la “red” permanece generalmente intacta, pero tras 10 días aparecen fisuras que entrecruzan la integridad de la red. Por otro lado, un Amarillo o Piel de Sapo al igual que un Honeydew, no posee escriturado y, por tanto, tampoco sufre esas fisuras en su epidermis. Es más, tras 50 dda sintetizan gran cantidad de ceras sobre la superficie manteniendo la integridad de la epidermis. Por todo lo expuesto, el intercambio gaseoso y las pérdidas de agua son mayores en un melón reticulado (Lester, 1988). En el Honeydew, y al parecer también en el Amarillo y en el Piel de Sapo, el coeficiente de difusión gaseosa disminuye durante la maduración, aumentando en Cantaloupe (Altman y Corey, 1987). Por ello, un Cantaloupe, y por semejanza todos aquellos melones reticulados, son

mucho más susceptibles a la pérdida de agua, ablandamiento y, posterior senescencia, con una vida útil más corta en comparación con un Honeydew o a un Amarillo o Piel de Sapo. Simandjuntak *et al.* (1996) también observaron un Honeydew más firme que un Cantaloupe, debido a un menor contenido en polisacáridos de la pared celular en este tipo varietal. No obstante, hay que destacar que el ablandamiento del melón Amarillo respecto al Piel de Sapo fue mucho mayor, probablemente debido a que éste posee una epidermis más gruesa que el primero. Se ha observado confirmando la hipótesis de Sams (1999) que hay una importante influencia genética en la firmeza, y cultivares de una misma especie varían de forma significativa sus atributos texturales. Además, dentro de cada cultivar existe gran diferencia según el estado de madurez y época de recolección.

Las bajas temperaturas (0 frente a 5°C) tuvieron un efecto positivo al detener o frenar el ablandamiento, quizás su efecto radica en la ralentización de la desintegración de la red y disminución del coeficiente de difusión gaseosa, frenando la pérdida de humedad (Tabla 1.6.)

**Tabla 1.6.** Ablandamiento (% con respecto a la firmeza inicial) en los distintos tipos varietales tras 10 días de conservación a 0 y 5°C.

Temperatura (°C)	Galia	Cantaloupe	Amarillo	Piel de Sapo
0°	4,6 <sup>z</sup>	17,9	6	1,3
5°	13,1	27,1	14	3,3

<sup>z</sup> Medias (n = 15) ± error estándar.

#### ◆ Melón procesado.

En el melón procesado las principales causas que deprecian la calidad son la contaminación microbiana y el ablandamiento (Madrid y Cantwell, 1993). Tras la conservación, la pérdida de firmeza observada globalmente en los distintos cortes y tipos varietales de melón procesado fue de  $13,9 \pm 1,9\%$  a 0°C y de  $25,4 \pm 2,2\%$  a 5°C (Tabla 1.7). Qi *et al.* (1999) advirtieron un brusco ablandamiento en cubos de Honeydew conservados en aire a 5°C durante los primeros seis días, incurriendo finalmente, en un ablandamiento del 29%. Bai *et al.* (2001) encontró en cubos de Cantaloupe una pérdida de firmeza del 34% en el noveno día de conservación a 5°C. Luna-Guzmán y Barrett (2000) midieron en cilindros del mismo cultivar, lavados sólo con agua, un ablandamiento del 25% tras 12 días conservados en aire y a 5°C mientras que para Portela y Cantwell (2001) esta pérdida de firmeza fue del 23% y en ella no influyó el afilado o desafilado del sacabocados empleado para su extracción. En general, el margen de ablandamiento medio proporcionados por los distintos investigadores y en distintos

tipos varietales (Cantaloupe y Honeydew) oscila entre el 23 y el 35% a 5°C. Los resultados encontrados en este ensayo para la mencionada temperatura se encuentran dentro del intervalo, aunque dependen del tipo varietal y corte (Tabla 1.7).

Portela y Cantwell (1998), así como Madrid (1993) encontraron una firmeza inicial mayor en cilindros de Honeydew (17,5 N) que en Cantaloupe (12,5 N), justificándolo con la mayor cantidad de polisacáridos en la pared celular del Honeydew que en Cantaloupe, como también observó Simandjuntak *et al.* (1996). Además, Madrid (1993) encontró diferencias significativas en función del estado de madurez de ambos cultivares. Cilindros de Honeydew procedentes de un estado menos maduro (clase 1) sufrieron un ablandamiento del 31,5% tras 8 días a 5°C. Sin embargo, con la madurez óptima de consumo (clase 2) la pérdida de firmeza alcanzó el 52%. Los cilindros de Cantaloupe de la clase 1 apenas sufrieron ablandamiento pero en la clase 2 se alcanzó el 42%.

En este ensayo, la media de los valores iniciales de los distintos tipos varietales fueron similares salvo para Galia que presentó valores iniciales más bajos. Las medias  $\pm$  error estándar fueron  $5,1 \pm 0,2$ ;  $6,8 \pm 0,4$ ;  $6,4 \pm 0,4$  y  $6,6 \pm 0,2$  N en Galia, Cantaloupe, Amarillo y Piel de Sapo, respectivamente. Sin embargo, tras la conservación la respuesta de cada tipo varietal fue diferente, el ablandamiento encontrado fue del  $24,5 \pm 5,9$ ,  $19,6 \pm 6,8$ ,  $19,3 \pm 4,3$  y  $15,2 \pm 5,8\%$  para Galia, Amarillo, Piel de Sapo y Cantaloupe, respectivamente (Tabla 1.7).

**Tabla 1.7.** Ablandamiento (% valor inicial) según tipo varietal, corte y temperatura en melones procesados en fresco conservados durante 10 días a 0 y 5°C.

	0°C			5°C			
	Tajada	Trapezio	Cilindro	Tajada	Trapezios	Cilindros	
<b>Galia</b>	$22,7 \pm 1,2^z$	$19,0 \pm 1,7$	$14,4 \pm 1,6$	$40,7 \pm 0,5$	$33,2 \pm 1,0$	$17,5 \pm 1,4$	<b><math>24,5 \pm 5,9^y</math></b>
<b>Cantaloupe</b>	$5,5 \pm 1,2$	$9,3 \pm 1,1$	$13,2 \pm 2,2$	$24,4 \pm 1,2$	$16,6 \pm 0,9$	$22,0 \pm 1,7$	<b><math>15,2 \pm 5,8</math></b>
<b>Amarillo</b>	$19,7 \pm 1,1$	$5,7 \pm 1,5$	$13,2 \pm 3,0$	$35,3 \pm 0,7$	$18,7 \pm 1,4$	$25,4 \pm 1,9$	<b><math>19,6 \pm 6,8</math></b>
<b>Piel de Sapo</b>	$15,6 \pm 1,0$	$22,1 \pm 1,7$	$7,5 \pm 1,8$	$22,9 \pm 0,7$	$30,7 \pm 1,1$	$17,2 \pm 1,2$	<b><math>19,3 \pm 4,3</math></b>
<b>0°C = <math>13,9 \pm 1,9^x</math></b>				<b>5°C = <math>25,4 \pm 2,0</math></b>			
<b>Tajada = <math>23,3 \pm 3,9^w</math></b>		<b>Trapezios = <math>19,4 \pm 3,3</math></b>		<b>Cilindros = <math>16,2 \pm 2,0</math></b>			

<sup>z</sup> Media para cada tipo varietal, corte y temperatura (n = 25)  $\pm$  error estándar. <sup>y</sup> Media para cada tipo varietal (n = 150)  $\pm$  error estándar. <sup>x</sup> Media para cada temperatura (n = 300)  $\pm$  error estándar. <sup>w</sup> Media para cada tipo de corte (n = 200)  $\pm$  error estándar.

De los resultados expuestos hasta ahora, con respecto a la firmeza es importante destacar que:

- Cantaloupe europeo (var. *cantalupensis*) se comportó, desde el punto de vista del ablandamiento de forma muy similar al Cantaloupe americano (var. *reticulatus*) siendo ambos idóneos al presentar un menor ablandamiento durante la conservación.
  
- El ablandamiento está influenciado por el tipo varietal aunque no siempre se correlaciona con la variedad botánica, por ejemplo, los Cantaloupe y Galia (var. *cantalupensis*) no respondieron con la misma intensidad a la pérdida de firmeza pero sí Amarillo y Piel de Sapo (var. *saccharinus*), que tuvieron valores similares (19%).
  
- Partiendo de melones con elevada firmeza inicial no siempre se obtiene un procesado firme y viceversa. Ej.: Amarillo y Cantaloupe.
  
- La elección de tipos varietales resistentes a la firmeza a lo largo de la conservación no aseguran el mismo comportamiento en procesado conservado. Ej.: Galia.

Todo ello, lleva a pensar que un producto procesado en fresco se comporta de forma diferente al producto entero del cual procede (Watada y Qi, 1999). Al eliminar la piel en el melón procesado se suprime uno de los elementos típicos de cada variedad y más importantes para afrontar el ablandamiento, se trata entonces de un producto nuevo con aptitudes distintas. El procesado de una fruta u hortaliza conlleva, generalmente, una pérdida de firmeza como observó Ponting *et al.* (1972) en manzana.

Como se observa en Tablas 1.8, 1.10, 1.12 y 1.14, la temperatura y tipo de corte, influyó en la firmeza de forma significativa y en todos los tipos varietales. Sin embargo, la interacción de ambos factores no fue significativa para ningún tipo varietal, lo cual indica que el efecto de la temperatura para evitar el ablandamiento es independiente del tipo de corte realizado y viceversa.

Como se ha comentado antes, el efecto de la temperatura, 0° frente a 5°C, redujo el ablandamiento a la mitad (Tabla 1.7). A 0°C y en todos los tipos varietales los valores obtenidos de firmeza fueron mayores que a 5°C. Artés *et al.* (1999) encontraron una significativa reducción en rodajas de “Durinta” al mantenerlas a 10°C frente a 2°C y Gorny *et al.* (1999) también observaron en melocotones y nectarinas procesadas, un ablandamiento mucho mayor a 10°C que a 0 ó 5°C.

Este comportamiento pudo deberse a la mayor emisión de etileno, (de 1,5 a 2 veces más a 5°C que a 0°C). Watada *et al.*, (1990) resaltaron el papel del etileno en la pérdida acelerada de la firmeza en rodajas de kiwi envasadas juntos a trozos de plátano. Estos autores sugirieron que el etileno de la herida podía incrementar la permeabilidad de las membranas y quizás reducir la biosíntesis de fosfolípidos, que a su vez pueden perturbar la integridad de la membrana y la estructura celular. Si bien, como señalaron Varoquaux *et al.* (1990), la pérdida de firmeza de las rodajas de kiwi comienza inmediatamente después del corte, y se mantienen en la misma intensidad hasta después de 6 ó 12 horas del corte. Por consiguiente, la degradación de la textura no está inicialmente provocada por la neosíntesis de las enzimas inducidas por el etileno sugiriendo una hidrólisis enzimáticas de los componentes de la pared celular. Estas células dañadas por el corte liberan enzimas proteolíticas y pectinolíticas que podrían difundirse hacia el interior de los tejidos.

Lester y Dunlap (1985) y McCollum *et al.*, (1988), Ranwala *et al.*, (1992) y Rose *et al.*, (1998) no detectaron actividad PG en melon y sugirieron que la madurez asociada a la degradación de pectina es independiente de la PG. Así mismo estos investigadores, señalan a la  $\beta$ -galactosidasa y además con la  $\beta$ -D-glucosidasa y L-arabinopiranosidasa (Fils-Lycaon y Buret, 1991) como responsable de la despolimerización de la pectina y ablandamiento del melón (Muskmelon). No obstante, existe la posibilidad de que la PG esté presente en melón pero no se ajusta al modelo típico en las propiedades enzimáticas en términos de abundancia y/o viabilidad (Nogata *et al.*, 1993; Wu *et al.*, 1993). Sin embargo, la despolimerización de la pectina durante los últimos estado de ablandamiento del fruto pueden ser en parte dependientes de PG (Hadfield *et al.* 1998) ya que se identificaron tres genes (MPG1, MPG2 y MPG3) que se expresan de manera abundante durante la maduración del melón y que las proteínas codificadas por estos genes son PGs. Además, no hay que olvidar a determinados géneros de microorganismos que sintetizan enzimas (celulasas y otras pectolíticas) causando la descomposición de los tejidos y por tanto el ablandamiento (Liao y Wells, 1987).

Lo que está claro es que ambos procesos tanto actividad enzimática como crecimiento microbiano ralentizan su actividad a 0°C reduciendo, por tanto, el ablandamiento.

Si relacionamos el ablandamiento con el tipo de corte, observamos que, en general, los cilindros fueron el formato que menos se ablandó (Tabla 1.7) presentando una firmeza mayor en comparación a trapecios y tajadas (Tablas 1.9, 1.11, 1.13 y 1.15). Sam (1999) encontró que las propiedades texturales estaban relacionadas con un gran número de parámetros, éstas incluyen, propiedades mecánicas (dureza, viscosidad), geométricas (tamaño y forma de la partícula), químicas (humedad, contenido graso).

El ablandamiento global agrupando ambas temperaturas y tipos varietales fue del 16,2% para los cilindros, seguidos de secciones trapezoidales (19,4%) y finalmente de las tajadas (23,3%). Probablemente, este ablandamiento fue consecuencia de una mayor superficie externa en las tajadas con respecto a los cilindros y secciones trapezoidales, exponiendo directamente los tejidos internos a la atmósfera y aumentando drásticamente la velocidad de evaporación del agua (García y Barrett, 2002) aunque no se relacionó con las mayores pérdidas de peso. Además, este tipo de corte con mayor superficie expuesta a la pérdida de zumo aportando nutrientes para el desarrollo de microorganismos. No obstante, es importante resaltar que en este ensayo no se realizaron conteos microbianos. Al igual que en la firmeza, los resultados encontrados para la textura estuvieron influenciados por la temperatura y tipo de corte mostrando una evolución similar al término de la conservación. Las respuestas encontradas con este panel sensorial fueron similares a las obtenidas de forma analítica con la prensa (Tablas 1.9, 1.11, 1.13 y 1.15) y por tanto, su justificación y estudio queda englobado en este apartado.

### 1.3.3.2. Evaluación sensorial.

En todos los tipos varietales estudiados, temperatura y tipo de corte influyeron en la apariencia y calidad global (Tablas 1.8, 1.10, 1.12 y 1.14).

**Tabla 1.8.** Influencia de la temperatura y tipo de corte en los parámetros sensoriales de melón Galia procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada.

Temperatura	Tipo de corte	Firmeza (N)	Apariencia (1 - 9)	Sabor (1 - 9)	Aroma (1 - 9)	Textura (1 - 9)	CG (1 - 9)
<b>Inicial</b>		5,05 <sup>z</sup>	8,3	7,7	7,7	7,7	8,0
<b>0°C</b>	<b>Tajada</b>	3,33	6,5	6,7	6,0	6,5	6,0
	<b>Trapecios</b>	4,47	8,0	7,5	6,7	7,0	7,5
	<b>Cilindros</b>	4,59	7,5	6,0	7,7	7,0	7,0
<b>5°C</b>	<b>Tajada</b>	2,54	7,0	6,0	5,7	5,3	5,5
	<b>Trapecios</b>	3,69	6,0	7,0	7,0	6,0	6,5
	<b>Cilindros</b>	4,42	6,0	6,0	7,0	6,0	6,0
<b>Temperatura</b>		(0,30) <sup>a</sup>	(0,7) <sup>b</sup>	(0,3) <sup>a</sup>	NS	(0,7) <sup>a</sup>	(0,7) <sup>c</sup>
<b>Tipo corte</b>		(1,23) <sup>c</sup>	(0,9) <sup>b</sup>	(0,8) <sup>c</sup>	(1,0) <sup>c</sup>	(0,5) <sup>a</sup>	(0,9) <sup>c</sup>
<b>Temp x corte</b>		NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5, excepto para la firmeza n = 25); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. CG: calidad global.

Además, el desarrollo de translucencia, como comentaremos en el próximo apartado, estuvo estrechamente ligado a la reducción de ambos parámetros. Como era previsible, en todos los tipos varietales, la conservación a 0°C indujo una mejor que a 5°C (Tablas 1.8, 1.10, 1.12 y 1.13).

**Tabla 1.9.** Separación de medias de los parámetros sensoriales de melón Galia procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada cuando el factor tipo de corte fue significativo.

<b>Tipo de corte</b>	<b>Firmeza (N)</b>	<b>Apariencia (1 - 9)</b>	<b>Sabor (1 - 9)</b>	<b>Aroma (1 - 9)</b>	<b>Textura (1 - 9)</b>	<b>CG (1 - 9)</b>
<b>Tajadas</b>	2,9 <sup>z</sup> b	6,3 b	6,0 b	5,8 b	5,9 b	5,8 b
<b>Trapecios</b>	4,1 ab	7,5 a	7,3 a	6,8 ab	6,5 a	7,0 a
<b>Cilindros</b>	4,5 a	6,8 ab	6,3 b	7,3 a	6,5 a	6,5 ab

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 1.8) por la prueba de LSD.

En todos los tipos varietales, salvo Piel de Sapo, las secciones trapezoidales y cilindros fueron los formatos mejor valorados por el panel sensorial (Tablas 1.9, 1.11 y 1.13) mientras que, en el Piel de Sapo fueron los cilindros y tajadas (Tabla 15).

**Tabla 1.10.** Influencia de la temperatura y tipo de corte en los parámetros sensoriales de melón Cantaloupe procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada.

<b>Temperatura</b>	<b>Tipo corte</b>	<b>Firmeza (N)</b>	<b>Apariencia (1 - 9)</b>	<b>Sabor (1 - 9)</b>	<b>Aroma (1 - 9)</b>	<b>Textura (1 - 9)</b>	<b>CG (1 - 9)</b>
<b>Inicial</b>		6,84 <sup>z</sup>	8,3	7,7	8,0	8,0	8,0
<b>0°C</b>	<b>Tajada</b>	4,96	6,5	6,5	6,0	7,0	6,0
	<b>Trapecios</b>	5,30	7,5	7,1	6,0	7,5	7,7
	<b>Cilindros</b>	8,19	7,7	5,5	6,7	7,5	7,0
<b>5°C</b>	<b>Tajada</b>	3,97	7,0	6,7	5,7	5,5	6,5
	<b>Trapecios</b>	4,87	7,0	6,7	6,0	6,5	6,8
	<b>Cilindros</b>	7,36	6,0	5,6	7,0	7,1	6,3
<b>Temperatura</b>		(0,68) <sup>a</sup>	(0,8) <sup>a</sup>	NS	NS	(0,8) <sup>c</sup>	(0,6) <sup>b</sup>
<b>Tipo corte</b>		(1,43) <sup>c</sup>	(0,4) <sup>a</sup>	(0,9) <sup>b</sup>	(0,8) <sup>c</sup>	(0,7) <sup>b</sup>	(1,1) <sup>c</sup>
<b>Temp x corte</b>		NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5, excepto para la firmeza n = 25); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. CG: calidad global.

**Tabla 1.11.** Separación de medias de los parámetros sensoriales de melón Cantaloupe procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada cuando el factor tipo de corte fue significativo.

<b>Tipo de corte</b>	<b>Firmeza</b> (N)	<b>Apariencia</b> (1 - 9)	<b>Sabor</b> (1 - 9)	<b>Aroma</b> (1 - 9)	<b>Textura</b> (1 - 9)	<b>CG</b> (1 - 9)
<b>Tajadas</b>	4,46 <sup>z</sup> b	6,8 b	6,6 a	5,8 b	6,2 b	5,8 b
<b>Trapecios</b>	5,08 b	7,3 a	6,9 a	5,9 b	7,0 a	7,2 a
<b>Cilindros</b>	7,77 a	6,9 ab	5,6 b	6,8 a	7,4 a	6,7 ab

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 1.10) por la prueba de LSD.

El sabor de Galia, Amarillo, y Piel de Sapo empeoró cuando la temperatura de conservación fue de 5°C, aunque siempre superó el límite de comercialización (Tablas 1.8, 1.12 y 1.14) alcanzándose a 0°C el mejor sabor. Así mismo, a excepción de Amarillo, en todos los tipos varietales el tipo de corte también influyó en la percepción del sabor siendo los cilindros el tipo más insípido (Tablas 1.9, 1.11 y 1.15). En todos los casos, bien por la mayor temperatura (5°C) o por el grado de corte, la disminución en el sabor fue debida al descenso en la relación sólidos SST/AT.

**Tabla 1.12.** Influencia de la temperatura y tipo de corte en los parámetros sensoriales de melón Amarillo procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada.

<b>Temperatura</b>	<b>Tipo corte</b>	<b>Firmeza</b> (N)	<b>Apariencia</b> (1 - 9)	<b>Sabor</b> (1 - 9)	<b>Aroma</b> (1 - 9)	<b>Textura</b> (1 - 9)	<b>CG</b> (1 - 9)
<b>Inicial</b>		6,40 <sup>z</sup>	8	7	7,5	7	8
<b>0°C</b>	<b>Tajada</b>	3,80	7,0	6,5	6,5	6,3	7,3
	<b>Trapecios</b>	6,40	6,5	7,5	6,2	6,5	7,7
	<b>Cilindros</b>	6,72	7,7	6,0	6,2	6,8	7,7
<b>5°C</b>	<b>Tajada</b>	3,14	6,3	6,3	6,0	5,3	6,3
	<b>Trapecios</b>	5,51	6,7	6,0	6,0	5,7	6,7
	<b>Cilindros</b>	5,82	6,7	5,7	6,0	5,7	6,3
<b>Temperatura</b>		(0,82) <sup>a</sup>	(0,4) <sup>a</sup>	(0,6) <sup>a</sup>	(0,2) <sup>a</sup>	(0,7) <sup>a</sup>	(0,9) <sup>b</sup>
<b>Tipo corte</b>		(1,70) <sup>c</sup>	NS	NS	NS	(0,4) <sup>a</sup>	(0,3) <sup>a</sup>
<b>Temp x corte</b>		NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5, excepto para la firmeza n = 25); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. CG: calidad global.

**Tabla 1.13.** Separación de medias de los parámetros sensoriales de melón Amarillo procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada cuando el factor tipo de corte fue significativo.

<b>Tipo de corte</b>	<b>Firmeza (N)</b>	<b>Textura (1 - 9)</b>	<b>CG (1 - 9)</b>
<b>Tajadas</b>	3,43 b	5,8 <sup>z</sup> b	6,8 b
<b>Trapecios</b>	5,92 a	6,1 ab	7,2 a
<b>Cilindros</b>	6,26 a	6,3 a	7,0 ab

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 1.12) por la prueba de LSD

El factor temperatura influyó en la disminución del aroma, en Amarillo y Piel de Sapo a 5°C (Tablas 1.12 y 1.14) probablemente, debido a un ligero olor a “moho” percibido por los panelistas. Sin embargo, Galia y Cantaloupe, al ser más aromáticos, enmascaran este olor sin afectarle la temperatura aunque sí se vieron influenciados por el tipo de corte (Tablas 1.8 y 1.10). En orden decreciente, cilindros, secciones trapezoidales y tajadas mermaron su aroma; probablemente, el mayor grado de procesado aumenta el coeficiente de emisión gaseosa favoreciendo una mayor percepción del aroma (Tablas 1.9 y 1.11).

La calidad global estuvo influenciada por temperatura y tipo de corte. La mejor calidad se consiguió a 0°C (Tablas 1.8, 1.10, 1.12 y 1.14) la cual frenó la pérdida de textura, proporcionó una mejor apariencia, evitó el desarrollo fúngico, mantuvo un aroma característico y consiguió un mejor sabor.

El tipo de corte afectó la calidad global al estar íntimamente relacionado con la textura y el desarrollo de la translucencia. En general, las secciones trapezoidales fueron las que mejor calidad global presentaron dado que mantuvieron una buena relación entre firmeza y translucencia

Las tajadas mostraron una tendencia a ablandarse y como veremos a continuación, no son muy sensibles al daño por translucencia mientras que en los cilindros se observó el comportamiento contrario.

En consecuencia, los trapecios fueron el tipo de corte que mejor calidad global proporcionó (Tablas 1.9, 1.11, 1.13 y 1.15) salvo en Piel de Sapo porque se ablandaron. Los cilindros tuvieron gran acogida por el panel sensorial pero en los tipos varietales sensibles a translucencia como Cantaloupe, no se aconseja este tipo de formato.

**Tabla 1.14.** Influencia de la temperatura y tipo de corte en los parámetros sensoriales de melón Piel de Sapo procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada.

Temperatura	Tipo corte	Firmeza (N)	Apariencia (1 - 9)	Sabor (1 - 9)	Aroma (1 - 9)	Textura (1 - 9)	CG (1 - 9)
<b>Inicial</b>		6,6	8 <sup>z</sup>	7,3	7,5	7,7	7,5
<b>0°C</b>	<b>Tajada</b>	5,42	7,3	7,5	6,2	6,2	6,5
	<b>Trapecios</b>	5,79	7,3	7,0	6,5	7,0	7,0
	<b>Cilindros</b>	6,63	7,7	6,7	7,5	6,3	7,3
<b>5°C</b>	<b>Tajada</b>	4,94	6,3	7,0	6,3	5,0	6,7
	<b>Trapecios</b>	5,15	5,3	6,3	5,0	6,0	5,5
	<b>Cilindros</b>	5,94	6,0	5,3	5,3	5,3	5,5
<b>Temperatura</b>		(0,60) <sup>a</sup>	(0,6) <sup>b</sup>	(0,8) <sup>b</sup>	(1,1) <sup>b</sup>	(0,8) <sup>a</sup>	(0,6) <sup>a</sup>
<b>Tipo corte</b>		(0,75) <sup>a</sup>	(0,4) <sup>a</sup>	(0,7) <sup>a</sup>	NS	(0,9) <sup>a</sup>	(0,1) <sup>a</sup>
<b>Temp x corte</b>		NS	NS	NS	(1,8) <sup>a</sup>	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5, excepto para la firmeza n = 25); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. CG: calidad global.

**Tabla 1.15.** Separación de medias de los parámetros sensoriales de melón Piel de Sapo procesado en fresco tras 10 días de conservación cuando el factor tipo de corte fue significativo.

Tipo de corte	Apariencia (1 - 9)	Sabor (1 - 9)	Textura (1 - 9)	CG (1 - 9)	Firmeza (N)
<b>Tajadas</b>	6,8 a	6,5 a	5,5 b	6,6 a	5,18 b
<b>Trapecios</b>	6,3 b	5,6 b	5,8 ab	6,2 b	5,47 b
<b>Cilindros</b>	6,9 a	5,8 ab	6,5 a	6,4 a	6,28 a

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 1.14) por la prueba de LSD.

### 1.3.3.3. Color.

El color del zumo no permitió establecer diferencias entre tratamientos. Sin embargo, los cambios de color en la pulpa sí fueron útiles para diferenciarlos, especialmente, para asociarlo con la translucencia o deterioro de la pulpa. Portela y Cantwell (2001) vincularon la disminución de L\* y Croma con el desarrollo de translucencia en Cantaloupe. Los índices Croma y en particular IB relacionaron mejor indicaron daño por vitescencia. En las Tablas 1.16, 1.18, 1.19 y 1.20 se presenta los valores para tipo de melón, corte y temperatura a lo largo de la

conservación. Normalmente, la disminución en Croma e IB coincidió con una mayor translucencia. En todos los tipos varietales, los IB más bajos ocurrieron en cilindros (Tablas 1.17, 1.22, 1.23, 1.24, 1.25 y 1.26) en los que la reducción del IB durante la conservación fue de  $64,5 \pm 0,4$  a  $53,5 \pm 2,2$  en Galia, de  $50,1 \pm 0,4$  a  $44,3 \pm 0,9$  en Cantaloupe, de  $68,7 \pm 0,5$  a  $64,0 \pm 1,1$  para Amarillo y de  $70,0 \pm 0,7$  a  $63,8 \pm 2,2$  en Piel de Sapo. Según el IB, y por tanto, la tendencia a manifestar translucencia (Fotog. 1.1 y 1.2), el efecto de la temperatura no fue significativo en ningún tipo varietal salvo Piel de Sapo donde la menor temperatura (0 frente a 5°C) redujo este daño (Tabla 1.20).

Portela y Cantwell (2001) supusieron que la severidad de la herida afecta al desarrollo de translucencia, probablemente, porque para Deikman *et al.* (1998) la presencia de etileno favorece su desarrollo. Sin embargo, otros investigadores como Odet y Dumoulin (1993), Serrano *et al.* (2002) y Chatenet *et al.* (2000) opinan que la deficiencia en calcio promueve la translucencia.

En nuestra opinión, este desorden es un síntoma de senescencia y según Namesny (1999) se desarrolla conforme el fruto utiliza los azúcares como energía en el metabolismo. De hecho, los SST disminuyen notoriamente a 5°C (Galia y Cantaloupe), en especial en los cilindros (Cantaloupe, Amarillo y Sapo) (Tablas 1.16, 1.18 y 1.24).

**Tabla 1.16.** Influencia de la temperatura y tipo de corte en los parámetros fisicoquímicos de melón Galia procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada.

Temperatura	Tipo corte	IB pulpa	°H pulpa	Croma pulpa	SST	pH	AT	Pérdida peso (%)
<b>Inicial</b>		64,5 <sup>z</sup>	112,8	23,1	10,7	6,7	0,03	0
<b>0°C</b>	<b>Tajada</b>	62,3	113,2	23,6	9,9	6,5	0,04	0,5
	<b>Trapecios</b>	63,0	111,7	18,8	8,9	6,5	0,04	0,2
	<b>Cilindros</b>	54,1	114,9	22,2	9,3	6,3	0,05	0,6
<b>5°C</b>	<b>Tajada</b>	61,0	114,2	22,3	8,5	6,4	0,05	0,6
	<b>Trapecios</b>	61,5	113,8	21,1	8,5	6,4	0,05	0,4
	<b>Cilindros</b>	53,5	114,9	19,5	7,5	6,1	0,05	0,7
<b>Temperatura</b>		NS	(0,9) <sup>a</sup>	NS	(1,0) <sup>a</sup>	(0,1) <sup>b</sup>	NS	NS
<b>Tipo corte</b>		(5,3) <sup>c</sup>	(1,62) <sup>b</sup>	(2,24) <sup>b</sup>	NS	(0,2) <sup>c</sup>	NS	(0,3) <sup>b</sup>
<b>Temp x corte</b>		NS	NS	(2,40) <sup>a</sup>	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5, excepto para el color n = 12); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: contenido en sólidos solubles (°Brix). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

**Tabla 1.17.** Interacción (temperatura x tipo de corte) del color (Croma) medido en pulpa de melón Galia procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada cuando los factores fueron significativos.

Temperatura (°C)	Tajadas	Trapeacios	Cilindros
0°	23,6 <sup>a</sup> Aa	18,8 Ba	22,2 Aa
5°	22,3 Aa	21,2 ABa	19,5 Bb

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 1.16) por la prueba de LSD.

Los tratamientos que aceleran el metabolismo o inducen un estrés estimulando la madurez y posterior senescencia, incrementarán la severidad del mismo. El hecho de procesar una fruta acelera la maduración y senescencia (Rosen y Kader, 1989; Starrett y Laties, 1991).

Los cambios que ocurren durante la senescencia son inducidos o aumentados por la acción física del procesado (Watada *et al.*, 1990). Así mismo, el procesado de melones en avanzados estados de madurez (Bai *et al.*, 2001) o no desinfectados adecuadamente (Ayhan y Chism, 1998), el uso de cuchillas desafiladas (Portela y Cantwell, 2001), la conservación en atmósferas sin CO<sub>2</sub>, prolongado tiempo de conservación (O'Connor-Shaw, 1996) y, como se ha visto en este trabajo, elevadas temperaturas de almacenamiento, determinados tipos de corte y tipos varietales incrementan la severidad de translucencia. Por ello, los cilindros con mayor estrés del corte (figuras 1.1 a 1.4) y mayor descenso en SST manifestaron con más intensidad la vitrescencia.

Los tipos varietales con un metabolismo más intenso (Galia y Cantaloupe) como se comentó en la Sección 3.1. de este Capítulo mostraron mayor translucencia.

Sin embargo, no son sólo las características metabólicas del tipo varietal intervienen en la manifestación de este desorden, el propio color de la pulpa influye en la vitrescencia, el desarrollo de la misma sobre pulpa con color intenso como la del Cantaloupe acrecienta visualmente este síntoma, adquiriendo un oscuro color naranja como observaron Portela y Cantwell (2001) y O'Connor-Shaw *et al.* (1994) en Cantaloupe mínimamente procesado respectivamente tras 12 días a 5 y 4°C.

**Tabla 1.18.** Influencia de la temperatura y tipo de corte en los parámetros fisicoquímicos de melón Cantaloupe procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada.

Temperatura	Tipo corte	IB	°H	Croma	SST	pH	AT	Pérdida
		pulpa	pulpa	pulpa				peso (%)
<b>Inicial</b>		50,1 <sup>z</sup>	86,3	40,1	10,9	6,7	0,04	0
<b>0°C</b>	<b>Tajada</b>	50,1	87,6	40,5	9,6	6,9	0,04	0,6
	<b>Trapecios</b>	50,5	87,6	39,4	10,6	6,9	0,04	0,6
	<b>Cilindros</b>	44,3	89,6	35,5	8,1	7,1	0,03	0,5
<b>5°C</b>	<b>Tajada</b>	50,1	87,3	39,4	9,7	6,5	0,06	0,8
	<b>Trapecios</b>	51,7	88,9	37,6	7,9	6,1	0,08	0,4
	<b>Cilindros</b>	46,5	90,0	34,9	7,0	6,4	0,06	0,8
<b>Temperatura</b>		NS	NS	NS	(1,1) <sup>a</sup>	(0,6) <sup>c</sup>	(0,02) <sup>c</sup>	NS
<b>Tipo corte</b>		(2,7) <sup>c</sup>	(1,0) <sup>c</sup>	(3,5) <sup>c</sup>	(1,5) <sup>a</sup>	(0,2) <sup>c</sup>	(0,01) <sup>a</sup>	NS
<b>Temp x corte</b>		NS	(0,8) <sup>a</sup>	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5 excepto para el color n = 12); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: contenido en sólidos solubles (°Brix). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

**Tabla 1.19.** Influencia de la temperatura y tipo de corte en los parámetros fisicoquímicos de melón Amarillo procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada.

Temperatura	Tipo corte	IB	°H	Croma	SST	pH	AT	Pérdida
		pulpa	pulpa	pulpa				peso (%)
<b>Inicial</b>		68,71 <sup>z</sup>	117,1	16,7	8,4	5,6	0,11	0
<b>0°C</b>	<b>Tajada</b>	70,1	114,3	12,8	9,4	5,8	0,08	1,3
	<b>Trapecios</b>	67,5	114,3	15,2	9,7	5,8	0,10	0,6
	<b>Cilindros</b>	64,3	115,6	15,6	8,3	5,8	0,09	0,9
<b>5°C</b>	<b>Tajada</b>	68,1	113,4	14,7	9,3	5,6	0,13	2,3
	<b>Trapecios</b>	69,2	113,7	13,4	8,5	5,6	0,11	0,8
	<b>Cilindros</b>	65,7	114,6	13,4	7,7	5,5	0,11	1,2
<b>Temperatura</b>		NS	NS	NS	NS	(0,1) <sup>c</sup>	(0,02) <sup>b</sup>	(0,4) <sup>a</sup>
<b>Tipo corte</b>		(2,9) <sup>c</sup>	NS	NS	(1,1) <sup>b</sup>	(0,08) <sup>a</sup>	NS	(0,7) <sup>b</sup>
<b>Temp x corte</b>		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5 excepto para el color n = 12); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: contenido en sólidos solubles (°Brix). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

El color crema de la pulpa del Piel de Sapo también mostró más sensibilidad al reflejar la translucencia, mientras que los colores blanco-verdosos de Galia y Amarillo enmascararon la vitrescencia.

Amarillo fue el tipo de melón que mostró menor sensibilidad a translucencia y, según la escala elaborada para este tipo varietal (Sección 2.6. de Materiales y Métodos), los cilindros de melón Amarillo se encontrarían al límite de mostrar translucencia.

**Tabla 1.20.** Influencia de la temperatura y tipo de corte en los parámetros fisicoquímicos de melón Piel de Sapo procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada.

Temperatura	Tipo corte	IB pulpa	°H pulpa	Croma pulpa	SST	pH	AT	Pérdida peso (%)
<b>Inicial</b>		70,3 <sup>z</sup>	110,5	11,8	11,6	5,9	0,09	0
<b>0°C</b>	<b>Tajada</b>	71,0	110,1	10,8	10,5	5,8	0,09	0,9
	<b>Trapecios</b>	67,0	108,4	10,4	11,8	6,0	0,09	0,5
	<b>Cilindros</b>	68,7	108,3	9,1	10,9	6,0	0,08	1,0
<b>5°C</b>	<b>Tajada</b>	71,0	111,0	11,7	11,6	5,9	0,10	1,0
	<b>Trapecios</b>	64,1	109,5	10,4	11,3	6,1	0,08	1,0
	<b>Cilindros</b>	63,8	112,9	10,5	9,3	6,1	0,07	1,4
<b>Temperatura</b>		(2,4) <sup>a</sup>	(1,7) <sup>c</sup>	NS	NS	(0,1) <sup>b</sup>	NS	(0,2) <sup>b</sup>
<b>Tipo corte</b>		(5,1) <sup>c</sup>	(1,2) <sup>a</sup>	(0,9) <sup>a</sup>	(1,0) <sup>b</sup>	(0,2) <sup>c</sup>	(0,01) <sup>b</sup>	(0,4) <sup>a</sup>
<b>Temp x corte</b>		NS	(3,0) <sup>b</sup>	NS	(1,4) <sup>b</sup>	NS	(0,01) <sup>a</sup>	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5 excepto para el color n = 12); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: contenido en sólidos solubles (°Brix). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

El color de la epidermis de los melones enteros mantuvo valores similares al inicial (Tabla 1.21), salvo en Galia a 0°C cuyo IB disminuyó, probablemente por el desarrollo de pequeñas manchas pardas consecuencia del daño por el frío. En Piel de Sapo disminuyó el Croma de forma significativa a ambas temperaturas.

**Tabla 1.21.** Evolución del color en la epidermis de melón entero Galia, Cantaloupe, Amarillo y Piel de Sapo tras 10 días a 0 y 5°C.

		<b>°H</b>	<b>Croma</b>	<b>IB</b>
<b>GALIA</b>				
<b>Inicial</b>		93,9 <sup>z</sup> ± 0,2	45,3 ± 0,9	44,7 ± 0,8
<b>10 días</b>	<b>0°C</b>	94,1 ± 0,2	48,4 ± 2,3	41,8 ± 3,9
	<b>5°C</b>	94,7 ± 1,3	43,3 ± 2,4	45,8 ± 4,2
<b>CANTALOUPE</b>				
<b>Inicial</b>		102,7 ± 2,2	21,8 ± 1,3	60,8 ± 1,3
<b>10 días</b>	<b>0°C</b>	101,0 ± 1,4	23,4 ± 1,3	60,1 ± 1,3
	<b>5°C</b>	104,5 ± 0,5	22,2 ± 0,3	61,2 ± 1,4
<b>AMARILLO</b>				
<b>Inicial</b>		101,8 ± 0,1	64,6 ± 1,2	32,3 ± 0,2
<b>10 días</b>	<b>0°C</b>	102,4 ± 0,7	65,6 ± 2,1	31,0 ± 1,1
	<b>5°C</b>	100,1 ± 0,1	67,9 ± 2,8	29,2 ± 1,8
<b>PIEL DE SAPO</b>				
<b>Inicial</b>		107,1 ± 2,4	43,4 ± 5,5	37,30 ± 1,8
<b>10 días</b>	<b>0°C</b>	103,2 ± 3,6	26,1 ± 2,5	34,81 ± 0,7
	<b>5°C</b>	105,8 ± 0,9	22,6 ± 1,8	32,69 ± 0,4

<sup>z</sup>Media (n = 5) ± error estándar.

#### 1.3.3.4. SST, pH y AT.

Los tipos varietales con un metabolismo más activo (Galia y Cantaloupe) mostraron una reducción en los SST, más pronunciada a 5°C que a 0°C (Tablas 1.16 y 1.18). Gil *et al.* (1996) también observaron en granada procesada una ligera reducción en los SST cuando se conservó a 8°C y 4°C frente a 1°C. Sin embargo, en Amarillo y Piel de Sapo, la temperatura no tuvo ningún efecto en los SST, pero sí el tipo de corte (Tablas 1.19 y 1.20). En ambos tipos de melón junto con Cantaloupe, los cilindros con un mayor metabolismo por el mayor grado de procesado, experimentaron un descenso en los SST (Tablas 1.22, 1.23 y 1.24). Qi *et al.* (1998) detectó una ligera disminución de los SST (13 a 12,5 °Brix) y del pH (de 6,1 a 5) en cubos Honeydew en aire tras 10 días a 5°C mientras que Portela y Cantwell (2001) encontraron una reducción en los SST que osciló entre el 4-21% según la variedad de Cantaloupe. Sin embargo para Lamikanra *et al.*

(2000), los niveles de AT y SST en Cantaloupe procesado en fresco disminuyeron pero sin diferencias significativas tras 14 días a 4°C, pero a 20°C la disminución significativa en los SST fue acompañada de un aumento en la AT.

**Tabla 1.22.** Separación de medias de los parámetros fisicoquímicos de melón Cantaloupe procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada cuando el factor tipo de corte.

Tipo de corte	IB pulpa	°H pulpa	Croma pulpa	SST	pH	AT
<b>Tajadas</b>	50,1 <sup>z</sup> a	87,4 b	39,9 a	9,7 a	6,7 ab	0,05 ab
<b>Trapeacios</b>	51,1 a	88,2 b	38,5 ab	9,2 a	6,5 b	0,06 a
<b>Cilindros</b>	45,4 b	89,8 a	35,2 b	7,5 b	6,8 a	0,04 b

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 1.18) por la prueba de LSD.

Galia y Cantaloupe son melones de baja acidez (Tablas 1.16 y 1.18), en comparación a Amarillo y Piel de Sapo (Tablas 19 y 20) con valores iniciales de 0,03, 0,04, 0,11 y 0,09 g · 100 mL<sup>-1</sup>, respectivamente.

Como observaron Qi *et al.* (1998) y Lamikanra *et al.* (2000) se encontró una AT inexplicablemente mayor y un menor pH en todos los cultivares a 5°C. Según el tipo de corte, los cilindros y trapeacios de todos los tipos varietales salvo los procedentes de Piel de Sapo también experimentaron un aumento de AT y un descenso del pH (Tablas 1.22, 1.23, 1.25 y 1.26). Sin embargo, en el Piel de Sapo las tajadas aumentaron su AT cuando se conservaron a 5°C (Tabla 1.24).

**Tabla 1.23.** Separación de medias de los parámetros fisicoquímicos de melón Amarillo procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada cuando el factor tipo de corte fue significativo.

Tipo de corte	IB pulpa	SST	pH	Pérdida peso (%)
<b>Tajadas</b>	69,1 <sup>z</sup> a	9,4 <sup>z</sup> a	5,7 a	1,8 a
<b>Trapeacios</b>	68,5 a	9,1 ab	5,7 a	0,7 b
<b>Cilindros</b>	64,8 b	8,0 b	5,6 b	1,0 b

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 1.19) por la prueba de LSD.

**Tabla 1.24.** Interacción (temperatura x tipo de corte) de los °H, SST y AT de melón Piel de Sapo procesado en fresco tras 10 días de conservación cuando los factores fueron significativo.

°H pulpa			
	Tajadas	Trapecios	Cilindros
0°C	110,1 <sup>z</sup> Aa	108,3 Aa	108,4 Ab
5°C	111,0 ABa	109,5 Ba	112,9 Aa
SST			
	Tajadas	Trapecios	Cilindros
0°C	10,5 Aa	11,8 Aa	10,9 Aa
5°C	11,6 Aa	11,3 Aa	9,3 Bb
AT			
	Tajadas	Trapecios	Cilindros
0°C	0,09 <sup>z</sup> Aa	0,09 Aa	0,08 Aa
5°C	0,10 Aa	0,08 Ba	0,07 Ba

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 1.20) por la prueba de LSD.

### 1.3.3.5. Pérdidas de peso.

Las tajadas y cilindros padecieron mayores pérdidas de peso que los trapecios (Tablas 1.23, 1.25 y 1.26) probablemente por la mayor superficie expuesta de las tajadas que incrementa las pérdidas por evaporación o el mayor grado de procesado de los cilindros. Según Roura *et al.* (2000) las mayores pérdidas de peso se encuentran en las muestras que más área dañada presentaron por unidad de volumen (en nuestro caso los cilindros). Cuando la temperatura influyó de forma significativa en este parámetro, como ocurrió en Amarillo y Piel de Sapo, a 5°C las pérdidas de peso fueron mayores que a 0°C. En Cantaloupe, ni la temperatura ni el tipo de corte indujeron cambios (Tabla 1.18).

**Tabla 1.25.** Separación de medias de los parámetros fisicoquímicos de melón Galia procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada cuando el factor tipo de corte fue significativo.

Tipo de corte	IB pulpa	°H pulpa	pH	Pérdida peso (%)
Tajadas	61,6 <sup>z</sup> a	113,7 ab	6,45 <sup>z</sup> a	0,6 a
Trapecios	62,2 a	112,7 b	6,42 a	0,3 b
Cilindros	53,8 b	114,9 a	6,23 b	0,6 a

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 1.17) por la prueba de LSD.

**Tabla 1.26.** Separación de medias de los parámetros fisicoquímicos de melón Piel de Sapo procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada cuando el factor tipo de corte fue significativo.

Tipo de corte	IB pulpa	Croma pulpa	pH	Pérdida peso (%)
Tajadas	71,0 <sup>z</sup> a	11,3 a	5,87 <sup>z</sup> b	0,9 ab
Trapezios	65,6 b	10,4 ab	6,03 a	0,7 b
Cilindros	66,2 ab	9,8 b	6,05 a	1,2 a

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 1.20) por la prueba de LSD.

### 1.3.3.6. Azúcares.

De acuerdo con McCollum *et al.* (1988), Lamikanra *et al.* (2000), Portela y Cantwell (2001) y Burger *et al.* (2002), la sacarosa, glucosa y fructosa son los tres azúcares predominantes en el melón siendo la sacarosa el principal azúcar en melón (Mutton *et al.*, 1981) y, según los resultados de este ensayo, su concentración depende del tipo varietal. Burger *et al.* (2002) reportaron que este disacárido fue el principal azúcar sujeto a variabilidades genéticas y ambientales. Así, en Galia, Cantaloupe y Piel de Sapo, la sacarosa representó entre el 60-74% del contenido total de azúcares (Tabla 1.27), mientras que en Amarillo apenas llegó al 45%. La relación glucosa/fructosa fue igual a 1 o muy próxima y, normalmente, disminuyó con la conservación, en especial al aumentar la temperatura y en particular en el Cantaloupe donde obtuvo 0,6 (Tabla 1.27).

Tras la conservación se observaron en los tipos varietales tres tipos de pautas:

- Disminución de la sacarosa, acompañada de un descenso de fructosa y glucosa, más acusados a 5 que a 0°C (Galia).
- Disminución de la sacarosa a 0 y 5°C, acompañada de un descenso en glucosa sólo a 5°C, mientras que la fructosa mantuvo valores similares a los iniciales a ambas temperaturas (Cantaloupe).
- Por último, Amarillo y Piel de Sapo, redujeron su contenido de sacarosa pero aumentaron el de fructosa y glucosa por encima de valores iniciales. A 5°C se observó una mayor disminución de la sacarosa que a 0°C, y además, a esta temperatura el aumento de fructosa y glucosa fue más notable que a 5°C.

Según estos resultados podemos afirmar que el melón no almacena almidón como sustancia de reserva, el metabolismo de los azúcares presentes en la recolección continúa después. Según Cohen y Hicks (1986) en Cantaloupe entero el nivel de glucosa y fructosa

disminuyó con el aumento de la temperatura y el tiempo de almacenamiento, mientras que, la concentración de sacarosa permaneció constante mientras que Chachin y Iwata (1988) comprobaron que el contenido de los tres azúcares desciende durante el almacenamiento. Lamikanra *et al.* (2000) reportaron en melón Cantaloupe mínimamente procesado una fuerte disminución de los tres azúcares tras 5 días a 20°C. Sin embargo, a 4°C los cambios en las concentraciones de azúcares no fueron significativos. Portela y Cantwell (2001) hallaron una reducción en los tres azúcares dependiente de la variedad, que se incrementó con la utilización de cuchillos desafilados. Así, en Cantaloupe “Mission” y “Ranger” disminuyeron los tres azúcares, mientras que en “Hy Mark” el contenido en fructosa y glucosa se mantuvo, disminuyendo sólo la sacarosa.

**Tabla 1.27.** Evolución del contenido de azúcares ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) en melón Galia, Cantaloupe, Amarillo y Piel de Sapo procesado en fresco tras 10 días de conservación refrigerada.

<b>GALIA</b>						
		<b>Fructosa</b>	<b>Glucosa</b>	<b>Sacarosa</b>	<b>% Sacarosa</b>	<b>G/F</b>
	<b>Inicial</b>	23,38 <sup>z</sup> ± 1,41	21,80 ± 1,07	59,43 ± 3,08	56,81	0,9
<b>10 días</b>	<b>0° C</b>	20,63 ± 1,22	17,93 ± 2,19	55,65 ± 3,15	59,07	0,9
	<b>5°C</b>	18,04 ± 2,49	15,07 ± 2,37	49,55 ± 3,67	59,94	0,8
<b>CANTALOUPE</b>						
	<b>Inicial</b>	16,27 ± 0,87	15,39 ± 0,63	68,93 ± 0,69	68,53	0,9
<b>10 días</b>	<b>0° C</b>	15,35 ± 1,05	14,57 ± 0,61	62,89 ± 3,39	67,76	0,9
	<b>5°C</b>	15,3 ± 0,66	9,54 ± 0,79	57,73 ± 2,06	69,92	0,6
<b>AMARILLO</b>						
	<b>Inicial</b>	24,09 ± 0,52	21,51 ± 0,39	35,59 ± 0,25	43,84	0,9
<b>10 días</b>	<b>0° C</b>	29,68 ± 2,18	26,5 ± 0,98	32,67 ± 0,94	36,77	0,9
	<b>5°C</b>	27,52 ± 1,33	24,91 ± 1,28	30,13 ± 0,84	36,49	0,9
<b>PIEL DE SAPO</b>						
	<b>Inicial</b>	14,80 ± 0,97	15,81 ± 0,36	88,34 ± 0,07	74,27	1,1
<b>10 días</b>	<b>0° C</b>	14,76 ± 0,96	15,47 ± 0,70	81,59 ± 2,05	72,97	1,0
	<b>5°C</b>	21,15 ± 1,77	20,06 ± 1,39	62,73 ± 2,41	60,35	0,9

<sup>z</sup> Media (n = 5) ± error estándar.

Lingle *et al.* (1987) en melón entero encontraron tres enzimas en los tejidos de la planta, relacionadas con el metabolismo de la sacarosa tras la recolección, éstas son: invertasa, sacarosa sintetasa y sacarosa fosfosintetasa (SPS). Las dos formas de invertasa (ácido y neutra), así como, la sacarosa sintetasa catalizan la hidrólisis de la sacarosa en fructosa y glucosa. La ácido invertasa se encuentra en contenidos muy elevados en tejidos jóvenes y disminuye agudamente durante la maduración. La actividad de la SPS aumenta con la maduración, junto con la concentración de sacarosa y los cambios en glucosa y fructosa (Lingle y Dunlap, 1987; Lyons *et al.*, 1962; Hubbard *et al.*, 1989; Hubbard, 1990; McCollum *et al.*, 1988; Mc Glasson y Pratt, 1964; Schaffer *et al.*, 1987). Sin embargo, no se ha podido correlacionar el contenido de azúcares con éstas actividades enzimáticas.

La muy probable presencia de estas enzimas, en particular la invertasa, explicaría la reducción de la sacarosa frente al incremento, en ocasiones, de glucosa y fructosa, existiendo además una variación en la velocidad o predominio de estas reacciones según el tipo varietal. Así, en Cantaloupe una respiración más intensa iría acompañada de una disminución en los tres azúcares. En Amarillo y Piel de Sapo, dominaría la hidrólisis de la sacarosa y la isomerización de la glucosa a fructosa frente a un catabolismo más lento de la fructosa.

La evolución de estos azúcares durante el almacenamiento es de gran importancia desde el punto de vista de la calidad, ya que según el tipo de azúcar la percepción del dulzor por el consumidor es distinta. La fructosa es el azúcar común de la fruta, que mayor percepción del dulzor ofrece al consumidor. El Amarillo mantuvo estos niveles próximos a los iniciales, a pesar, de ser uno de los tipos varietales que partió con un menor contenido en SST.

#### **1.3.4. COMPARACIÓN ENTRE LA CALIDAD DEL MELÓN ENTERO RECIÉN CORTADO Y EL PROCESADO.**

Se comparó la calidad de un melón procesado obtenido de un melón entero recién cortado con el procesado en fresco ambos conservados 10 días. Coincidiendo con Cantwell y Portela (1998), el recién cortado conservado a 5°C, no se observó translucencia, poseía un excelente sabor, aroma y calidad global mientras que el procesado, conservado 10 días a esa misma temperatura, mostró síntomas de deterioro, desarrollo de translucencia, en mayor o menor intensidad según el tipo varietal, pérdida de textura, sabor y aroma, en definitiva, una menor calidad global. Sin embargo, si comparamos el recién cortado con el procesado a 0°C estas diferencias no fueron significativas.

#### 1.4. CONCLUSIONES.

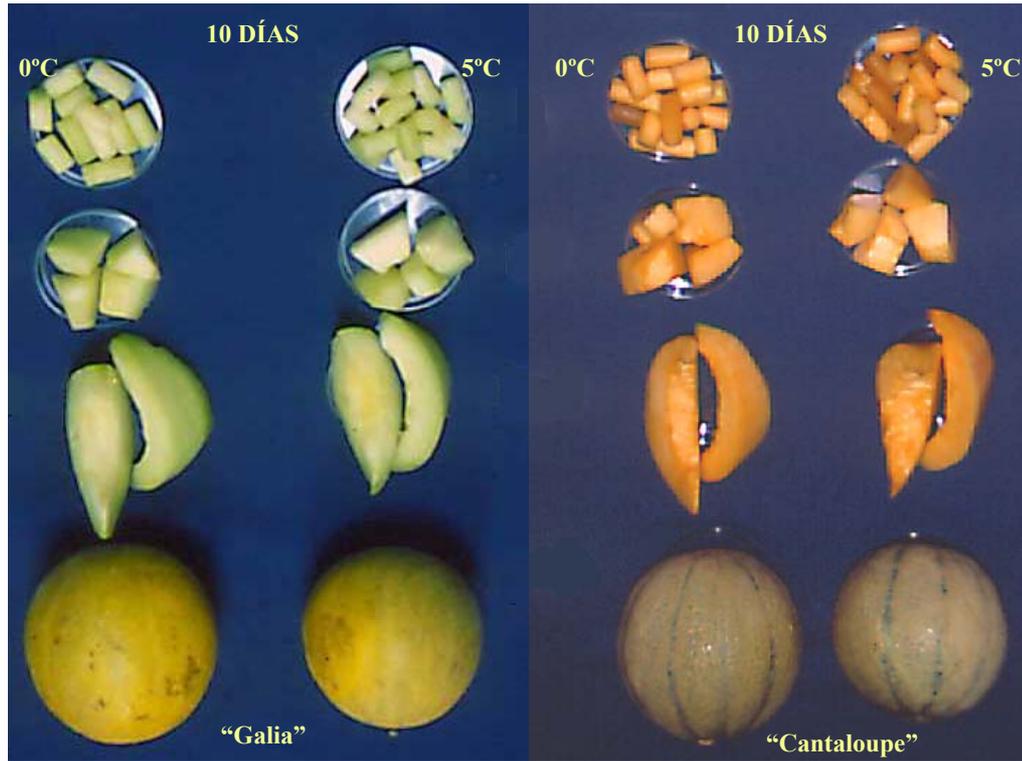
Los cuatros tipos varietales estudiados son aptos para su procesado en fresco. En todos ellos, superado el estrés del corte al ser procesado (3 días a 5°C o 1 día a 0°C), la producción de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> se estabilizó sin diferencias entre éstos y el intacto.

Se observaron comportamientos metabólicos similares entre los tipos varietales pertenecientes a una misma variedad botánica. Galia y Cantaloupe (*Cucumis melo* var. *cantalupensis* Naud) presentaron un metabolismo más intenso (mayor producción de CO<sub>2</sub> y etileno) y por tanto, una vida útil más corta, que Amarillo y Piel de Sapo (*Cucumis melo* var. *saccharinus* Naud). En Galia y Cantaloupe se detectó una notable disminución en sacarosa, glucosa y fructosa mientras que en Amarillo y Piel de Sapo estas concentraciones se mantuvieron similares o incluso mayores que los iniciales aunque a costa de una disminución de la sacarosa. Existe, por tanto una cierta similitud entre las variedades botánicas *cantalupensis* y *reticulatus* y entre *inodorus* y *saccharinus*.

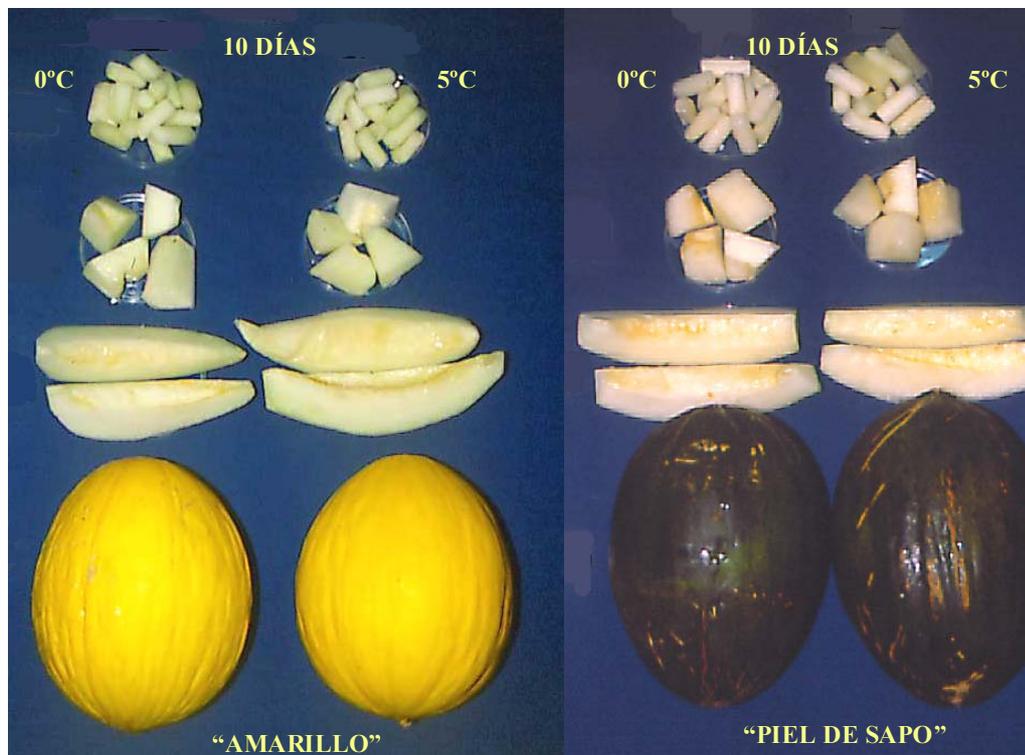
El tipo de corte y la temperatura tuvieron gran influencia en los parámetros sensoriales y fisicoquímicos en todos los tipos varietales. Siempre se observó que la temperatura de 0 frente a 5°C proporcionó una mejor calidad sensorial, disminuyó de 1,5 a 2 veces la emisión de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, el estrés del corte, las pérdidas de peso, el ablandamiento, la translucencia (según el tipo varietal) y el desarrollo fúngico. El melón Galia entero sufrió daños por frío cuando su conservación se prolongó 10 días a 0°C sin que esta temperatura afectase al procesado de éste ni de ningún otro tipo varietal. Por tanto, la temperatura idónea de conservación para melón procesado en fresco es a 0°C.

El tipo de corte afectó de forma decisiva la apariencia, translucencia y firmeza. Los cilindros tuvieron mayor estrés del corte, bajo rendimiento y una tendencia a mostrar translucencia, pero sin un excesivo ablandamiento presentando un formato muy atractivo. Por el contrario, las tajadas ofrecieron un corte menos llamativo, con un alto rendimiento y poca sensibilidad a translucencia, pero con tendencia al ablandamiento. Las secciones trapezoidales tuvieron un comportamiento intermedio entre cilindros y tajadas, con buena apariencia, firmeza, y rendimiento, por lo que podrían considerarse como idóneas.

La predisposición a sufrir translucencia, también estuvo influenciada por el tipo varietal y el color de la pulpa. Cantaloupe fue muy aromático, excelente por el llamativo color de su pulpa pero con alta sensibilidad a mostrar translucencia, especialmente en cilindros. El Amarillo poco sensible a mostrar vitescencia y con una muy buena resistencia al procesado mostró el mejor comportamiento global. Por ello, una óptima elección para la industria sería presentar el melón Amarillo procesado en secciones trapezoidales y mantenerlo a 0°C.



**Fotografía 1.1.** Melón Galia y Cantaloupe entero y procesado en fresco conservados durante 10 días a 0 y 5°C.



**Fotografía 1.2.** Melón Amarillo y Piel de Sapo entero y procesado en fresco conservados durante 10 días a 0 y 5°C.

## Capítulo 2. INFLUENCIA DE LA ATMÓSFERA CONTROLADA EN EL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO Y EN LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE MELÓN PROCESADO EN FRESCO

### 2.1. INTRODUCCIÓN.

El melón procesado en fresco es un producto altamente perecedero con gran tendencia al ablandamiento y a la contaminación microbiana. Su vida útil es de unos 14 días en melón Honeydew y sólo 4 días en Cantaloupe, ambos conservados bajo EAM a 4°C (O'Connor Shaw *et al.*, 1994).

Como técnicas capaces de mantener la calidad de un producto procesado en fresco durante su distribución destacan estrictas condiciones de desinfección, el uso de bajas temperaturas y la utilización de EAM o AC (Bolin y Huxsoll, 1989; Watada *et al.*, 1996).

Las concentraciones ensayadas por distintos autores en melón procesado han sido en Cantaloupe 3 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>, aire + 15 kPa CO<sub>2</sub> a 7,5 y 15°C (Madrid y Cantwell, 1993), 6 kPa O<sub>2</sub> + 6 kPa CO<sub>2</sub>, 3,5 kPa O<sub>2</sub> + 9,5 kPa CO<sub>2</sub>, 15 kPa CO<sub>2</sub>, 6 kPa O<sub>2</sub> a 4,5°C (O'Connor-Shaw *et al.*, 1996), 3 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>, 3 kPa O<sub>2</sub> + 7,5 kPa CO<sub>2</sub>, aire + 15 kPa CO<sub>2</sub>, 3 kPa O<sub>2</sub> a 5°C (Portela *et al.*, 1997). En Honeydew fueron, aire + 15 kPa CO<sub>2</sub> a 5°C (Portela y Cantwell, 1998) y 2 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> a 5 y 10°C (Qi *et al.*, 1999).

Según Gorny (1997; 2001b) se consiguen buenos resultados con mezclas de 3-5 kPa O<sub>2</sub> + 6-15 kPa CO<sub>2</sub> para cubos de Cantaloupe y 2 kPa O<sub>2</sub> + 10 CO<sub>2</sub> para Honeydew, ambos entre 0 y 5°C. Estas AC contribuyeron a mantener la calidad visual y reducir el crecimiento microbiano pero su efecto en la firmeza fue escaso (Madrid and Cantwell, 1993; Portela *et al.*, 1997, Qi *et al.*, 1999) o dependió de la variedad (Portela y Cantwell, 1998).

Por todo lo expuesto, nuestro objetivo consistió en estudiar varias AC en melón Amarillo procesado en secciones trapezoidales ya que como ha quedado expuesto en el Capítulo 1, este tipo varietal y corte se presentaron como idóneos.

Se han seleccionado las AC siguientes, 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> (bajo O<sub>2</sub> y alto CO<sub>2</sub>) y aire + 15 kPa CO<sub>2</sub> (alto O<sub>2</sub> y alto CO<sub>2</sub>) ya que proporcionaron bajos recuentos microbianos y una vida útil de 12 días a 5°C en melón Cantaloupe (Portela *et al.*, 1997).

Como temperatura de conservación se optó por 5°C frente a 0°C, para evaluar el uso de AC como sustituto a la óptima de 0°C, pero que son muy difíciles de implantar en las empresas y especialmente, en los supermercados (Qi *et al.*, 1999). El tiempo de conservación fue 14 días con el propósito de averiguar si los tratamientos proporcionarían una óptima calidad tras esa prolongada vida útil.

## 2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 2.2.1. Material vegetal.

El material vegetal fueron melones Amarillo (*Cucumis melo* var. *saccharinus* Naud) de la variedad “Doral”, cultivados en el Campo de Cartagena (Murcia). Los frutos se recolectaron en julio y se seleccionaron por su tamaño y coloración externa, descartándose los que presentaban lesiones por golpes y/o rozaduras o alteraciones. De la selección se tomó al azar una muestra de 20 melones a los que se determinó el peso, color y los diámetros ecuatorial y polar (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1.** Caracterización inicial (peso, calibres y color en la epidermis) del melón Amarillo.

Peso (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)	Color de la epidermis		
			L*	°H	Croma
2167,9 <sup>z</sup> ± 45,8	14,4 ± 0,6 <sup>z</sup>	20,8 ± 0,3	78,5 ± 0,5	92,6 ± 0,7	59,1 ± 0,2

<sup>z</sup>Media (n = 20) ± error estándar.

### 2.2.2. Preparación de la muestra.

Se efectuó en secciones trapezoidales como se ha descrito en el Capítulo 1 (Sección 2.2.). Las dimensiones de las secciones fueron (media ± error estándar), 4,9 ± 0,1 x 2,2 ± 0,1 x 2,5 ± 0,1 cm.

El procesado se sumergió durante 1 min en agua clorada (100 mgL<sup>-1</sup> NaClO, 5°C y pH=7,5). Una vez escurridas, se pesaron 340-360 g de procesado y se colocó en frascos de vidrio (0,75 L). Éstos se trasladaron a una cámara frigorífica a 5°C donde se les hicieron pasar los flujos gaseosos, a través de un sistema mezclador de gases abastecido con cilindros comerciales (Air Liquid, S.A., Madrid, España). Los tratamientos fueron:

- ◆ Bajo O<sub>2</sub> y alto CO<sub>2</sub> ⇒ 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>,
- ◆ Alto O<sub>2</sub> y alto CO<sub>2</sub> ⇒ 21 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> ⇒ Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub>,
- ◆ Alto O<sub>2</sub> y bajo CO<sub>2</sub> ⇒ Aire ⇒ 21 kPa O<sub>2</sub> + 0 kPa CO<sub>2</sub> ⇒ Control.

Consideramos como alto O<sub>2</sub> la concentración en el aire a pesar de que pueden alcanzar valores superiores. Se realizaron salidas los días 7, 10 y 14 por cada tratamiento y se prepararon cinco repeticiones por tratamiento y salida.

### 2.2.3. Determinaciones.

En todos los tratamientos gaseosos, se determinó la tasa respiratoria y emisión de etileno mediante el sistema estático.

Para evaluar los beneficios y diferencias de las AC se realizaron diversas determinaciones, detalladas en el apartado general de Materiales y Métodos (Sección 2). En cada salida se realizó un:

- Análisis sensorial (escala hedónica de 9 puntos)
- Color de la pulpa
- Firmeza
- Pérdidas de peso
- Análisis microbiológico

En el zumo obtenido a partir del melón procesado, además, se evaluaron:

- Color
- SST y azúcares
- PH, AT y ácidos orgánicos

En todas las determinaciones se evaluaron las 5 repeticiones salvo para la firmeza y color en pulpa donde la media está compuesta por 30 valores, es decir, se evaluaron 6 piezas de cada repetición.

Dado que el objetivo de este ensayo fue estudiar los beneficios de las AC a lo largo de 14 días a 5°C, se optó por realizar un análisis de la varianza bifactorial (tiempo de conservación x tipo de atmósfera). Cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó la prueba LSD.

## 2.3. RESULTADOS.

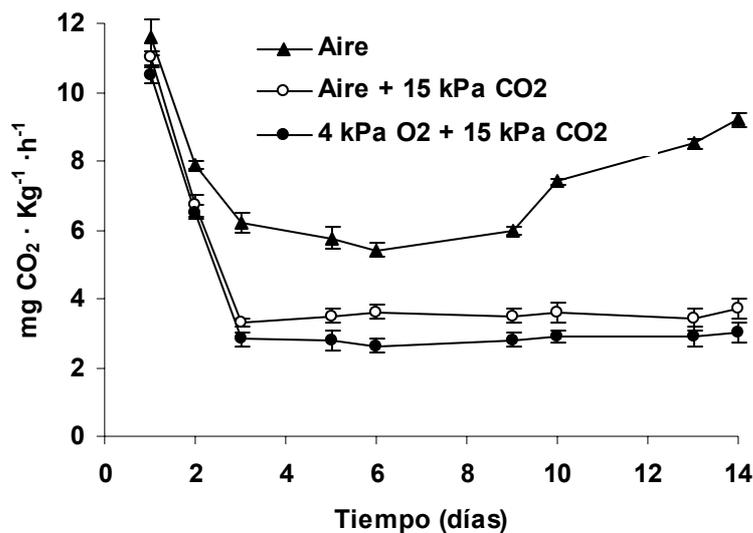
### 2.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno.

#### 2.3.1.1. En melón procesado.

En melón procesado y conservado en aire, se observó un aumento instantáneo de CO<sub>2</sub> (11,6 mg CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>) y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (70 nL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>) como respuesta al estrés del corte (Capítulo 1, Sección 1.3.1.) observado por Meigh *et al.* (1960), McGlasson y Pratt (1964), McGlasson (1969), Laties (1978), Hoffman y Yang (1982), Rosen y Kader (1989), Watada *et al.* (1990), Abeles *et al.* (1992), Floros (1993), Madrid y Cantwell (1993), López-Gálvez *et al.* (1996), Brecht (1995), Paull y Chen (1997), Agar *et al.* (1999), Artés *et al.* (1999), Luna-Guzmán *et al.* (1999), Durigan y Sargent (1999), Chu y Wang (2001) y Portela y Cantwell (2001) entre otros. Superado el estrés del corte (3 días) la tasa respiratoria se estabilizó en 5,5-7,5 mg CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Fig. 2.1). Los valores de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> continuaron aumentando paulatinamente, a partir del día 10 se observó un incremento (200 nL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>) muy importante

acompañado también, de una notable emisión de  $\text{CO}_2$  ( $9,2 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Estos aumentos se debieron al crecimiento microbiano (Tabla 2.11) y al deterioro del tejido por la proximidad a la senescencia, como encontraron, Luna-Guzmán y Barret (2000), Bai *et al.* (2001), Madrid y Cantwell (1993) y Durigan y Sargent (1999) en cubos o cilindros de Cantaloupe a  $5^\circ\text{C}$  entre el sexto, séptimo, octavo ó noveno día respectivamente. Para Cacace *et al.* (2002) y Marrero y Kader (2001), el final de la vida útil de un producto procesado está marcado por un agudo incremento en la respiración seguido de un aumento en la producción de etileno debido al crecimiento de la flora microbiológica.

En este estudio, los valores medios para la atmósfera de aire fueron ligeramente inferiores a los encontrados en el Capítulo 1 (Sección 1.3.1.) para este mismo tipo varietal, temperatura y tipo de corte ( $6\text{-}8 \text{ mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ). Las diferencias pueden deberse al sistema adoptado para evaluar la emisión de  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  o a diferencias varietales dentro del un mismo cultivar (en el Capítulo 1, se estudió la variedad “Solaris” por sistema dinámico y aquí la “Doral” por sistema estático).



**Figura 2.1.** Tasa respiratoria de melón Amarillo procesado en secciones trapezoidales conservado en aire o atmósfera controlada tras 14 días a  $5^\circ\text{C}$ . Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar.

Confirmando resultados de Kader (1980) y Zagory y Kader (1988) bajas concentraciones de  $\text{O}_2$ , altas de  $\text{CO}_2$  o combinación de ambas, redujeron la respiración y emisión de  $\text{C}_2\text{H}_4$  de forma muy significativa (Figura 2.1). Su efecto para disminuir la respiración se produjo a partir del segundo día, sin diferencias significativas entre las AC. A partir de este momento, y a lo largo de la conservación, se estabilizó la emisión de  $\text{CO}_2$  en  $3,5 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  en aire + 15 kPa  $\text{CO}_2$  y en  $2,8 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  en 4 kPa  $\text{O}_2$  + 15 kPa  $\text{CO}_2$ . Como se desprende de la Tabla

2.2, las AC consiguieron respecto al aire, reducciones medias en la respiración de un 39%, caso del aire + 15 kPa CO<sub>2</sub> y un 48% caso de 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>. Los descensos más significativos (60-67%) se observaron a partir del día 10 por las altas emisiones de CO<sub>2</sub> de las muestras en aire debido al desarrollo microbiano (Figura 2.1). Durante los dos primeros días no se lograron reducciones tan notables probablemente por la inadaptación del metabolismo del fruto a las AC. Para Qi *et al.* (1999) las diferencias en cubos de Honeydew a 10°C, entre aire y 4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> comienzan a ser diferentes a partir del cuarto día. Si comparamos ambas AC, la de bajo O<sub>2</sub> y alto CO<sub>2</sub> mermó la emisión de CO<sub>2</sub> en un 15,8% con respecto al aire + 15 kPa CO<sub>2</sub>, en particular entre el periodo comprendido entre el día 3 al 10.

Watada *et al.* (1996) encontraron en cubos de Muskmelon (tipo largo) a 5°C, una tasa respiratoria de 7,7 mg CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup> en aire y de 4,5 CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup> en AC (1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>); sin embargo, si el Muskmelon era del tipo corto, en aire fue menor la tasa respiratoria (5,2 mg) que en AC (10,6) o no hubieron diferencias entre las atmósferas como ocurrió en cubos de Crenshaw. Para Izumi *et al.* (1996) la AC (0,5 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>) redujo la producción de CO<sub>2</sub> en un 55% a 0°C y un 65% a 5°C y sobre el 75% a 10°C en los procesados de zanahorias (rodajas, bastones y triturados). Según Gorny *et al.* (1999), las AC de bajo O<sub>2</sub> y/o elevado CO<sub>2</sub> disminuyeron la tasa respiratoria y emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en nectarina procesada en fresco a 10°C.

**Tabla 2.2.** Reducción de la respiración a lo largo de la conservación en melón Amarillo procesado en fresco a 5°C, según la atmósfera utilizada.

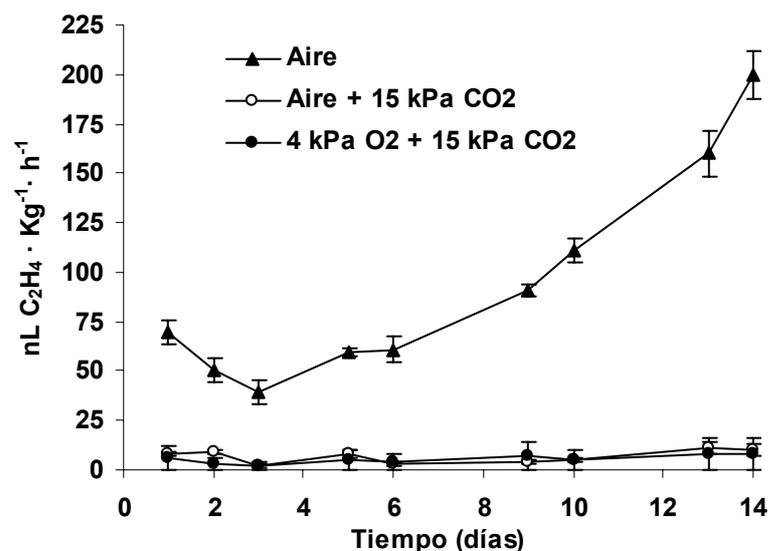
Día	Aire versus		Aire versus		Aire + 15 kPa CO <sub>2</sub> versus	
	Aire + 15 kPa CO <sub>2</sub>		4 kPa O <sub>2</sub> + 15 kPa CO <sub>2</sub>		4 kPa O <sub>2</sub> + 15 kPa CO <sub>2</sub>	
	%	Cociente	%	Cociente	%	Cociente
1	5,2 <sup>z</sup>	1,1	9,5	1,1	4,5	1,0
2	15,1	1,2	17,6	1,2	3,0	1,0
3	46,8	1,9	54,5	2,2	14,5	1,2
5	39,2	1,6	51,4	2,1	20,0	1,3
6	33,6	1,5	51,5	2,1	26,9	1,4
9	41,3	1,7	53,0	2,1	20,0	1,3
10	51,4	2,1	60,8	2,6	19,4	1,2
13	60,0	2,5	65,9	2,9	14,7	1,2
14	59,8	2,5	67,4	3,1	18,9	1,2
<b>Media ± E.S.</b>	<b>39,1 ± 9,7</b>	<b>1,8 ± 0,3</b>	<b>48,0 ± 10,6</b>	<b>2,1 ± 0,3</b>	<b>15,8 ± 4,0</b>	<b>1,2 ± 0,1</b>

<sup>z</sup>Media (n = 5) ± error estándar.

Con respecto a la emisión de  $C_2H_4$  ambas AC lograron una reducción del 90-95% con respecto al aire sin diferencias significativas las mismas (Fig. 2.2). La emisión de  $C_2H_4$  en AC alcanzó una media de  $5 \text{ nL } C_2H_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , experimentando los últimos días un aumento hasta  $8-10 \text{ nL } C_2H_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , cifra muy inferior a la alcanzada en aire durante este último periodo ( $200 \text{ nL } C_2H_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Estos resultados confirman que atmósferas con reducido  $O_2$  y/o elevado  $CO_2$  reducen la emisión de etileno y la sensibilidad al mismo extendiendo la vida útil (Artés, 1995b; Gorny, 2001b; Kader *et al.*, 1989; Zagory y Kader, 1988).

Burg y Burg (1967) demostraron que el  $CO_2$  es un inhibidor competitivo de la acción del  $C_2H_4$  al desplazarlo del centro activo. También observaron que se requiere  $O_2$  para la acción del  $C_2H_4$  ya que por debajo de 8 kPa de  $O_2$  se impide la unión del  $C_2H_4$  al centro activo. Además, la producción de  $C_2H_4$  se redujo a niveles de  $O_2$  del 2,5%. Luego el bajo  $O_2$  inhibe tanto la producción como la acción del  $C_2H_4$ . Yang (1985) observó que el  $O_2$  es necesario para transformar el ACC en  $C_2H_4$ .

Qi *et al.* (1999) obtuvieron una pequeña emisión de  $C_2H_4$  en cubos de Honeydew en aire ( $20$  a  $60 \text{ nL } C_2H_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) a  $5^\circ\text{C}$  y la AC disminuyó su producción a valores cercanos a cero. Agar *et al.* (1999) detectaron una reducción de 3 a 4 veces en la producción de  $C_2H_4$  cuando las rodajas de kiwi se conservaban a 2 ó 4 kPa  $O_2$  y 5 ó 10 kPa  $CO_2$  a  $0^\circ\text{C}$ . Gil *et al.* (1998) observaron en rodajas de manzana una tasa respiratoria doble en aire frente a las conservadas en 0 kPa de  $O_2$  con inhibición total en la emisión de  $C_2H_4$ . En cambio, en zanahoria procesada, el etileno no se vio afectado por la conservación en AC (Izumi *et al.*, 1996).

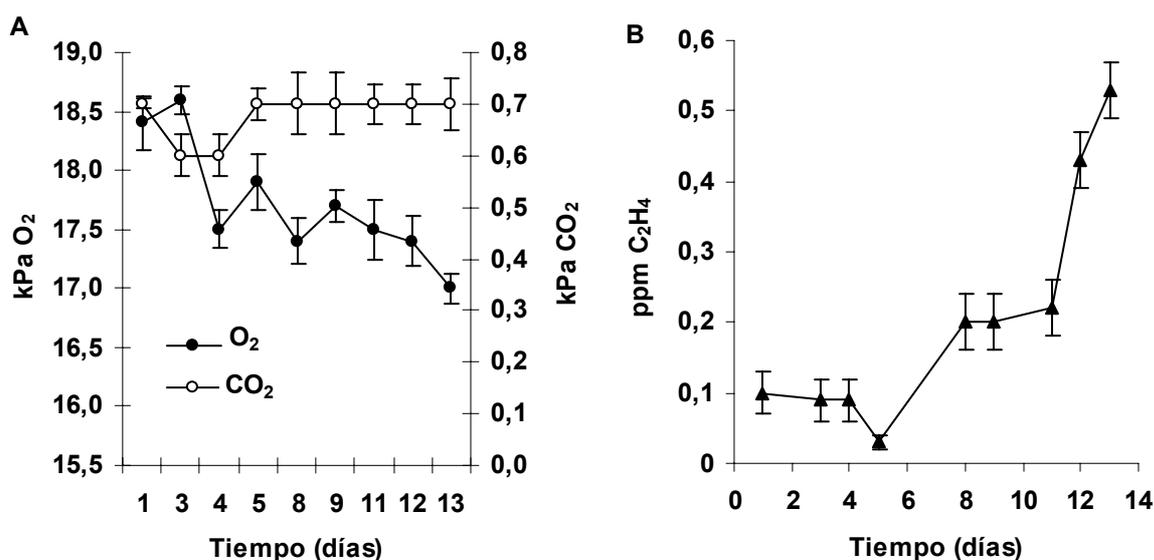


**Figura 2.2.** Emisión de etileno de melón Amarillo procesado en secciones trapezoidales conservado en aire o atmósfera controlada tras 14 días a  $5^\circ\text{C}$ . Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar.

Al comparar la reducción del metabolismo de las secciones trapezoidales de melón por la AC (de 1,8 a 2,1 veces) con respecto a las bajas temperaturas (1,5 a 2 veces más, a 5°C que a 0°C, Capítulo 1, Sección 1.3.1.), advertimos que la AC a 5°C puede sustituir al uso de temperaturas como 0°C.

### 2.3.1.2. Composición gaseosa interna del melón entero en aire.

Se determinó la atmósfera interna del melón entero con el objetivo de conocer algo más su comportamiento metabólico. En la figura 2.3A, se observa que la composición gaseosa es bastante estable, entre un 18,4 a 17 kPa de O<sub>2</sub> y entre 0,6 a 0,7 kPa de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> aumenta paulatinamente pasando de 0,1 ppm a 0,6 ppm (figura 2.3B). Estos resultados indican por un lado, que durante estos 13 días el melón entero a 5°C, no manifestó daños por frío, ya que éstos suelen incrementar la tasa respiratoria (tampoco se observaron síntomas externos) y por otro, que el melón continuaba madurando acompañado por un ligero incremento de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.



**Figura 2.3.** Concentración interna de melón Amarillo entero tras 13 días a 5°C. **A:** kPa O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>. **B:** ppm C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. Media (n = 5) ± error estándar.

### 2.3.2. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos.

#### 2.3.2.1. Evaluación sensorial.

En todos los parámetros sensoriales evaluados, apariencia, sabor, aroma, textura y calidad global, la influencia de la temperatura y de las atmósferas fue significativa, además de la interacción entre factores, salvo en el aroma donde no influyó (Tabla 2.3).

**Tabla 2.3.** Influencia del tiempo y atmósfera controlada (AC) en los parámetros sensoriales de melón Amarillo procesado en secciones y conservado 14 días a 5°C.

Tiempo	Tipo AC	Apariencia	Sabor	Aroma	Textura	CG
		(1 - 9)	(1 - 9)	(1 - 9)	(1 - 9)	(1 - 9)
<b>Inicial</b>		8,8 <sup>z</sup>	7,8	7,5	8,0	7,8
<b>7 días</b>	<b>Aire</b>	6,4	6,3	5,8	5,3	6,0
	<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	7,5	7,0	7,3	8,0	7,3
	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	7,1	7,6	7,4	7,0	7,4
<b>10 días</b>	<b>Aire</b>	6,0	5,3	5,3	5,3	5,1
	<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	7,0	7,0	6,8	6,5	6,8
	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	7,0	7,0	7,0	6,8	7,3
<b>14 días</b>	<b>Aire</b>	1,8	1,0	4,5	2,3	3,0
	<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	7,0	7,0	7,3	6,5	6,8
	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	6,8	6,5	6,5	6,8	6,6
<b>Tiempo</b>		(0,7) <sup>c</sup>	(0,7) <sup>c</sup>	(0,9) <sup>c</sup>	(0,9) <sup>c</sup>	(0,8) <sup>c</sup>
<b>AC</b>		(0,6) <sup>c</sup>	(0,6) <sup>c</sup>	(0,8) <sup>c</sup>	(0,8) <sup>c</sup>	(0,7) <sup>c</sup>
<b>Tiempo x AC</b>		(0,9) <sup>c</sup>	(0,7) <sup>b</sup>	NS	(1,5) <sup>c</sup>	(1,3) <sup>c</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. CG: calidad global.

El procesado fue perdiendo aroma a lo largo del tiempo de conservación pero ambas AC evitaron la pérdida de aroma con respecto al testigo (Tabla 2.7). Como Gil *et al.* (1998) observaron en rodajas de manzana, las AC no provocaron el desarrollo de sabores y aromas extraños. Además, el elevado CO<sub>2</sub> ayudó a retardar el desarrollo de aromas extraños normalmente asociados con el crecimiento microbiano (Tabla 2.11) (Portela y Cantwell, 1998).

En el resto de parámetros sensoriales se observó que el testigo disminuye su calidad sensorial en el día 7, distinguiéndose tres periodos, inicial y días 7 y 10 donde las evaluaciones se mantienen por encima del límite de comercialización aunque valores cercanos a 5, y, por último, día 14 en el que los valores alcanzan calificaciones de pobres o inaceptables (Tabla 2.4).

En los tratamientos de AC no hay diferencias significativas entre los distintos periodos de conservación, manteniendo valores próximos al inicial (Tabla 2.4) salvo en la apariencia donde sí se observó diferencias entre el inicial y el tiempo posterior de conservación. Si para cada periodo de tiempo, examinamos los distintos tratamientos gaseosos advertimos que las AC logran una mejor calidad sensorial que el testigo, en especial en los días 10 y 14, sin diferencias

significativas entre las mismas salvo en la apariencia del melón conservado en aire y la del almacenado en 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> o en el sabor del control y la del aire + 15 kPa CO<sub>2</sub> en el día 7 (Tabla 2.4.).

**Tabla 2.4.** Interacción (tiempo x atmósfera) de los parámetros sensoriales (apariencia, sabor, textura y calidad global) de melón Amarillo procesado en secciones y conservado 14 días a 5°C.

<b>Apariencia (1-9)</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>7d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Aire</b>	8,8 <sup>z</sup> Aa	6,4 Bb	6,0 Bb	1,8 Cb
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	8,8 Aa	7,5 ABa	7,0 Ba	7,0 Ba
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	8,8 Aa	7,1 Bab	7,0 Ba	6,8 Ba
<b>Sabor (1-9)</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>7d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Aire</b>	7,8 Aa	6,3 Bb	5,3 Bb	1,0 Cb
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	7,8 Aa	7,1 Aab	7,0 Aa	7,0 Aa
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	7,8 Aa	7,6 Aa	7,0 Aa	6,5 Aa
<b>Textura (1-9)</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>7d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Aire</b>	8,0 Aa	5,3 Bb	5,3 Ba	2,3 Cb
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	8,0 Aa	8,0 Aa	6,5 Aa	6,5 Aa
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	8,0 Aa	7,0 Aa	6,8 Aa	6,8 Aa
<b>Calidad global (1-9)</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>7d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Aire</b>	7,8 Aa	6,0 Bb	5,1 Bb	3,0 Cb
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	7,8 Aa	7,3 Aa	6,8 Aa	6,8 Aa
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	7,8 Aa	7,4 Aa	7,3 Aa	6,6 Aa

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 2.3) por la prueba de LSD.

Los resultados encontrados en otros estudios de melón procesado confirman que la utilización de AC logran una mejor calidad global, pero difieren en la determinación de una vida útil óptima desde el punto de vista de la calidad sensorial. Así, Qi *et al.* (1999) obtuvo una mejor calidad global en cilindros de Honeydew a 5°C en 4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> respecto al aire que cayó bajo el sexto día por debajo del límite de comercialización aunque la AC no logró alcanzar

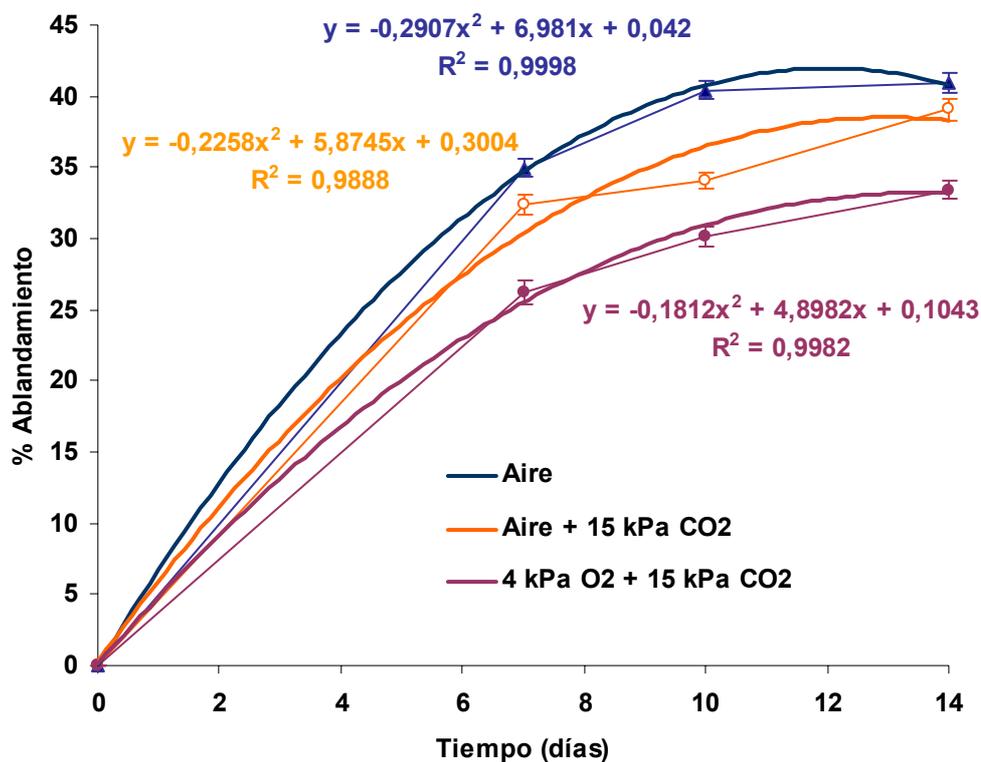
una vida útil de 10 días. Portela *et al.* (1997) encontraron en Cantaloupe, una inaceptable calidad global tras 9 días a 5°C en atmósferas con bajo O<sub>2</sub> (1,5 ó 3kPa) o en aire, aunque si la AC era de bajo O<sub>2</sub> con alto CO<sub>2</sub>, (3 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>, 3 kPa O<sub>2</sub> + 7,5 kPa CO<sub>2</sub>) ó sólo de alto CO<sub>2</sub> (7,5 kPa o 15 kPa) podían conseguir esta vida útil. Portela y Cantwell (1998) obtuvieron una buena o muy buena calidad en cilindros de Honeydew conservados en aire o en aire + 15kPa CO<sub>2</sub> a 5°C en el día 6; sin embargo, en aire no lograron una conservación de 12 debido a las pudriciones y translucencia, mientras que los conservados en AC poseían una buena calidad global.

En definitiva, la AC evitó la pérdida de calidad sensorial a lo largo de todo el periodo de conservación, manteniéndola siempre por encima del límite de comercialización.

### 2.3.2.2. Firmeza.

Este parámetro estuvo influenciado por el tiempo de conservación y la atmósfera (Tabla 2.5) pero la interacción de estos factores no fue significativa. El procesado se ablandó con la conservación, pero sin diferencias significativas entre las salidas 7, 10 y 14 (Tabla 2.9). Ello indica que la pérdida de firmeza se produjo de forma rápida durante los primeros siete días tal y como encontró Qi *et al.* (1999). Este ablandamiento se ajustó a una ecuación polinómica de 2º grado (Figura 2.3). A partir de esta fecha, el agudo ablandamiento se ralentiza. La atmósfera 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> frenó el ablandamiento con respecto al aire. La conservación en aire + 15 kPa CO<sub>2</sub> tuvo un efecto intermedio entre las otras dos sin diferencias significativas entre ellas (Tabla 2.7). En nuestro caso, sólo la combinación reducido O<sub>2</sub> con elevado CO<sub>2</sub> retardó el ablandamiento, a pesar de que el elevado CO<sub>2</sub>, según Kader (1980) también disminuye el ablandamiento. Larsen y Watkins (1995) notaron que las elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> (10 kPa) conllevaban a una fruta más firme mientras que bajos niveles de O<sub>2</sub> (2 kPa) no afectaban a la textura. Agar *et al.* (1999) tampoco detectaron un claro efecto aditivo entre el bajo O<sub>2</sub> y elevado CO<sub>2</sub> en rodajas de kiwi. En los siguientes modelos matemáticos (Figura 2.4) donde se ilustra el acelerado ablandamiento durante los primeros 7 días, estabilizándose a partir del día 10.

Otros autores como Portela *et al.* (1997), encontraron un ablandamiento similar tanto en aire como en AC a 5°C tras 9 días de almacenamiento. Madrid (1993) encontró la misma respuesta en cilindros de Cantaloupe a 7,5°C después de 10 días de conservación con aire + 15 kPa CO<sub>2</sub>, 3 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> y 3 kPa O<sub>2</sub>. Sólo cuando la temperatura era de 10°C ó 15°C, ambos autores encontraron que la AC frenaba la pérdida de firmeza, siendo más efectiva 3 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> y 3 kPa O<sub>2</sub> frente a la de aire con alto CO<sub>2</sub> (Madrid, 1993; Portela *et al.*, 1997) El ablandamiento encontrado por Madrid (1993) en este caso fue del 38%.



**Figura 2.4.** Modelos matemáticos para calcular el ablandamiento en función del tiempo de conservación y atmósfera (aire, aire + 15 kPa CO<sub>2</sub> y 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>) en melón Amarillo procesado en secciones y conservado 14 días a 5°C. Media (n = 30) ± error estándar.

Para Portela y Cantwell (1998) el aire + 15 kPa CO<sub>2</sub> a 5°C redujo el ablandamiento en un 10% en sólo una variedad de las cuatro estudiadas pertenecientes a Honeydew. Luego, el efecto de la AC sobre el ablandamiento debe ser varietal. Qi *et al.* (1999) sólo consiguieron con la aplicación de 3 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> una reducción del 2% en comparación con el aire, es decir, un 27% frente al 29% encontrado el sexto día a 5°C. Gorny *et al.* (2002) también encontraron un ablandamiento similar entre las rodajas de peras conservadas a 5°C en aire o en AC (0,25 kPa O<sub>2</sub>, 0,5 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub>, aire + 10 kPa CO<sub>2</sub> o aire + 20 kPa CO<sub>2</sub>) al igual que Babic y Watada (1996), la AC no tuvo ningún efecto en la firmeza de espinaca procesada y conservada a 5 ó 10°C en AC (0,8 kPa O<sub>2</sub>, 0,8 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>). Tampoco Escalona (2003) observó diferencias significativas en hinojo y colirrábano procesado en fresco con 5 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub> ó 5 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> después de 14 días a 5°C. Luego, según todos estos autores, y en contra de los resultados encontrados en nuestro trabajo, la retención de la firmeza no resulta generalmente beneficiada por la AC.

Sin embargo, Holcroft y Kader (1999), consiguieron retener la firmeza en fresas con 2 ó 0,5 kPa O<sub>2</sub> a 5°C frente al aire. Agar *et al.* (1999) redujeron el ablandamiento de rodajas de kiwi, al conseguir eliminar el C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> con la aplicación de AC. Amanatidou *et al.* (2000) lograron retener la firmeza con 1 kPa ó 50 kPa O<sub>2</sub> mientras que la zanahoria procesada conservada en aire se ablandó probablemente por la proliferación de pseudomonas pectolíticas.

### 2.3.2.3. Color.

Las determinaciones realizadas en el color del zumo como luminosidad (L\*), IB y tono (°H), éste último medido también en pulpa no fueron significativas ni para el tiempo de conservación ni para los tratamientos gaseosos estudiados, y apenas sirvieron para diferenciar tratamientos (Tabla 2.5.).

**Tabla 2.5.** Influencia del tiempo y la atmósfera en la firmeza, L\*, índice de blancura, Croma y pérdidas de peso en melón Amarillo procesado en secciones y conservado 14 días a 5°C.

Tiempo	Tipo AC	Firmeza (N)	L* pulpa	IB pulpa	Croma pulpa	Croma zumo	Pérdidas peso (%)
<b>Inicial</b>		15,11 <sup>z</sup>	73,0	70,3	12,2	1,9	0
<b>7 días</b>	<b>Aire</b>	9,83	70,7	68,2	11,0	1,5	0,05
	<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	9,21	71,2	68,5	12,1	1,6	0,03
	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa</b>	11,15	71,7	68,6	12,2	1,7	0,05
<b>10 días</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	9,00	72,5	70,5	10,4	1,5	0,06
	<b>Aire</b>	9,97	72,2	70,0	11,1	1,6	0,04
	<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	10,56	72,5	69,8	12,2	2,0	0,05
<b>14 días</b>	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa</b>	8,93	71,6	69,7	10,2	1,7	0,08
	<b>CO<sub>2</sub></b>	9,21	71,1	70,6	10,6	1,3	0,04
	<b>Aire</b>	10,06	71,6	69,3	11,6	1,5	0,06
<b>Tiempo</b>	<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	(1,24) <sup>a</sup>	(1,2) <sup>c</sup>	(1,2) <sup>a</sup>	(0,9) <sup>b</sup>	(0,2) <sup>a</sup>	(0,01) <sup>c</sup>
<b>AC</b>	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa</b>	(0,84) <sup>b</sup>	NS	NS	(0,7) <sup>b</sup>	NS	(0,01) <sup>c</sup>
<b>Tiempo x AC</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5, excepto para el color pulpa y firmeza n = 30); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis.

<sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001.

Sin embargo, Croma evaluado en el zumo y en la pulpa, L\* e IB en pulpa dependieron del tiempo de conservación. Todos ellos disminuyeron a lo largo del mismo, en particular a

partir del día 10 (Tabla 2.6). Como se ha expuesto este fenómeno se relaciona con un deterioro de la pulpa y una tendencia a desarrollar translucencia debido, probablemente, al proceso de madurez o senescencia (Capítulo 1, Sección 3.2.2.). No obstante, los valores de L\* e IB fueron superiores a los necesarios para mostrar daño por translucencia (Apartado general de Materiales y Métodos, Sección 2.6.).

**Tabla 2.6.** Separación de medias de distintos parámetros de color (en pulpa y zumo) y pérdidas de peso de melón Amarillo procesado en secciones y conservado 14 días a 5°C cuando el factor tiempo fue significativo.

	<b>IB Pulpa</b>	<b>L* pulpa</b>	<b>Croma pulpa</b>	<b>Croma zumo</b>	<b>Pérdidas peso (%)</b>
<b>Inicial</b>	70,3 <sup>z</sup> a	73,0 a	12,2 a	1,9 a	0 b
<b>7 días</b>	70,1 a	72,4 a	11,8 ab	1,7 ab	0,04 a
<b>10 días</b>	69,9 a	72,0 ab	11,2 bc	1,6 b	0,05 a
<b>14 días</b>	68,4 b	71,2 b	10,8 c	1,5 b	0,06 a

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 2.5) por la prueba de LSD.

Para Portela *et al.* (1997), la L\* de cilindros de Cantaloupe a 5°C disminuyó con el tiempo de conservación sin diferencias entre las AC, pero éstas sí fueron eficaces para mantener el Croma. Así mismo, Portela y Cantwell (1998) observaron que la AC reducía la disminución del croma en tres variedades de las cuatro estudiadas en Honeydew, así como, frenaba la disminución de L\* en todas las variedades. Rattanapanone *et al.* (2001) también encontraron en mango mínimamente procesado una reducción en L\* que aumentaba con el tiempo de conservación si la atmósfera era de aire pero no cuando se mantenía en 2 kPa O<sub>2</sub> ó 4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> tanto a 5 como a 10°C. Holcroft y Kader (1999) también consiguieron una mayor retención de L\* en AC de 0,5 kPa O<sub>2</sub>, 2 kPa O<sub>2</sub> + 20 kPa CO<sub>2</sub>, 0,5 kPa O<sub>2</sub> + 20 kPa CO<sub>2</sub> ó 20 kPa CO<sub>2</sub> en fresa tras 10 días a 5°C. Sin embargo, Gorny *et al.* (2002) encontraron un mayor pardeamiento (disminución de L\*) en rodajas de pera conservadas a 5°C en aire con 10 kPa o 20 kPa CO<sub>2</sub>.

En nuestro caso, ambas AC sólo evitaron la disminución en la saturación (Croma) de la pulpa (Tabla 2.7).

#### 2.3.2.4. Pérdidas de peso.

Conforme avanzó la conservación las escasas pérdidas de peso aumentaron aunque sin diferencias significativas entre las tres salidas (Tabla 2.6). En el día 7 un 0,04% mientras que al

final de la conservación llegaron a 0,06%. La AC contribuyó a frenarlas alcanzando tan sólo 0,03% bajo 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> y 0,05% en aire (Tabla 2.7) debido probablemente, a una mayor pérdida de CO<sub>2</sub> procedente de una respiración más intensa en aire (Izumi *et al.*, 1996).

**Tabla 2.7.** Separación de medias del aroma, firmeza, índice de blancura y pérdidas de peso de melón Amarillo procesado en secciones y conservado 14 días a 5°C cuando el factor tiempo fue significativo.

	<b>Aroma (1 - 9)</b>	<b>Firmeza (N)</b>	<b>Croma pulpa</b>	<b>Pérdidas peso (%)</b>	<b>SST (°Brix)</b>
<b>Aire</b>	5,8 <sup>z</sup> b	10,72 b	10,5 b	0,05 a	9,9 b
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	6,8 a	11,13 ab	11,3 a	0,03 b	10,1 ab
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	7,1 a	11,72 a	12,0 a	0,04 ab	10,3 a

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 2.5) por la prueba de LSD.

No obstante, sea cual sea la atmósfera siempre habrá unas pérdidas de peso por deshidratación ya que los productos procesados en fresco no poseen ninguna barrera para protegerse de ella (Brecht, 1995). Además, en el procesado se incrementa la superficie y se exponen directamente los tejidos internos a la atmósfera, aumentando la velocidad de evaporación del agua (García y Barrett, 2002).

### 2.3.2.5. SST y azúcares.

En función del tratamiento gaseoso, los SST variaron en mayor o menor medida (Tabla 2.8). Así, atmósferas de alto CO<sub>2</sub> y bajo O<sub>2</sub> frenaron su consumo ya que frenaron la respiración (Figura 2.1). En el aire se apreció una disminución significativa en los SST debido a la mayor respiración de las secciones. No hay diferencias significativas entre aire y aire + 15 kPa CO<sub>2</sub>, a pesar de las diferentes tasas respiratorias encontradas en una y otra atmósfera, tampoco se observaron diferencias significativas entre ésta y la de alto CO<sub>2</sub> y bajo O<sub>2</sub> aunque en este caso era de esperar ya que las tasas respiratorias fueron similares.

Portela *et al.* (1997), encontraron una mayor concentración de SST en AC que en aire a 5°C tras 9 días (10,2 frente a 9,1°Brix). Para Qi *et al.* (1999) y Portela y Cantwell (1998) los SST disminuyeron ligeramente con la conservación pero sin diferencias entre tratamientos. Ningún cambio se observó en los SST en cilindros de Cantaloupe conservados en aire y AC a 7,5°C, pero cuando la temperatura ascendía a 15°C, las AC frenaban la disminución de SST con respecto al aire (Madrid y Cantwell, 1993).

**Tabla 2.8.** Influencia del tiempo y de la atmósfera en los SST y contenido de azúcares de melón Amarillo procesado en secciones y conservado 14 días a 5°C.

Tiempo	Tipo AC	SST	Fructosa	Glucosa	Sacarosa
<b>Inicial</b>		10,3 <sup>z</sup>	19,66	21,40	54,08
<b>7 días</b>	<b>Aire</b>	9,9	19,27	20,97	52,13
	<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	10,1	19,35	21,99	53,36
	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	10,4	21,92	25,41	53,44
<b>10 días</b>	<b>Aire</b>	9,7	20,81	23,40	45,48
	<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	9,8	20,56	22,94	49,32
	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	10,2	21,41	23,95	53,95
<b>14 días</b>	<b>Aire</b>	9,6	22,13	24,24	42,22
	<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	10,0	23,14	25,80	48,58
	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	10,3	23,17	26,08	49,19
<b>Tiempo</b>		NS	(2,14) <sup>b</sup>	(2,43) <sup>b</sup>	(4,94) <sup>b</sup>
<b>AC</b>		(0,3) <sup>a</sup>	NS	NS	(3,16) <sup>a</sup>
<b>Tiempo x AC</b>		NS	NS	NS	(11,46) <sup>a</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: contenido en sólidos solubles (°Brix). Fructosa, glucosa, sacarosa (gL<sup>-1</sup>).

Al analizar la evolución de los tres azúcares principales, sacarosa, glucosa y fructosa, en concordancia con Chachin y Iwata (1988), Cohen y Hicks (1986), Lamikanra *et al.* (2000) y Portela y Cantwell (2001) en otros tipos varietales, se observa un significativo aumento de los monosacáridos conforme avanza la conservación, acompañado de una disminución en la sacarosa. Así en el día 14 los niveles de glucosa y fructosa fueron mayores que los iniciales (Tabla 2.9). No hemos encontrado bibliografía sobre la evolución de los azúcares durante la conservación de melón Amarillo, que se expone aquí por primera vez.

Holcroft y Kader (1999) observaron en fresa un disminución en sacarosa acompañada de un incremento en glucosa y fructosa, menos obvio en aire que en AC tras 10 días de conservación a 5°C. En nuestro caso, también se observa un mayor aumento en la concentración de los monosacáridos en AC pero no fue significativo (Tabla 2.8). La reducción en la sacarosa se apreció en todos los tratamientos pero sólo fue significativa en los últimos días de conservación en aire (Tabla 10), dado que, la mayor actividad metabólica de las piezas de melón en aire demanda más energía que consigue a través de la glucólisis una vez hidrolizada la sacarosa. Un comportamiento similar fue comentado en el Capítulo 1 (Sección 1.3.3.6.).

**Tabla 2.9.** Separación de medias del aroma, firmeza, fructosa, glucosa, ácido málico y ácido ascórbico de melón Amarillo procesado en secciones y conservado 14 días a 5°C cuando el factor tiempo fue significativo.

	<b>Aroma</b> <b>(1 - 9)</b>	<b>Firmeza</b> <b>(N)</b>	<b>Fructosa</b>	<b>Glucosa</b>	<b>Málico</b>	<b>Ascórbico</b>
<b>Inicial</b>	7,5 <sup>z</sup> a	15,11 a	19,66 b	21,40 b	0,04 a	9,99 a
<b>7 días</b>	6,8 ab	10,40 b	20,18 b	22,79 b	0,03 ab	6,96 b
<b>10 días</b>	6,3 bc	9,84 b	20,92 ab	23,43 ab	0,02 b	6,19 b
<b>14 días</b>	5,6 c	9,40 b	22,81 a	25,37 a	0,02 b	5,25 b

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tablas 2.3; 2.5; 2.8 y 2.11) por la prueba de LSD. Fructosa, glucosa: (g L<sup>-1</sup>). Málico: g · 100 mL<sup>-1</sup>. Ascórbico: g · 100 mL<sup>-1</sup>.

Amanatidou *et al.* (2000) observaron, después de 12 días a 8°C, una reducción en el contenido de sacarosa en la zanahoria procesada conservada en aire ó 90 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>. Sin embargo, AC de 50 ó 70 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> ó 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> mantuvieron más del 60% del contenido inicial de sacarosa. Carlin *et al.* (1990) encontraron una buena retención de sacarosa en presencia de 2 ó 10 kPa O<sub>2</sub> con 10 ó 40 kPa CO<sub>2</sub> pero Howard y Dewi (1996) no encontraron diferencias en el contenido de azúcar utilizando o no películas comestibles.

**Tabla 2.10.** Interacción (tiempo x AC) de sacarosa de melón Amarillo procesado en secciones y conservado 14 días a 5°C.

	<b>Sacarosa (g L<sup>-1</sup>)</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>7d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Aire</b>	54,08 <sup>z</sup> Aa	52,13 ABa	45,48 ABa	42,22 Ba
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	54,08 Aa	53,36 Aa	49,32 Aa	48,58 Aa
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	54,08 Aa	53,44 Aa	53,95 Aa	49,19 Aa

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 2.8) por la prueba de LSD.

### 2.3.2.6. pH, AT y ácidos orgánicos.

Para cada periodo de conservación, se observó en las muestras conservadas en aire, frente a las de AC, una disminución del pH acompañada de una mayor AT. La evolución del pH

y AT a lo largo de la conservación no tuvo un comportamiento regular; en el día 10, el pH bajó en todas las muestras, para aumentar en el día 14 (Tabla 10). Babic y Watada (1996) en espinacas procesadas a 5°C observaron un aumento en el pH con la conservación pero sin diferencias entre AC y aire. En fresa procesada también el pH aumentó con la conservación y especialmente en AC con elevado CO<sub>2</sub> (Holcroft y Kader, 1999; Wright y Kader, 1997a). Respuestas contrarias, obtuvieron Izumi *et al.* (1996) en bastones de zanahorias ó Qi *et al.*, (1999) en cilindros de Honeydew, ambos bajo AC. Además, estos autores observaron un descenso más notable en aire. Wright y Kader (1997b) hallaron un descenso en el pH de rodajas de melocotón al quinto día a 5°C pero posteriormente aumentó a valores cercanos a los iniciales en el día 7, en ambos periodos sin diferencias entre aire y 2 kPa O<sub>2</sub>, aire + 12 kPa CO<sub>2</sub> y 2 kPa O<sub>2</sub> + 12 kPa CO<sub>2</sub>. Luego, la variación del pH durante cortos periodos de tiempo en productos procesados en fresco es aún desconocida (Rattanapanone *et al.*, 2001).

Según Bown (1985), Kader (1986), Siriphanich y Kader (1986), Ke *et al.*, (1993) y Holcroft y Kader (1999), el CO<sub>2</sub> puede influir en la disminución del pH celular, debido a la disociación de ácido carbónico a bicarbonato e iones hidrógenos. Este cambio en el pH puede regular la ruta glicolítica al influir en la disminución de la actividad de la fosfofructoquinasa (acumulándose fructosa 6-fosfato en detrimento de fructosa 1,6-bifosfato (Kerbel *et al.*, 1988). La acidificación también puede alterar el ciclo de Krebs al disminuir la actividad de la succinato deshidrogenasa, inhibiéndose la oxidación de succinato a fumarato, acumulándose succinato y, por tanto, disminuyendo la concentración de malato (Frenkel y Patterson, 1973; Ke *et al.*, 1993; Shipway y Bramlage, 1973; Wager, 1974). Sin embargo, Buescher y Adams, (1983) observaron que el CO<sub>2</sub> provocaba un aumento en el pH, probablemente por la disminución de ácido málico.

Nuestros resultados (Tabla 2.12) no respaldan estas hipótesis ya que la concentración en ácido málico junto con la de ácido ascórbico sólo dependió del tiempo, y ambos disminuyeron con la conservación (Tabla 2.9). Sin embargo, sí se observó una reducción en el contenido de ácido cítrico en AC. Posiblemente, el descenso en AT de estas muestras frente al testigo, en particular con 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>, se debió a la reducción de este ácido que, además, fue acompañada de un menor consumo en sacarosa (Tabla 2.10). En cambio, bajo aire presentó una mayor AT debido al mantenimiento de la concentración en ácido cítrico (Tabla 2.12), a expensas de una reducción significativa en la sacarosa y los monosacáridos correspondientes (Tabla 2.8).

Como ya hemos mencionado, los ácidos orgánicos determinados en el melón “Amarillo”, fueron málico, ascórbico y cítrico. Lamikanra *et al.* (2000) detectó en Cantaloupe oxálico, cítrico, málico y succínico junto con variables cantidades de otros ácidos como malónico, fórmico y glicótico.

**Tabla 2.11.** Influencia del tiempo y atmósfera controlada (AC) en el pH, AT y ácidos orgánicos de melón Amarillo procesado en secciones y conservado 14 días a 5°C.

Tiempo	Tipo AC	pH	AT	Málico	Ascórbico	Cítrico
<b>Inicial</b>		5,59	0,10	0,04	9,99	0,13
<b>7 días</b>	<b>Aire</b>	5,49	0,13	0,04	7,97	0,13
	<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	5,68	0,09	0,02	6,90	0,13
	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	5,71	0,09	0,03	6,02	0,12
<b>10 días</b>	<b>Aire</b>	5,25	0,14	0,03	6,44	0,13
	<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	5,54	0,10	0,02	6,17	0,13
	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	5,65	0,09	0,02	5,96	0,11
<b>14 días</b>	<b>Aire</b>	5,54	0,12	0,02	5,93	0,12
	<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	5,61	0,11	0,03	5,71	0,13
	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	5,70	0,08	0,02	4,10	0,08
<b>Tiempo</b>		(0,07) <sup>c</sup>	NS	(0,01) <sup>c</sup>	(1,83) <sup>a</sup>	(0,02) <sup>b</sup>
<b>AC</b>		(0,06) <sup>c</sup>	(0,02) <sup>c</sup>	NS	NS	(0,13) <sup>c</sup>
<b>Tiempo x AC</b>		(0,11) <sup>c</sup>	(0,03) <sup>c</sup>	NS	NS	(0,02) <sup>a</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>). Málico y cítrico (g · 100 mL<sup>-1</sup>), ascórbico (mg · 100mL<sup>-1</sup>).

Coincidiendo con Flores (2001) y Lamikanra *et al.* (2000), cítrico y málico fueron los ácidos predominantes. Flores (2001) obtuvo en Cantaloupe unos valores de cítrico y de málico ligeramente superiores a los nuestros. Estas concentraciones, determinadas en pulpa en el día 41 después del cuaje, oscilaron entre 0,18 a 0,26 de cítrico y 0,05 g·100g<sup>-1</sup> de málico mientras que Lamikanra *et al.* (2000) encontraron cantidades mucho menores en el procesado en fresco conservado a 4°C, de 4,84 a 3,02 de ácido cítrico y 5,07 a 7,11 μmol·100 g<sup>-1</sup> de málico. Las concentraciones de cítrico en Cantaloupe determinadas por Souci *et al.* (1986) fueron de 0,08 g·100g<sup>-1</sup>, valores más cercanos a los encontrados en este trabajo.

Respecto al ácido ascórbico, Souci *et al.* (1986) determinaron 32 mg·100g<sup>-1</sup> y Eitenmiller *et al.* (1985) cuantificaron entre 21 y 27 mg·100g<sup>-1</sup> en Honeydew y Cantaloupe, respectivamente. En la Tabla 2.11, observamos valores más bajos a los mencionados por estos investigadores, probablemente debido a la rápida oxidación de este ácido a dihidroascórbico por acción de la luz, elevadas temperaturas, etc. No obstante, advertimos que la técnica utilizada en la determinación de este ácido, no es la más adecuada pero sí es útil para observar el comportamiento según el tipo de tratamiento.

**Tabla 2.12.** Interacción (tiempo x AC) del pH, AT y ácido cítrico de melón Amarillo procesado en secciones y conservado 14 días a 5°C.

<b>pH</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>7d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Aire</b>	5,59 <sup>z</sup> Aa	5,49 Ba	5,25 Bc	5,54 Ab
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	5,59 ABa	5,68 Aa	5,54 Bb	5,61 ABab
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	5,59 Ba	5,71 Aa	5,65 ABa	5,70 Aa
<b>AT</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>7d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Aire</b>	0,10 Ba	0,13 ABa	0,14 Aa	0,12 Ba
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	0,10 Ba	0,09 Ab	0,10 Ab	0,11 Aa
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	0,10 Aa	0,09 Ab	0,09 Ab	0,08 Ab
<b>Cítrico</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>7d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Aire</b>	0,13 Aa	0,13 Aa	0,13 Aa	0,12 Aa
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	0,13 Aa	0,13 Aa	0,13 Aa	0,13 Aa
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>	0,13 Aa	0,12 Aa	0,11 Aa	0,08 Bb

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 2.8) por la prueba de LSD. AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>). Cítrico: g · 100 mL<sup>-1</sup>.

### 2.3.3. Análisis microbiológico.

Por los recuentos microbiológicos encontrados (Tabla 2.13) no es posible en melón Amarillo procesado en fresco una vida útil de 14 días conservado en aire, ya que las unidades log de mohos superan a las legisladas (3 log UFC·g<sup>-1</sup>) para este tipo de producto.

Atmósferas enriquecidas en CO<sub>2</sub> combinadas o no con bajos niveles de O<sub>2</sub> redujeron el crecimiento de hongos, mesófilos y psicrotrofos, como encontraron Carlin y Nguyen-the, (1994) en endivia o Berrang *et al.* (1990) en brócoli. El efecto del alto CO<sub>2</sub> se ve aumentado con la reducción en el nivel de O<sub>2</sub>, como observaron Babic y Watada (1996) en espinaca, Izumi *et al.* (1996) en zanahoria, Portela *et al.* (1997) en Cantaloupe, Qi *et al.* (1999) en Honeydew y Rattanapanone *et al.* (2001) en mango. Las atmósferas con sólo bajo O<sub>2</sub> inhiben en menor proporción el crecimiento microbiano (Portela *et al.*, 1997).

En este trabajo la aplicación de ambas AC permitieron alcanzar en melón procesado una vida útil de 14 días a 5°C. La reducción encontrada entre las AC y el aire (4,7 UFC·g<sup>-1</sup> para mesófilos y 6,6 UFC·g<sup>-1</sup> en psicrófilos) fue de unas 2 unidades log en las bacterias y como

mínimo entre 1,8 y 1,2 en levaduras y mohos, ya que los recuentos tras 14 días fueron inferiores a 2. Salvo los hongos en AC que no se desarrollaron durante la conservación, en el resto de tratamientos los recuentos microbianos aumentaron con el tiempo, especialmente en aire.

**Tabla 2.13.** Recuentos microbiológicos (log UFC·g<sup>-1</sup>) de melón Amarillo procesado en secciones y conservado en aire o atmósfera controlada durante 14 días a 5°C.

<b>Mesófilos</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>7d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Aire</b>	1,4 <sup>z</sup> ± 0,1	2,2 ± 0,4	4,3 ± 0,3	4,7 ± 0,4
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>		1,6 ± 0,2	1,7 ± 0,1	2,4 ± 0,3
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>		1,5 ± 0,2	2,4 ± 0,1	2,7 ± 0,2
<b>Psicrotrofos</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>7d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Aire</b>	<1	2,2 ± 0,2	4,1 ± 0,5	6,6 ± 0,4
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>		<1	1,5 ± 0,1	3,9 ± 0,2
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>		<1	2,1 ± 0,5	3,3 ± 0,1
<b>Levaduras</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>7d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Aire</b>	<2	<2	2,8 ± 0,2	3,8 ± 0,1
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>		<2	<2	<2
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>		<2	<2	<2
<b>Mohos</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>7d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Aire</b>	<2	<2	1,36 ± 0,2	3,2 ± 0,2
<b>Aire + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>		<2	<2	<2
<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub></b>		<2	<2	<2

<sup>z</sup> Media (n = 5) ± error estándar.

Portela *et al.* (1997) lograron una reducción bacteriana de hasta 6 unidades log con 3 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> en cilindros de Cantaloupe frente a 1,3 unidades obtenidas por Qi *et al.* (1999) con 2 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> en Honeydew. Artés *et al.* (2002) en bastones de apio conservados a 5°C lograron reducir 0,8 unidades log el crecimiento de mesófilos (4 ± 0,5) con 5 kPa O<sub>2</sub> y 5 kPa CO<sub>2</sub>, en cambio el crecimiento de psicrotrofos fue mayor en esta AC (6,3 ± 0,1) que en aire (5,6

$\pm 0,2$ ) después de 21 días. Otros recuentos microbiológicos obtenidos por distintos autores en productos procesados en fresco en AC a 5°C se expusieron en la Introducción general (Tabla 9).

#### 2.3.4. Vida útil.

Desde el punto de vista microbiológico es posible una vida útil de 10 días en melón Amarillo procesado en fresco a 5°C y en atmósfera de aire, aunque consideramos estos recuentos excepcionalmente bajos ya que en otros ensayos (Capítulo 3) fueron mayores y no permitieron una vida comercial tan larga. Si a esto añadimos que, tras este periodo la calidad global rozó el límite de comercialización (5,1) podemos fijar como vida útil del melón Amarillo procesado en fresco en aire y a 5°C un valor inferior a 10 días (pero superior a 7 días).

Puede conseguirse tanto microbiológicamente como sensorialmente con el uso de AC, una vida útil de 14 días. Como observó Izumi *et al.*, (1996) y se constata en este trabajo, si las AC consiguieron una fuerte reducción en la respiración, la vida útil del producto conservo bajo AC debería teóricamente aumentar en una proporción similar, siempre y cuando no haya excesiva contaminación microbiana.

#### 2.4. CONCLUSIONES.

La conservación en AC (3 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> ó aire + 15 kPa CO<sub>2</sub>) permitió alcanzar una vida útil de 14 días a 5°C en melón Amarillo procesado en secciones trapezoidales. Éstas redujeron la tasa respiratoria (entre un 39 y un 48%) y la emisión de etileno (un 90%), el ablandamiento, consumo de sólidos solubles, las pérdidas de peso y el crecimiento microbiano. Además con estas AC se obtuvo una mejor calidad sensorial con respecto al aire. No se apreciaron diferencias significativas entre ambas AC, salvo que 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> consiguió frenar algo más el ablandamiento que aire + 15 kPa CO<sub>2</sub> y logró una mayor reducción en la tasa respiratoria.

Las diferencias entre aire y AC aumentan conforme se prolongaba la conservación, en particular a partir del día 10. La aplicación de AC sólo se justifica para alcanzar una mayor vida comercial, ya que es posible conservar melón procesado en aire a 5°C durante 7 días, aunque las AC mejorarían su calidad tanto sensorial como microbiológica.

La definición de la composición de la atmósfera que induce una buena calidad en el melón procesado en fresco, permitirá diseñar un EAM adecuado para obtener, de manera práctica, los beneficios de la AC sobre este producto procesado en fresco.

### **Capítulo 3. ELECCIÓN DEL TIPO DE PLÁSTICO IDÓNEO EN LA CONSERVACIÓN DE MELÓN PROCESADO EN FRESCO A 5°C**

#### **3.1. INTRODUCCIÓN.**

Según las recomendaciones de Gorny (1997; 2001b) y los resultados del Capítulo anterior, atmósferas con bajo O<sub>2</sub> y elevado CO<sub>2</sub> reducen la incidencia del deterioro, ablandamiento, pérdida de aroma y SST, manteniendo una óptima apariencia en melón procesado en fresco conservado entre 0 y 5°C.

Para un producto dado, de peso conocido y a una determinada temperatura, la selección de un plástico idóneo es fundamental para poder alcanzar las concentraciones gaseosas establecidas. Uno de los más utilizados es el PP, aunque el problema de cualquier plástico utilizado en el EAM radica en su amplio rango de permeabilidades, reflejando la gran variabilidad en las medidas y en la fabricación y entre fabricantes, e incluso entre lotes del mismo fabricante (Cameron *et al.*, 1995; Kader *et al.*, 1989). Además, la mayoría de datos de permeabilidad se ofrecen a una sola temperatura y a una baja humedad relativa (85%) (Kader y Watkins, 2000).

Por otra parte la temperatura nunca es constante en la cadena de distribución. Temperaturas mayores a 10°C pueden encontrarse durante el transporte y descarga de los productos en los supermercados, almacenamiento y muebles o vitrinas de venta e incluso en los frigoríficos domésticos (Jacxsens *et al.*, 1999). Además, suceden fluctuaciones entre los distintos productos colocados en diferentes partes del expositor frigorífico (LeBlanc *et al.*, 1996). Para evitar que estas situaciones den lugar a condiciones no anóxicas Jacxsens *et al.* (2002) utilizaron plásticos de elevada permeabilidad. Existen en el mercado plásticos microperforados, de elevada permeabilidad, utilizados con el objetivo de mantener condiciones aeróbicas para productos con elevada tasa respiratoria o cuando existan riesgos de temperaturas elevadas (rotura de la cadena de frío). Pero estos plásticos son relativamente caros, permiten pérdidas de humedad y aroma y el ingreso de microorganismos en los envases sellados durante situaciones de condensación (Day, 2001).

Por otro lado, al seleccionar un plástico, además de tener en cuenta la permeabilidad a los gases hay que fijarse en la protección que suministra, la resistencia, soldadura, que sea inerte, barato, fácil de usar, práctico, reciclable, transparente adaptable a la maquinaria y etiquetado (Artés, 2000a; Cameron *et al.*, 1995; Myers, 1989; Phillips, 1996; Zagory, 1996). Con la orientación (uniaxial) se produce una mayor resistencia de la película en dirección a la tensión aplicada, pero no en sentido transversal. La orientación biaxial aumenta la resistencia en ambas

direcciones, pero la orientación de una película plástica altera su permeabilidad a los gases y vapor de agua (Schlimme y Rooney, 1997).

Para conocer el comportamiento de la gama de PP, se estudiaron los más comunes, PP microperforado, PP orientado y PP biorientado, para lograr una atmósfera modificada pasiva idónea en el melón procesado.

Además, se estudiará el efecto de un baño de ácido cítrico ya que la incorporación de este ácido durante el lavado de algunos productos procesados ha mejorado la apariencia y prolongado la vida útil de zanahorias (Amanatidou *et al.*, 2000; Howard y Dewi, 1996; Kato-Noguchi y Watada, 1997), coles chinas (Kim y Klieber, 1997) y semillas de granada (Gil *et al.*, 1996). Además redujo la contaminación microbiana en lechuga procesada (Adams *et al.*, 1989) e higo chumbo (Sáenz *et al.*, 2001), y tuvo cierto efecto sobre el ablandamiento (Amanatidou *et al.*, 2000).

Por todo lo expuesto, en el presente trabajo se plantea estudiar y seleccionar un plástico idóneo para el EAM del melón procesado en fresco conservado a 5°C. Además, se comprobará la efectividad del cítrico en este producto.

## 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 3.2.1. Material vegetal.

El material vegetal estuvo compuesto por melones Amarillo de la variedad “Doral”, recolectados a primeros de agosto en el Campo de Cartagena (Murcia). Los frutos se seleccionaron en función de su tamaño y coloración externa, descartándose aquellos que presentaban lesiones por golpes y/o rozaduras o alteraciones. De la selección se tomó al azar una muestra de 20 melones a los que se determinó el peso, los diámetros ecuatorial y polar, así como el color de su epidermis (Tabla 3.1).

**Tabla 3.1. Caracterización inicial (peso, calibres y color de la epidermis) del melón Amarillo “Doral”.**

Peso (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)	Color		
			L*	°H	Croma
1763,6 <sup>z</sup> ± 64,5 g	13,4 ± 0,1	18,5 ± 0,3	81,3 ± 0,1	88,6 ± 0,01	58,30 ± 0,20

<sup>z</sup>Media (n = 20) ± error estándar.

### 3.2.2. Preparación de la muestra.

#### 3.2.2.1. Materia prima.

El procesado en secciones trapezoidales se realizó como se ha descrito en el Capítulo 1, (sección 1.2.2.). Las dimensiones de las secciones trapezoidales fueron (media  $\pm$  error estándar),  $3,3 \pm 0,6 \times 4,5 \pm 0,5 \times 3,9 \pm 0,1$  cm.

Para obtener una óptima apariencia, todos los restos de placenta deben ser eliminados ya que tiene tendencia a pardear, utilizando cuchillos afilados que permitan la adecuada separación de la pulpa y la placenta. Además, para la obtención de un adecuado lavado (Kabir, 1994; Wiley, 1997) y evitar el pardeamiento (Beck 1992; Dziezak, 1988; Kravitz, 1994) de posibles restos de placenta, se utilizó ácido cítrico anhidro a las concentraciones recomendadas por los distintos autores ( $100$  a  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) con más del 99,5% de pureza (Panreac, Barcelona, España).

Un único lote de melón procesado fue sumergido en este baño clorado con ácido cítrico durante 30 s. Las condiciones de este último baño fueron  $0,52 \text{ mM}$  ( $0,01\%$  ó  $0,1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) de ácido cítrico en una disolución clorada ( $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaOCl}$ , pH 6,40 a  $5^\circ\text{C}$ ).

#### 3.2.2.2. Envasado en atmósfera modificada.

##### 3.2.2.2.1. Diseño del envase.

Como se ha explicado en el apartado de diseño de un EAM de la Introducción General (Sección 6.2.2.2.) las ecuaciones que rigen el equilibrio en la transferencia de gases de un envase herméticamente cerrado son:

$$J_{\text{CO}_2 \text{ membrana}} = J_{\text{CO}_2 \text{ fruto}} \Rightarrow P_{\text{CO}_2} \cdot A \cdot (p_1 - p_2) = R_{\text{CO}_2} \cdot W$$

$$J_{\text{O}_2 \text{ membrana}} = J_{\text{O}_2 \text{ fruto}} \Rightarrow P_{\text{O}_2} \cdot A \cdot (p_2 - p_1) = R_{\text{O}_2} \cdot W$$

donde,

$P$  = Permeabilidad ( $\text{mL} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$ )

$J$  = flujo del gas que fluye a través de la película ( $\text{mL} \cdot \text{día}^{-1}$ )

$A$  = superficie permeable ( $\text{m}^2$ )

$TR$  = Tasa respiratoria del fruto ( $\text{mL} \cdot \text{Kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )

$W$  = Peso del fruto ( $\text{Kg}$ )

$p_1$  = presión parcial del gas en lado 1 de película, en el interior del envase (recomendada en atmósferas)

$p_2$  = presión parcial del gas en lado 2 de película, en el exterior del envase (atmósferas)

Los productos procesados en fresco se presentan predominantemente en bolsas, en especial para el envasado de hortalizas, en particular, de hoja debido a su poca susceptibilidad a los golpes, pero las necesidades de los consumidores hacen que se impongan con fuerza las barquetas, cuyos formatos incluyen, además de los ingredientes, los utensilios necesarios para que puedan ser consumidos en cualquier lugar. Además, al tratarse de una fruta el recipiente debe ser rígido o semirígido ofreciendo una óptima protección al mismo.

El peso del producto que se alojará en estos envases será el equivalente a dos tajadas, es decir, unos 200 g, cantidad que se estima suficiente para saciar a un consumidor medio. Se seleccionaron tarrinas de 0,7 L de volumen con unas dimensiones de 17,5 x 12 cm ya que presentaron las dimensiones idóneas para contener la masa citada. Este diseño es proporcional al desarrollado por Mercadona que utilizan recipientes cóncavos (“bowl”), rígidos e impermeables de 12 cm de diámetro, termosoldados en la cara superior con un polímero permeable de área 100 cm<sup>2</sup> y que contienen 100 g de melón procesado en cubos.

Las atmósferas recomendadas por Gorny (1997, 2001b) para melón procesado son de 3-5 kPa O<sub>2</sub> + 6-15 kPa CO<sub>2</sub>, además, en el Capítulo anterior, se comprobó que 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> redujeron el ablandamiento y la actividad microbiana permitiendo alcanzar una vida útil del melón Amarillo en secciones de 14 días a 5°C.

A continuación se esquematizan las incógnitas concretadas.

$$A = 0,021 \text{ m}^2$$

TR = 3,43 mL · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup> (promedio de la obtenida en el Capítulo anterior bajo atmósfera de aire (4,75) y bajo 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> (2,1 mL · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>) ya que esta concentración no se alcanzará desde el inicio del envasado.

$$W = 0,2 \text{ Kg}$$

$$p_1 \text{CO}_2 = 0,06 \text{ ó } 0,15 \text{ atm} = 6\text{-}15 \text{ kPa CO}_2.$$

$$p_2 \text{CO}_2 = 0,0003 \approx 0$$

$$p_1 \text{O}_2 = 0,03 \text{ ó } 0,05 \text{ atm} = 3 \text{ ó } 5 \text{ kPa O}_2.$$

$$p_2 \text{O}_2 = 0,21$$

Con los datos mencionados y despejando P en la ecuación anterior pasamos a calcular la permeabilidad del plástico al CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

#### Permeabilidad al CO<sub>2</sub> a 5°C.

♦ Permeabilidad máxima ⇒ p<sub>1</sub>CO<sub>2</sub> = 0,06.

$$P_{\text{CO}_2} = R_{\text{CO}_2} \cdot W \cdot A^{-1} \cdot (p_1 - p_2)^{-1} \Rightarrow \text{Sustituyendo y expresándolo en día.}$$

$$P_{CO_2} = 24 \text{ h} \cdot \text{día}^{-1} \cdot 3,43 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,2 \text{ Kg} \cdot 0,021 \text{ m}^{-2} \cdot (0,06 - 0) \text{ atm}^{-1}$$

$$P_{CO_2} = 13.066 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$$

♦ Permeabilidad mínima  $\Rightarrow p_1CO_2 = 0,15$ .

$$P_{CO_2} = 24 \text{ h} \cdot \text{día}^{-1} \cdot 3,43 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,2 \text{ Kg} \cdot 0,021 \text{ m}^{-2} \cdot (0,15 - 0) \text{ atm}^{-1}$$

$$P_{CO_2} = 5.226 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$$

Luego, a una temperatura de 5°C  $\Rightarrow P_{CO_2} = 13.066-5.226 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$

De la misma forma, se calcula la permeabilidad del plástico al O<sub>2</sub>. Dado que no se dispone de la TR en función de absorción de O<sub>2</sub>, se asume que es igual a la TR en función del CO<sub>2</sub>, es decir, un QR igual a la unidad. Este cociente es uno si los sustratos respiratorios son carbohidratos, dado que la combustión completa de un mol de hexosa consume 6 moles de O<sub>2</sub> y produce 6 moles de CO<sub>2</sub> (Artés, 2000a; Fonseca *et al.*, 2002).

#### Permeabilidad al O<sub>2</sub> a 5°C.

♦ Permeabilidad máxima  $\Rightarrow p_1O_2 = 0,05$ .

$$P_{O_2} = R_{O_2} \cdot W \cdot A^{-1} \cdot (p_2 - p_1)^{-1} \Rightarrow \text{Sustituyendo y expresándolo en día.}$$

$$P_{O_2} = 24 \text{ h} \cdot \text{día}^{-1} \cdot 3,43 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,2 \text{ Kg} \cdot 0,021 \text{ m}^{-2} \cdot (0,21 - 0,05) \text{ atm}^{-1}$$

$$P_{O_2} = 4.900 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$$

♦ Permeabilidad mínima  $\Rightarrow p_1O_2 = 0,03$ .

$$P_{O_2} = 24 \text{ h} \cdot \text{día}^{-1} \cdot 3,43 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,2 \text{ Kg} \cdot 0,021 \text{ m}^{-2} \cdot (0,21 - 0,03) \text{ atm}^{-1}$$

$$P_{O_2} = 4.355 \text{ mL O}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$$

Luego, a una temperatura de 5°C  $\Rightarrow P_{O_2} = 4.355-4.900 \text{ mL O}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$

En consecuencia, el plástico a seleccionar debe poseer una  $P_{CO_2} = 5.226-13.066 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$  y una  $P_{O_2} = 4.355-4.900 \text{ mL O}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$ . El coeficiente de selectividad  $\beta$  (CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>) debe oscilar entre 2,7 y 1,2.

En la Tabla 11 de la Sección 6.2.2.3. de la Introducción general, se ofrecen las distintas permeabilidades a 0°C de los plásticos más utilizados en el EAM. Según esta Tabla el PP con una  $P_{CO_2} = 7.920 - 12.000 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$  y  $P_{O_2} = 1.931-1.904 \text{ mL O}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$  y un  $\beta = 4,1 - 6,3$ .

Hay que señalar que estas permeabilidades son para un espesor de 25 mm y a 0°C. Como el ensayo se realizará a 5°C las permeabilidades citadas se incrementarán ligeramente. La ventaja de utilizar este polímero es por su coeficiente de permeabilidad al O<sub>2</sub> relativamente alto y ser fácilmente termosoldable a barquetas del mismo material, habitualmente utilizadas como envase de productos procesados.

### 3.2.2.2.2. Envasado.

El melón procesado se barquetas de PP de 0,75 L (modelo CLTP750E 800, Plásticos de Alzira S.A., Valencia, España), de forma que cada una contenía 20 piezas de melón, una procedente de cada uno de los melones. Así se aseguró la completa aleatoriedad de las muestras. Cada cesta, cuyo peso osciló entre 185 y 200 g, constituyó una réplica. Posteriormente, las cestas se termosellaron (Barket, Befor Model, Chassieu, France) en su perímetro superior con diferentes películas de PP con tratamiento antivaho. Tras el sellado, la superficie de intercambio gaseoso de la cesta, fue de 17,5 x 12 cm.

Los tratamientos de EAM consistieron en la utilización de tres tipos comerciales de plástico:

- PPO microperforado (PPM) de 35 µm de espesor (Danisco Flexible, Tipo 160, Bristol, Reino Unido).
- PPB de 40 µm (Plásticos del Segura, S.L., Murcia).
- PPO 35 µm (Plásticos del Segura, S.L., Murcia).

El procesado acidificado con cítrico se envasó con PPO, tratamiento denominado PPO + C. Como testigo se utilizó un PP macroperforado con 9 orificios de 9,5 mm diámetro ·dm<sup>-2</sup> repartidos en series de tres en toda la superficie.

Las cestas se conservaron a 5°C durante 14 días, para simular unas condiciones máximas de distribución y comercialización hasta el consumo. Se realizaron 5 repeticiones por tratamiento y las determinaciones correspondientes se efectuaron al inicio, y tras 6, 10 y 14 días.

### 3.2.3. Determinaciones.

Se determinó la tasa respiratoria del melón procesado (200 g) colocados en frascos de vidrio de 0,75 L a 5°C durante 12 días, por el sistema estático. Además, se determinaron por cromatografía gaseosa los cambios en las concentraciones de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, en el interior de cada envase.

Para evaluar el comportamiento de las AM se realizaron las siguientes determinaciones detalladas en los Materiales y Métodos (Sección 2).

- Análisis sensorial (apariencia, flavor y textura). Para la valoración de la apariencia y el sabor se utilizó una escala hedónica de nueve puntos. Para el aroma y la textura, se utilizó una escala de 5 puntos
- Deshidratación. Fue evaluados según el número de piezas afectadas, expresándolo en porcentaje del total
- Color de la pulpa
- Firmeza.
- Pérdidas de peso
- Análisis microbiológico

En el zumo obtenido a partir del melón procesado, además, se evaluaron:

- SST, pH y AT.

En todas las determinaciones se evaluaron 5 repeticiones por tratamiento salvo para la firmeza y color en pulpa donde la media estuvo compuesta por 60 y 35 valores respectivamente, es decir, se evaluaron 12 y 7 piezas respectivamente por cada réplica.

Como el objetivo de este ensayo fue estudiar los beneficios de las AM a lo largo de los 14 días de conservación a 5°C, se optó por realizar un análisis de la varianza bifactorial (tiempo de conservación x tipo de atmósfera). Cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó la prueba LSD.

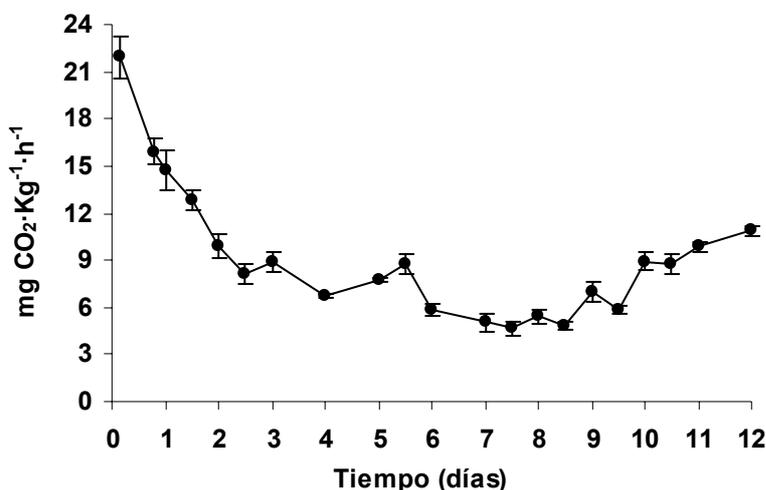
## 3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 3.3.1. Tasa respiratoria.

Como se ha comprobado en los Capítulos anteriores, se observó un aumento instantáneo del CO<sub>2</sub> (22 mg CO<sub>2</sub> · kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>) en respuesta al estrés del corte (Capítulos 1 y 2 secciones 1.3.1. y 2.3.1. y autores allí citados). Superado el estrés del corte (3 días) la tasa respiratoria se

estabilizó en 5,8-6,8 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Fig. 3.1) observándose un paulatino aumento a partir del día 10, probablemente por la contaminación microbiana y deterioro general del tejido (como se observó y discutió en el Capítulo anterior). El comportamiento fue similar al de en los ensayos anteriores, con un estrés del corte de 3 días, una estabilización de la tasa respiratoria y un incremento provocado por el deterioro y la contaminación.

Los valores obtenidos una vez superado el estrés del corte en esta variedad (“Doral”) son muy similares a los encontrados en la misma variedad del Capítulo anterior (5,5-7,5 mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>) y también el incremento observado en los últimos días (8 a 9) frente a los 9,2 mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> encontrados en aire del Capítulo anterior. Sólo el estrés inicial del corte de este ensayo fue mucho mayor que en el Capítulo anterior (11,6 mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>) probablemente por las distintas fechas de recolección.



**Figura 3.1.** Tasa respiratoria en aire de melón Amarillo procesado en fresco durante 12 días a 5°C. Media (n = 5) ± error estándar.

### 3.3.2. Composición gaseosa de las tarrinas.

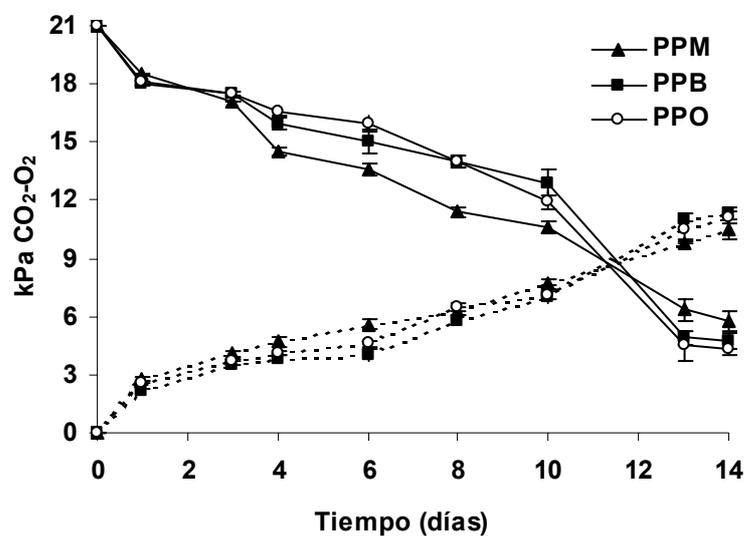
Con los tres plásticos se alcanzó una similar concentración gaseosa, el O<sub>2</sub> disminuyó desde 21 kPa a 4-5 kPa (Figura 3.2) mientras se produjo un incremento en el CO<sub>2</sub> hasta 11-12 kPa. El comportamiento de los tres PP fue similar.

En PPM, a partir del día 3, se observó una concentración de O<sub>2</sub> inferior a los otros dos PP. No obstante, en el día 12, este PPM exhibió una ligera mayor permeabilidad al O<sub>2</sub>, posiblemente al estar microperforado le permite permear O<sub>2</sub> cuando las concentraciones alcanzadas son muy bajas y se aproximan a la anoxia. Barry-Ryan *et al.* (2000) en el EAM de

zanahoria procesada a 8°C alcanzó con un PPM 10 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> frente a <1 kPa O<sub>2</sub> + 28 kPa de CO<sub>2</sub> con un PPO de 35 µm. Las diferencias en este trabajo entre PPM y los no perforados (PPO, PPB) no fueron tan extremas posiblemente debido a una menor tasa respiratoria del melón frente a la de zanahoria aunque la conservación en nuestro ensayo fue a 5°C frente a los 8°C de Barry-Ryan que permiten que los plásticos incrementen la permeabilidad con la temperatura, aunque los cambios de temperatura influyen con mayor intensidad en la respiración (el producto demanda más O<sub>2</sub>) que en el aumento de la permeabilidad del plástico al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> (Cameron *et al.*, 1995; Cantwell y Suslow, 2002; Jacksens *et al.*, 2002; Kader *et al.*, 1989; Silva *et al.*, 1999; Zagory y Kader, 1988; Zagory, 1996).

Otro factor a tener en cuenta, es la existencia de una amplia gama de microperforados, y conforme aumenta el número de perforaciones la permeabilidad es mayor. Para las atmósferas necesarias de melón procesado a 5°C no es conveniente PPM superiores a los denominados comercialmente “tipo 160” ya que serían excesivamente permeables.

Tras la comparación de los plásticos orientados (uniaxial o biaxialmente) observamos un idéntico comportamiento entre ellos aunque el PPO tiene 35 µm y el PPB 40 µm. Según Schlimme y Rooney (1997) la orientación altera la permeabilidad a los gases y vapor de agua, lo que no se apreció en este trabajo.



**Figura 3.2.** Evolución gaseosa en los distintos EAM según el tipo de plástico utilizado (PP microperforado-PPM, biorientado-PPB u orientado-PPO) en melón Amarillo procesado en fresco durante 14 días a 5°C. Líneas sólidas = kPa O<sub>2</sub>, líneas fragmentadas = kPa CO<sub>2</sub>. Media (n = 5) ± error estándar.

Las concentraciones alcanzadas por los tres polímeros están dentro del rango de las calculadas en la Sección de Materiales y Métodos y las recomendadas por Gorny (1997, 2001b) y validadas en el Capítulo anterior mediante AC. No obstante, éstas se lograron en los últimos días de conservación, fecha en la que los recuentos microbianos exceden los límites legales (Tabla 10). El tiempo que transcurrió hasta alcanzar esta atmósfera deseada, así como una atmósfera de equilibrio fue demasiado largo. Esto indica que había mucho volumen libre a pesar de utilizar una barqueta pequeña (0,75 L). No obstante, con cualquiera de estos plásticos se lograron concentraciones eficaces para mejorar la calidad tanto sensorial como microbiológica frente al testigo en aire, como se comprobará a continuación. Por ello, se recomienda utilizar AM activas para alcanzar antes la composición gaseosa deseada de equilibrio.

### **3.3.3. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos.**

#### **3.3.3.1. Evaluación sensorial.**

Los parámetros sensoriales analizados estuvieron influenciados por el tiempo de conservación, tipo de atmósfera así como por la interacción de ambos factores (Tabla 3.2). Todos los EAM mantuvieron la apariencia, sabor y textura por encima del límite de comercialización durante las 2 semanas de conservación. En general, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de EAM (Tabla 3.2).

En la evaluación de cada periodo de comercialización el EAM logró una mejor calidad sensorial frente al testigo sin diferencias significativas entre los distintos EAM (Tabla 3.3). Con la aplicación de ácido cítrico se consiguió una mejor calidad visual, sin cambios significativos a lo largo de la conservación, debido a la obtención de una pulpa más blanca, con un mayor IB (Tabla 3.7), que los panelistas asociaron con un producto más “limpio e higiénico”.

Como encontraron Kato-Noguchi y Watada (1997) el cítrico (1 a 300 mM  $\approx$  0,02 a 5,8%) sirvió para prevenir la decoloración de zanahorias procesadas en fresco. En este mismo producto, Amanatidou *et al.*, (2000) una concentración de 0,1% y en especial 0,5% mejoró la retención del color, evitó la usual decoloración blanca en zanahorias y logró mantener una óptima apariencia de zanahoria procesada durante 8 días a 8°C. Sin embargo, cuando la concentración era superior al 0,5% se detectó un sabor extraño probablemente como resultado de la acidificación. En nuestro caso, no se apreciaron sabores ni olores atípicos del melón, probablemente por la menor concentración utilizada.

**Tabla 3.2.** Efecto del tiempo de conservación y tipo de plástico en la evaluación sensorial, deshidratación y pérdida de peso en melón Amarillo procesado en fresco y EAM (testigo, PPM, PPB, PPO ó PPO + C) durante 14 días a 5°C.

Tiempo	Tipo EAM	Apariencia (1-9)	Sabor (1-9)	Aroma (1-5)	Textura (1-5)	Firmeza (N)	Deshidrat. (%)	Pérdidas peso (%)
Inicial		9,0 <sup>z</sup>	8,0	4,7	5,0	11,70	0	0
Día 6	Testigo	4,7	3,0	2,0	2,0	8,83	0	
	PPM	8,0	6,5	4,0	3,0	9,20	0	
	PPB	8,0	7,3	3,0	4,0	10,52	0	
	PPO	7,7	7,3	4,0	4,0	10,58	0	
	PPO + C	8,3	7,3	3,0	4,0	8,98	0	
Día 10	Testigo	3,0	3,0	1,3	2,0	8,55	10	
	PPM	7,3	6,0	3,0	3,0	9,64	0	
	PPB	7,0	6,0	3,0	3,0	8,48	2	
	PPO	7,3	7,0	3,0	3,3	8,93	2	
	PPO + C	8,7	6,0	3,0	3,7	9,09	0	
Día 14	Testigo	3,0	1,0	1,0	2,0	7,98	90	15,97
	PPM	6,0	5,0	2,0	3,0	9,05	5	0,03
	PPB	7,0	6,0	2,0	3,0	8,41	2	0,02
	PPO	7,0	6,0	2,0	3,0	7,74	3	0,02
	PPO + C	8,0	6,0	2,0	3,0	8,16	0	0,03
Tiempo		(0,8) <sup>c</sup>	(0,5) <sup>c</sup>	(0,7) <sup>c</sup>	(0,3) <sup>c</sup>	(0,93) <sup>c</sup>	(0,90) <sup>c</sup>	(1,64) <sup>c</sup>
EAM		(0,9) <sup>c</sup>	(0,6) <sup>c</sup>	(0,8) <sup>c</sup>	(0,3) <sup>c</sup>	NS	(1,01) <sup>c</sup>	(2,60) <sup>c</sup>
Tiempo x EAM		(1,7) <sup>c</sup>	(1,2) <sup>c</sup>	(0,9) <sup>a</sup>	(0,7) <sup>c</sup>	NS	(2,02) <sup>c</sup>	(3,68) <sup>c</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 5, excepto para la firmeza n = 60); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica (1 a 9) para apariencia y sabor, donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. Escala hedónica (1 a 5) para aroma y textura, donde 1 = inaceptable, 3 = aceptable (límite de comercialización), 5 = excelente.

Kim y Klieber (1997) con un 1% de ácido cítrico mejoraron la apariencia de col china procesada en fresco conservada a 5°C. Gil *et al.* (1996) observaron una mejor calidad en granada procesada en fresco cuando se conservó bajo PPO (18-20 kPa O<sub>2</sub> y 2 kPa CO<sub>2</sub>) frente al aire. Además, L\* también aumentó con el EAM, especialmente en las muestras lavadas durante 30 s con cítrico (0,5%) y/o ascórbico (0,5%). Lamentablemente, como viene sucediendo en los distintos Capítulos, el aroma es uno de los parámetros más lábiles acortando los periodos de vida útil. Normalmente, la conservación incluye el ablandamiento del tejido, desarrollo de malos olores y sabores normalmente adscrito a una actividad microbiana, síntomas que suelen aparecer cuando los recuentos totales exceden de 6 unidades log (Giovannuzzi *et al.*, 1988).

**Tabla 3.3.** Interacción (tiempo x EAM) de los parámetros sensoriales (apariencia, sabor, aroma y textura) en melón Amarillo procesado en fresco y conservado 14 días a 5°C.

<b>Apariencia (1-9)</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>6d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Testigo</b>	9 Aa	4,7 Bb	3 Bb	3 Bc
<b>PPM</b>	9 Aa	8 ABa	7 Ba	6 Bb
<b>PPB</b>	9 Aa	8 ABa	7 Ba	7 Bab
<b>PPO</b>	9 Aa	7,7 ABa	7,3 ABa	7 Bab
<b>PPO + C</b>	9 Aa	8,3 Aa	8,7 Aa	8 Aa
<b>Sabor (1-9)</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>6d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Testigo</b>	8 Aa	3 Bb	3 Bb	1 Cb
<b>PPM</b>	8 Aa	6,5 Ba	6 BCa	5 Ca
<b>PPB</b>	8 Aa	7,3 Aa	6 Ba	6 Ba
<b>PPO</b>	8 Aa	7,3 Aa	7 Aa	6 Ba
<b>PPO + C</b>	8 Aa	7,3 Aa	6 Ba	6 Ba
<b>Aroma (1-5)</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>6d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Testigo</b>	4,7 Aa	2 Bc	1,3 BCb	1 Cb
<b>PPM</b>	4,7 Aa	4 Aa	3 Bb	2 Ba
<b>PPB</b>	4,7 Aa	3 Bb	3 Ba	2 Ca
<b>PPO</b>	4,7 Aa	4 Aa	3 Ba	2 Ca
<b>PPO + C</b>	4,7 Aa	3 Bb	3 Ba	2 Ca
<b>Textura (1-5)</b>				
	<b>Inicial</b>	<b>6d</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Testigo</b>	5 Aa	2 Bc	2 Bb	2 Bb
<b>PPM</b>	5 Aa	3 Bb	3 Ba	3 Ba
<b>PPB</b>	5 Aa	4 Ba	3 Ca	3 Ca
<b>PPO</b>	5 Aa	4 Ba	3,3 BCa	3 Ca
<b>PPO + C</b>	5 Aa	4 Ba	3,7 BCa	3 Ca

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 3.2) por la prueba de LSD.

En este trabajo, de forma irremediable el aroma cayó por debajo de 3, tras 14 días de conservación, debido a la detección de un olor a “moho”. Sin embargo, es posible una vida comercial de 10 días siempre y cuando se utilice el EAM donde, en general, no hubo diferencias significativas entre los distintos tratamientos (Tabla 3.3). Tampoco Barry-Ryan *et al.* (2000) apreciaron diferencias en la apariencia ni en el aroma cuando la zanahoria se almacenó a 3°C con un PPM o un PPO, aunque a 8°C el PPM logró una mejor apariencia y aroma. Estas diferencias no se apreciaron entre los plásticos empleados ya que las concentraciones gaseosas generadas fueron similares y no se desarrolló un metabolismo fermentativo que deterioraba el aroma como les sucedió a estos autores con el PPO. O’Connor-Shaw *et al.* (1994) también observaron, en tan sólo 4 días, en cubos de Cantaloupe bajo EAM y a 4°C una importante reducción en el sabor y aroma característico. Discrepando con Day (2001) en este trabajo el PPM no ocasionó pérdidas de aroma diferentes al PPO y PPB.

La vida útil de melón procesado en fresco en aire con un PP macroperforado no alcanzó el sexto día ya que la apariencia, aroma y textura fue calificada por debajo del límite de comercialización. Probablemente la conservación en aire pero obtenida con perforaciones de menor diámetro podría haber prolongado la vida útil como se ha comprobado en el Capítulo 4.

### 3.3.3.2. Firmeza.

Sólo el tiempo de conservación influyó en el ablandamiento (Tabla 3.2) confirmando resultados de otros autores (Babic y Watada, 1996; Bai *et al.*, 1999; Escalona, 2003; Gorny *et al.*, 2002; Qi *et al.*, 1999).

Este parámetro, al igual que la textura, disminuyó agudamente en todos los tratamientos durante los 6 primeros días (Qi *et al.*, 1999), demostrando de nuevo que el ablandamiento más importante ocurre durante los primeros días de conservación (Tabla 3.6) como comentamos en el Capítulo 2 (Sección 2.3.2.2). El ablandamiento medio (agrupando todos los tratamientos) fue del 29%, un 18% ocurrió durante los primeros 6 días mientras que el 11% restante se alcanzó en los siguientes 8 días de conservación. Aunque no hubo diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 3.2), el testigo registró una pérdida de firmeza del 32%, un ablandamiento demasiado bajo comparado con el 41% obtenida en la experiencia anterior (Capítulo 2, Sección 3.2.2). Probablemente, estas diferencias radican en que el plástico macroperforado reseco la superficie del melón procesado proporcionando una “falsa firmeza”.

Tampoco el cítrico (PPO + C) tuvo un efecto significativo en el ablandamiento. Amanatidou *et al.* (2000) sí observaron que este ácido tenía un ligero efecto en la firmeza

incluso después de 8 días de conservación, el ablandamiento fue del 2% con concentraciones de 0,1% y del 11% cuando se aplicó al 0,5% frente al testigo que se ablandó un 16%.

### 3.3.3.3. Deshidratación y pérdidas de peso.

Ambos parámetros estuvieron influenciados por el tiempo de conservación, tipo de atmósfera e interacción de ambos factores (Tabla 3.2). Tras la conservación, el testigo sufrió una fuerte deshidratación (90%) y pérdidas de peso (16%) mientras que en las muestras de EAM la mayor deshidratación fue de un 5% registrada en el PPM (Tabla 3.5) ya que según Day (2001) estos plásticos permiten pérdidas de humedad. Las pérdidas de peso no superaron el 0,03% sin diferencias significativas entre los distintos plásticos. De nuevo, estas deshidrataciones y pérdidas de peso tan extremas registradas en el testigo se debieron a la excesiva macroperforación.

**Tabla 3.4.** Interacción (tiempo x EAM) en la deshidratación en melón Amarillo procesado en fresco y conservado 14 días a 5°C.

	Deshidratación (%)			
	Inicial	6d	10d	14d
<b>Testigo</b>	0 <sup>z</sup> Ca	0 Ca	10 Ba	90 Aa
<b>PPM</b>	0 Ba	0 Ba	0 Bb	5 Ab
<b>PPB</b>	0 Ba	0 Ba	2 Ab	2 Ac
<b>PPO</b>	0 Aa	0 Aa	2 Ab	3 Abc
<b>PPO + C</b>	0 Aa	0 Aa	0 Ab	0 Ac

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 3.2) por la prueba de LSD.

### 3.3.4. Color en pulpa.

Tanto el tiempo como el tipo de EAM influyeron sobre los valores de L\* e IB (Tabla 3.5). En la Tabla 3.6, se observa como en todos los tratamientos L\* disminuyó con el tiempo, salvo en el PPO + C donde el cítrico proporcionó una pulpa más blanca. En el día 14, este tratamiento presentó una pulpa más luminosa y no se observaron diferencias entre los demás (testigo, PPM, PPB y PPO).

**Tabla 3.5.** Efecto del tiempo de conservación y tipo de plástico en L\*, IB, °H, Cromo, SST, AT y pH en melón Amarillo procesado en fresco y EAM (testigo, PPM, PPB, PPO ó PPO + C) durante 14 días a 5°C.

Tiempo	EAM	L*	IB	°H	Croma	SST	pH	AT
<b>Inicial</b>		80,5	72,3	115,6	14,2	10,8 <sup>z</sup>	5,63	0,09
<b>Día 6</b>	<b>Testigo</b>	76,5	73,0	115,5	13,2	10,9	5,82	0,10
	<b>PPM</b>	76,0	75,1	115,0	12,7	10,0	5,91	0,08
	<b>PPB</b>	77,2	73,8	115,1	12,9	9,1	5,80	0,08
	<b>PPO</b>	78,6	75,1	115,1	12,8	9,2	5,78	0,08
	<b>PPO + C</b>	79,1	75,7	115,0	12,3	9,5	5,82	0,08
<b>Día 10</b>	<b>Testigo</b>	76,8	73,6	115,1	12,6	11,3	5,45	0,10
	<b>PPM</b>	77,8	74,9	114,0	11,6	10,7	5,75	0,08
	<b>PPB</b>	77,4	74,3	114,8	12,2	10,0	5,53	0,08
	<b>PPO</b>	77,5	74,4	114,3	12,2	9,3	5,49	0,08
	<b>PPO + C</b>	79,4	76,4	114,5	11,5	9,1	5,65	0,08
<b>Día 14</b>	<b>Testigo</b>	75,4	72,8	114,3	11,5	11,4	5,30	0,14
	<b>PPM</b>	77,1	72,8	113,4	9,8	9,9	5,37	0,11
	<b>PPB</b>	75,5	72,7	115,0	11,9	9,5	5,31	0,11
	<b>PPO</b>	75,0	72,7	113,8	10,8	10,7	5,51	0,12
	<b>PPO + C</b>	79,5	77,1	113,5	10,4	9,1	5,74	0,08
<b>Tiempo</b>		(1,2) <sup>b</sup>	(1,6) <sup>c</sup>	(1,1) <sup>c</sup>	(1,2) <sup>c</sup>	(0,8) <sup>c</sup>	(0,15) <sup>c</sup>	(0,02) <sup>c</sup>
<b>EAM</b>		(1,7) <sup>c</sup>	(1,8) <sup>c</sup>	NS	NS	(0,9) <sup>c</sup>	(0,12) <sup>b</sup>	(0,02) <sup>c</sup>
<b>Tiempo x EAM</b>		(2,1) <sup>a</sup>	NS	NS	NS	(0,9) <sup>a</sup>	(0,18) <sup>a</sup>	(0,02) <sup>a</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 5, excepto para el color, n = 35); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: contenido en sólidos solubles (°Brix). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

**Tabla 3.6.** Interacción (tiempo x EAM) en la luminosidad de la pulpa en melón Amarillo procesado en fresco y conservado 14 días a 5°C.

	L*			
	Inicial	6d	10d	14d
<b>Testigo</b>	80,5 <sup>z</sup> Aa	76,5 Bab	76,8 Bb	75,4 Bb
<b>PPM</b>	80,5 Aa	76,0 Bb	77,8 Bab	77,1 Bb
<b>PPB</b>	80,5 Aa	77,2 Bab	77,4 Bab	75,5 Bb
<b>PPO</b>	80,5 Aa	78,6 ABa	77,5 Bab	75,0 Cb
<b>PPO + C</b>	80,5 Aa	79,1 Aa	79,4 Aa	79,5 Aa

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 3.5) por la prueba de LSD.

El baño con ácido cítrico proporcionó un incremento en el IB (Tablas 3.5. y 3.7). Aunque en este trabajo no se evaluó la tasa respiratoria en las muestras lavadas con cítrico, Kato-Noguchi y Watada (1997) observaron una reducción en la tasa respiratoria con la incorporación de este ácido en el agua de lavado en zanahoria, mayor conforme se incrementaba la concentración de 0,02 a 2%, representando el 82% y 31% respectivamente respecto a la del testigo no acidificado.

Gil *et al.* (1998) no encontraron diferencias significativas en el efecto del ácido ascórbico (2%) sobre la tasa respiratoria de rodajas de manzana a 10°C pero en general, redujo la emisión de etileno. Gunes y Lee (1997) comprobaron que el ácido cítrico inactiva enzimas como la PPOx al actuar en el centro activo de la misma.

Como vemos estos ácidos tienen la capacidad de reducir la actividad metabólica y respalda la hipótesis de que la translucencia (medida como una reducción en L\* e IB) es un síntoma de senescencia.

No obstante, los valores de L\* e IB alcanzados en todos los tratamientos no llegaron a los necesarios para indicar daño por vitescencia ( $L^* \leq 66,6$  e  $IB \leq 64,2$ ).

**Tabla 3.7.** Separación de medias en el índice de blancura en melón Amarillo procesado en fresco tras 14 días a 5°C cuando el factor tratamiento gaseoso fue significativo.

<b>Tratamiento gaseoso</b>	<b>IB</b>
<b>Testigo</b>	72,9 b
<b>PPM</b>	73,8 ab
<b>PPB</b>	73,6 ab
<b>PPO</b>	73,6 ab
<b>PPO + C</b>	75,4 a

<sup>2</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 3.5) por la prueba de LSD.

H° y Cromo dependieron del tiempo (Tabla 3.5) de conservación. Ambos sufrieron una ligera reducción (Tabla 3.8) al avanzar la conservación, mostrando una tendencia a seguir madurando.

**Tabla 3.8.** Separación de medias en la firmeza, índice de blancura, °H y Croma en melón Amarillo procesado en fresco tras 14 días a 5°C cuando el factor tiempo fue significativo.

	<b>Firmeza (N)</b>	<b>IB</b>	<b>°H</b>	<b>Croma</b>
<b>Inicial</b>	11,7 a	72,3 b	115,6 a	14,2 a
<b>6d</b>	9,6 b	74,5 a	115,1 a	12,8 b
<b>10d</b>	9,0 bc	74,7 a	114,5 ab	12,0 bc
<b>14d</b>	8,3 c	73,6 ab	114,0 b	10,9 c

<sup>2</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P <$  según Tabla 3.5) por la prueba de LSD.

### 3.3.3.5. SST, pH y AT.

En general, debido al aumento en la tasa respiratoria provocado por el corte, el contenido en SST disminuyó tras la conservación salvo en el testigo donde se observó un ligero aumento, probablemente debido a una concentración por la deshidratación sufrida. También Gil *et al.* (1996) detectaron en el testigo un incremento en los SST y AT debido a la deshidratación de las semillas de granada. De entre los distintos tratamientos de EAM, el PPM presentó unos SST ligeramente mayores en los días 6 y 10 con un comportamiento intermedio entre el testigo y el resto (Tabla 3.9). Según Day (2001) los microperforados permiten pérdidas de humedad y, probablemente también concentraron los azúcares.

Con respecto al pH y AT, tanto el tiempo de conservación como el tipo de EAM, así como la interacción de ambos factores influyeron en los parámetros mencionados (Tabla 3.5). Conforme avanzó la conservación, el testigo disminuyó su pH (5,6 a 5,3) acompañado de un aumento en la AT (0,09 a 0,14 mg cítrico · 100 mL<sup>-1</sup>) como les sucedió a Gil *et al.* (1996).

Los tratamientos PPM, PPB y PPO disminuían su pH acompañados de un aumento en la AT para sufrir una respuesta inversa (aumento de pH y leve disminución de AT) en el día 14. Sólo en el PPO + C se observó un comportamiento lógico, es decir, aumento y reducción progresiva del pH y AT (Tabla 3.9). Posiblemente, la secreción de enzimas hidrolíticos normalmente ácidos por parte de los microorganismos influyó en el aumento de la AT y por tanto, disminución del pH, dado que se observaron mayores recuentos microbianos en el testigo e inferiores en el tratamiento acidificado con cítrico. Pesis *et al.* (2002) propusieron que el aumento en la AT podría deberse al estado sobremaduro y/o deterioro en la fruta. Estos autores obtuvieron un aumento en AT del zumo de kiwi dañado e infectado al incrementarse el contenido de cítrico, quínico, oxálico y ácido fumárico acompañado de una reducción en el

contenido de azúcares, señalando un disfuncionalidad en el ciclo de Krebs. También, Lamikanra *et al.* (2000) en Cantaloupe procesado en fresco y conservado a 20°C, observaron con la conservación, una reducción en el pH y un incremento en la AT, acompañado de una disminución en el contenido de ácido málico y formación de ácido láctico. Este fenómeno, indicaría la activación de una ruta similar a la fermentación malo-láctica por bacterias ácido lácticas. De hecho, un estudio de Salama *et al.* (1995) señaló que los melones pueden ser contaminados por *Lactococcus lactis* ssp. *Lactis* desde el campo antes de la recolección.

**Tabla 3.9.** Interacción (tiempo x EAM) en los SST, pH y AT en melón Amarillo procesado en fresco y conservado 14 días a 5°C.

SST (°Brix)				
	Inicial	6d	10d	14d
<b>Testigo</b>	10,8 Aa	10,9 Aa	11,3 Aa	11,4 Aa
<b>PPM</b>	10,8 Aa	10 Aab	10,7 Aab	9,9 Ab
<b>PPB</b>	10,8 Aa	9,1 Bb	10,0 ABb	9,5 ABb
<b>PPO</b>	10,8 Aa	9,2 Bb	9,3 Bb	9,7 Bb
<b>PPO + C</b>	10,8 Aa	9,5 Bb	9,1 Bb	9,1 Bb
pH				
	Inicial	6d	10d	14d
<b>Testigo</b>	5,6 ABa	5,8 Aa	5,5 BCb	5,3Cb
<b>PPM</b>	5,6 BCa	5,9 Aa	5,8 ABa	5,4 Cb
<b>PPB</b>	5,6 ABa	5,8 Aa	5,5 BCb	5,3 Cb
<b>PPO</b>	5,6 ABa	5,8 Aa	5,5 Bb	5,5 Bab
<b>PPO + C</b>	5,6 Aa	5,8 Aa	5,7 Aab	5,7 Aa
AT				
	Inicial	6d	10d	14d
<b>Testigo</b>	0,09 Ba	0,10 Ba	0,10 Ba	0,14 Aa
<b>PPM</b>	0,09 ABa	0,08 Ba	0,08 Ba	0,11 Ab
<b>PPB</b>	0,09 ABa	0,08 Ba	0,08 Ba	0,11 Ab
<b>PPO</b>	0,09 Ba	0,08 Ba	0,08 Ba	0,12 Ab
<b>PPO + C</b>	0,09 Aa	0,08 Aa	0,08 Aa	0,08 Ac

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 3.5) por la prueba de LSD. AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

Durante la conservación de piezas de melón Amarillo a 5°C no se observó daño por frío. Tampoco O'Connor-Shaw *et al.* (1994) lo observaron en Cantaloupe y Honeydew procesado en fresco y conservado a 2,2°C.

### 3.3.4. Análisis microbiológico.

Según la legislación española para productos procesados en fresco (RD 3484/2000, 2001) y los resultados obtenidos (Tabla 3.10) se desprende que no es posible una vida útil de 14 días ni en aire ni bajo EAM a 5°C.

**Tabla 3.10.** Recuentos microbiológicos (log UFC·g<sup>-1</sup>) en melón Amarillo procesado en fresco y conservado bajo EAM (testigo, PPM, PPB, PPO ó PPO + C) durante 14 días a 5°C.

		Mesófilos	Coliformes	Psicrotrofos	Pseudomonas	Mohos	Levaduras
<b>Inicial</b>		3,3 ± 0,1 <sup>z</sup>	2,6 ± 0,2	2,9 ± 0,1	<1	<1	<1
<b>Inicial + AC</b>		2,5 ± 0,1	2,4 ± 0,2	2,3 ± 0,1	<1	<1	<1
<b>Día 6</b>	Testigo	6,1 ± 0,1	4,4 ± 0,1	4,8 ± 0,8	1,6 ± 0,1	<1	4,1 ± 0,5
	PPM	4,6 ± 0,7	3,8 ± 0,1	4,7 ± 0,6	<1	<1	3,5 ± 0,8
	PPB	4,2 ± 0,4	3,5 ± 0,2	4,0 ± 0,8	<1	<1	3,6 ± 0,4
	PPO	4,8 ± 0,2	4,1 ± 0,2	4,9 ± 0,2	<1	<1	3,0 ± 0,4
	PPO +AC	3,1 ± 0,1	3,5 ± 0,1	3,1 ± 0,1	<1	<1	3,2 ± 0,3
<b>Día 10</b>	Testigo	7,1 ± 0,4	6,4 ± 0,2	7,0 ± 0,1	2,6 ± 0,4	1,2 ± 0,1	4,2 ± 0,1
	PPM	5,8 ± 0,2	5,5 ± 0,3	6,3 ± 0,1	<1	<1	3,8 ± 0,1
	PPB	6,9 ± 0,1	6,3 ± 0,1	6,6 ± 0,1	<1	<1	3,8 ± 0,1
	PPO	6,3 ± 0,2	6,3 ± 0,1	6,8 ± 0,2	<1	<1	3,6 ± 0,2
	PPO +AC	5,7 ± 0,1	5,1 ± 0,1	5,4 ± 0,3	<1	<1	3,8 ± 0,1
<b>Día 14</b>	Testigo	8,3 ± 0,1	7,6 ± 0,1	8,4 ± 0,1	2,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	4,7 ± 0,1
	PPM	8,4 ± 0,1	7,0 ± 0,3	7,6 ± 0,1	1,8 ± 0,5	<1	4,3 ± 0,1
	PPB	7,6 ± 0,1	7,3 ± 0,1	8,1 ± 0,1	1,7 ± 0,1	<1	4,4 ± 0,1
	PPO	7,1 ± 0,1	6,8 ± 0,3	7,8 ± 0,2	1,6 ± 0,2	<1	4,3 ± 0,1
	PPO +AC	6,9 ± 0,2	6,8 ± 0,2	6,9 ± 0,1	1,0 ± 0,1	<1	4,2 ± 0,2

<sup>z</sup> Media (n = 5) ± error estándar.

Sin embargo, es posible establecer una vida comercial bajo 10 días. No obstante, tratamientos como PPB o PPO con atmósferas similares a PPM obtuvieron recuentos en los mesófilos y psicrotrofos muy cercanos a los permitidos por la legislación. Por ello, y dado que normalmente las medidas higiénicas en una industria son inferiores a las de un ensayo como

éste, podríamos establecer en melón procesado en fresco bajo conservado en atmósfera modificada y a 5°C una vida útil a escala industrial inferior a 10 días.

Todos los EAM redujeron el crecimiento de *Pseudomonas*, en especial durante los primeros 10 días. O'Connor-Shaw *et al.* (1994) evaluaron tras 11 días a 4,4°C, 7,2 y 9,2 UFC·g<sup>-1</sup> para bacterias totales y 4,1 y 6,6 UFC·g<sup>-1</sup> para las levaduras en Honeydew y Cantaloupe, respectivamente. En este último cultivar se detectaron 2,4 unidades log de mohos. La vida útil fue de 14 días para el Honeydew y 4 para el Cantaloupe. Durigan y Sargent (1999) obtuvieron una vida útil en cubos de Cantaloupe de 7 días a 5°C y Bai *et al.* (2001) determinaron tras 12 días de conservación 9 log UFC·g<sup>-1</sup> tanto en el EAM activo (4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>) como pasivo (8 kPa O<sub>2</sub> + 12 kPa CO<sub>2</sub>) frente a las 10 UFC·g<sup>-1</sup> desarrolladas en aire. En hongos, obtuvieron 3,8 y 4,2 en EAM activa y pasiva respectivamente y 6,2 en aire. Según estos autores, desde el punto de vista microbiológico sólo fue posible lograr una vida útil inferior a 8 días.

En este trabajo, se ha comprobado que el ácido cítrico frenó el crecimiento microbiano con respecto al resto de tratamientos. Su efecto se hizo notar inmediatamente tras el baño, reduciendo la flora inicial en 0,8 log UFC·g<sup>-1</sup> los mesófilos y en 0,6 los psicrotrofos (Tabla 3.10). Probablemente, el efecto del cítrico radica en la reducción del pH en el agua de lavado proporcionando más cloro en forma de HOCl, el cual posee mayor acción antimicrobiana. Howard y Dewi (1996) observaron que los tratamientos con cítrico reducían la cantidad de fenoles totales en zanahorias peladas, entendiendo que la acumulación de fenoles responde a las infecciones o daños sufridos. Adams *et al.* (1989) lograron una reducción de media unidad logarítmica en mesófilos de lechuga procesada añadiendo 315 mg·L<sup>-1</sup> (≈ 0,03%) de cítrico a un agua clorada con respecto al control clorado (100 mg·L<sup>-1</sup> cloro libre). Así mismo, Sáenz *et al.* (2001) lograron con ácido cítrico (1%) mantener unos bajos recuentos bacterianos, de levaduras y mohos en higo chumbo procesado en fresco y conservado a 4°C y Amanatidou *et al.* (2000) redujeron la flora bacteriana en 1 unidad log con 0,1% y 0,5% en zanahoria tras 8 días a 8°C.

Según nuestros resultados, el efecto del cítrico fue nulo en el testigo de levaduras ya que aunque normalmente también se obtuvo un menor crecimiento respecto a los EAM sin baño cítrico las diferencias no fueron significativas. Tras la conservación, se advirtió el desarrollo de una levadura común (*Candida* spp) en PPM y en el testigo. No se observó crecimiento fúngico en ningún tratamiento salvo en atmósfera de aire.

Los recuentos microbiológicos presentados en este trabajo con respecto a los encontrados en el Capítulo 2 (Sección 3.3) de conservación en melón en AC son mayores a pesar de tratarse del mismo cultivar, variedad, temperatura y tiempo de conservación. La diferencia radica en que las concentraciones gaseosas deseadas, ej.: 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> de una AC actúan desde el

inicio, mientras que en un EAM pasiva solo se consiguen en los últimos días de conservación. Por ello, se recomienda el EAM activa que permita alcanzar las concentraciones gaseosas deseadas desde el principio. Larsen y Watkins (1995) también observaron efectos beneficiosos como una textura más firme y retraso de madurez, con la aplicación de AC (2 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>) que no pudieron comprobar con el EAM.

### 3.4. CONCLUSIONES.

Las concentraciones generadas con los tres tipos de películas plásticas fueron similares, alcanzando los 4-5 kPa O<sub>2</sub> + 11-12 kPa CO<sub>2</sub> tras 14 días a 5°C, lo cual indica que la permeabilidad de estos tres PP fue similar. Dicha atmósfera fue muy próxima a la deseada y predicha mediante un modelo matemático y resultó efectiva para mantener una adecuada calidad sensorial y microbiológica durante 10 días de conservación. Además, frenó la deshidratación y pérdidas de peso en comparación al testigo. No se encontraron diferencias notables entre los distintos películas, ya que las concentraciones alcanzadas fueron similares. Aunque las tres pueden ser útiles para el EAM de melón procesado en fresco, se recomienda el PPO ya que es más barato que PPM o el PPB.

Se recomienda la adición de ácido cítrico en el agua de lavado ya que logró reducir el crecimiento microbiológico y mejoró la apariencia proporcionando un procesado más brillante y luminoso. No obstante, el ablandamiento no pudo reducirse más allá del 29% ni tampoco se pudo prolongar la vida útil frente al resto de tratamientos en EAM debido a la pérdida de aroma en el melón.

Se recomienda establecer en melón Amarillo procesado en fresco y EAM a 5°C una vida útil inferior a 10 días, aceptable para su aplicación comercial en Europa.

Se debe continuar trabajando en el EAM activo, para generar de forma más rápida las concentraciones deseadas y la temperatura de conservación debe reducirse a 0°C para frenar el ablandamiento.

## Capítulo 4. INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN GASEOSA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE MELÓN PROCESADO EN FRESCO A 0°C

### 4.1. INTRODUCCIÓN.

Como se pudo comprobar en el Capítulo 1, con bajas temperaturas próximas al punto de congelación se obtenía una mejor calidad sensorial a la vez que se reducía la actividad metabólica del melón Amarillo procesado en secciones. De los resultados del Capítulo anterior, las concentraciones alcanzadas con el EAM pasiva permitieron mantener una adecuada calidad sensorial y microbiológica frenaron la deshidratación y pérdidas de peso durante 10 días. No obstante, el beneficio del EAM puede resultar superior reemplazando la atmósfera inicial de aire del envase por una mezcla idónea.

Por ello, se ha estudiado el EAM pasiva y activa (con alto CO<sub>2</sub> ó bajo O<sub>2</sub>) de melón Amarillo procesado en fresco durante 14 días a 0°C. Además se estudió la aplicación de CaCl<sub>2</sub> (1%) para evaluar su efecto en la retención de la firmeza, como observaron Luna-Guzmáz *et al.* (1999) en Cantaloupe.

### 4.2. MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 4.2.1. Material vegetal.

El material vegetal estuvo compuesto por melones Amarillo de la variedad “Solaris”, recolectados a primeros de septiembre en Albacete. Se transportaron hasta el laboratorio donde se mantuvieron a 0°C y 80% HR durante una noche hasta el comienzo del ensayo. Los frutos se seleccionaron en función de su tamaño y coloración externa, descartándose los que presentaban lesiones por golpes y/o rozaduras o alteraciones. De la selección se tomó al azar una muestra de 20 melones a los que se determinó el peso, los diámetros ecuatorial y polar, y el color de su epidermis (Tabla 4.1).

**Tabla 4.1.** Caracterización inicial (peso, calibres y color de la epidermis) del melón Amarillo “Solaris”.

Peso (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)	Color		
			L*	°H	Croma
2009,7 <sup>z</sup> ± 53,8 g	19,2 ± 1,3	15,9 ± 1,0	80,0 ± 0,5	99,3 ± 0,5	54,6 ± 1,3

<sup>z</sup>Media (n = 20) ± error estándar.

## 4.2.2. Preparación de la muestra.

### 4.2.2.1. Materia prima.

El procesado en secciones trapezoidales se efectuó como se ha descrito en el Capítulo 1 (Sección 1.2.2.). Las dimensiones de los trapecios fueron (media  $\pm$  error estándar),  $3,3 \pm 0,6 \times 4,5 \pm 0,5 \times 3,8 \pm 0,1$  cm.

### 4.2.2.2. Envasado en atmósfera modificada (EAM).

Una vez lavado y escurrido el procesado se envasó en cestas de polipropileno (PP) de 0,75 L (modelo CLTP750E 800, Plásticos de Alzira S.A., Valencia, España). Cada cesta con 200 g de melón constituyó una réplica. Posteriormente, las barquetas se termosellaron (Barket, Befor Model, Chassieu, France) en su perímetro superior con un PP orientado de 35  $\mu\text{m}$  de espesor (Plásticos del Segura, S.L., Murcia) con tratamiento antivaho ya que según el Capítulo 3, la permeabilidad de este plástico era idónea para lograr concentraciones de alto  $\text{CO}_2$  y bajo  $\text{O}_2$  y sin diferencias en las atmósferas generadas con un microperforado o un biorientado de mayor precio. La superficie de intercambio gaseoso de la cesta, fue de  $17,5 \times 12$  cm.

Para evitar el ablandamiento se realizó a uno de los tratamientos de EAM pasiva un baño con  $\text{CaCl}_2$  al 1% durante 1 min. Esta sal se incorporó al agua de lavado ( $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de  $\text{NaOCl}$ ,  $\text{pH} = 7,5$  a  $5^\circ\text{C}$ ).

Con el objetivo de alcanzar unas rápidas AM en el interior de las barquetas se optó por el EAM activa mediante la inyección de un flujo gaseoso de concentración conocida procedente de botellas comerciales de  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2$  (Air Liquid, S.A., Madrid, España). Para inyectar la mezcla deseada se colocaron dos septums uno a cada extremo de las tarrinas ya termoselladas que contenían el procesado de melón. Por uno de los septum, se introducía la mezcla a través de una jeringuilla (18 G) durante minuto y medio conectada a un panel mezclador que regulaba el flujo procedente de las botellas. Por el otro septum, se pinchaba otra aguja por la que se evacuaba el aire inicial del interior de la tarrina. El tiempo de inyección (1 min y medio) se calculó previamente en función del volumen de la tarrina, masa del producto y flujo de la mezcla. De esta forma, conseguimos desde el inicio las atmósferas deseadas de alto  $\text{CO}_2$  y bajo  $\text{O}_2$ . Los tratamientos y mezclas obtenidas fueron:

- 1) Testigo, PP macroperforado, con 9 perforaciones realizadas con una aguja de 22 G ( $\cong 0,7$  mm de diámetro).
- 2) EAM pasiva al que denominaremos EAM.
- 3) EAM pasiva con el procesado bañado en  $\text{CaCl}_2$ , al que llamaremos EAM +  $\text{CaCl}_2$ .

- 4) EAM activa de alto CO<sub>2</sub> donde la mezcla inicial conseguida fue de 19 kPa de O<sub>2</sub> y 12 kPa de CO<sub>2</sub> (resto de N<sub>2</sub>). Lo denominaremos EAM-CO<sub>2</sub>.
- 5) EAM activa de bajo O<sub>2</sub>, con barrido de N<sub>2</sub>. La mezcla inicial fue de 5,7 kPa de O<sub>2</sub> y resto de N<sub>2</sub>. Lo llamaremos EAM-N<sub>2</sub>.

Todas las barquetas se conservaron a 0°C durante 14 días. Se realizaron 5 repeticiones por tratamiento y las determinaciones se efectuaron al inicio, día 10 y 14.

#### 4.2.3. Determinaciones.

Para evaluar el comportamiento de los distintos tratamientos se realizaron las siguientes determinaciones, detalladas en el apartado de Materiales y Métodos (Sección 2).

Se determinó la tasa respiratoria del melón procesado (200 g) colocado en frascos de vidrio de 0,75 L por el sistema estático y las concentraciones de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> alcanzadas en el interior del envase según el tipo de plástico.

En cada salida se evaluaron:

- Análisis sensorial (escala hedónica de 9 puntos)
- Color
- Firmeza
- Análisis microbiológico

En el zumo obtenido a partir del melón procesado, además, se evaluaron:

- Color
- SST y azúcares
- pH, AT y ácidos orgánicos

En todas las determinaciones se evaluaron 5 repeticiones por tratamiento salvo para la firmeza y color en pulpa donde la media está compuesta por 30 valores, es decir, se evaluaron 6 piezas de cada réplica.

Dado que el objetivo de este ensayo fue estudiar los beneficios de las atmósferas a lo largo de 14 días de conservación a 0°C, se optó por realizar un ANDEVA bifactorial (tiempo de conservación x tipo de atmósfera). Cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó la prueba de comparación de medias LSD.

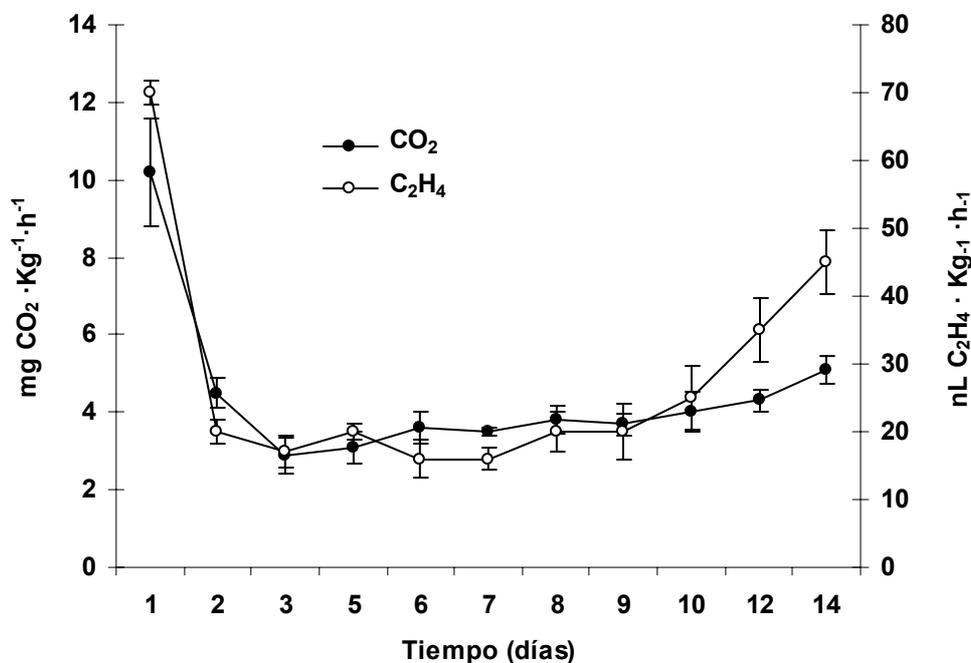
### 4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 4.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno.

La tasa respiratoria y emisión de  $C_2H_4$  en el equilibrio ( $4 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  y  $16\text{-}25 \text{ nL C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) fue similar a la determinada en el Capítulo 1 ( $3\text{-}4,2 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  y  $12\text{-}15$ ) para este mismo tipo varietal, variedad y temperatura (Fig. 4.1.).

De nuevo, las bajas temperaturas redujeron la intensidad y duración del estrés del corte a 1-2 días frente a los 3 días cuando se mantienen a  $5^\circ\text{C}$  (Capítulos 1 a 3, secciones 1.3.1.; 2.3.1. y 3.3.1.). La actividad metabólica a  $5^\circ\text{C}$  en el Capítulo 1, fue de  $6\text{-}7,5 \text{ mg CO}_2$  y  $30\text{-}60 \text{ nL C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  ó de  $5,5\text{-}7,5 \text{ mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  y  $50\text{-}100 \text{ nL C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  en los Capítulos 2 y 3 en la variedad "Doral". Por tanto,  $0^\circ$  frente a  $5^\circ\text{C}$ , redujo entre un 30 a un 47% la tasa respiratoria y entre un 30 y un 75% la emisión de  $C_2H_4$ . Esta menor actividad metabólica con la reducción de temperatura también fue observada por Madrid (1993), Madrid y Cantwell (1993), Watada *et al.* (1996), Gunes y Lee (1997), Paull y Chen (1997), Luna-Guzmán *et al.* (1999), Qi *et al.* (1999), Portela y Cantwell (2001) y Cacace *et al.* (2002) en productos procesados en fresco.

Además, esta temperatura también prolongó hasta el día 12 el incremento en el  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  debido a un deterioro general del tejido provocado por la proximidad a la senescencia, mientras que a  $5^\circ\text{C}$  éste incremento se observó hacia los días 9 ó 10.



**Figura 4.1.** Tasa respiratoria y emisión de  $\text{C}_2\text{H}_4$  en melón Amarillo procesado en fresco tras 12 días a  $0^\circ\text{C}$ . Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar.

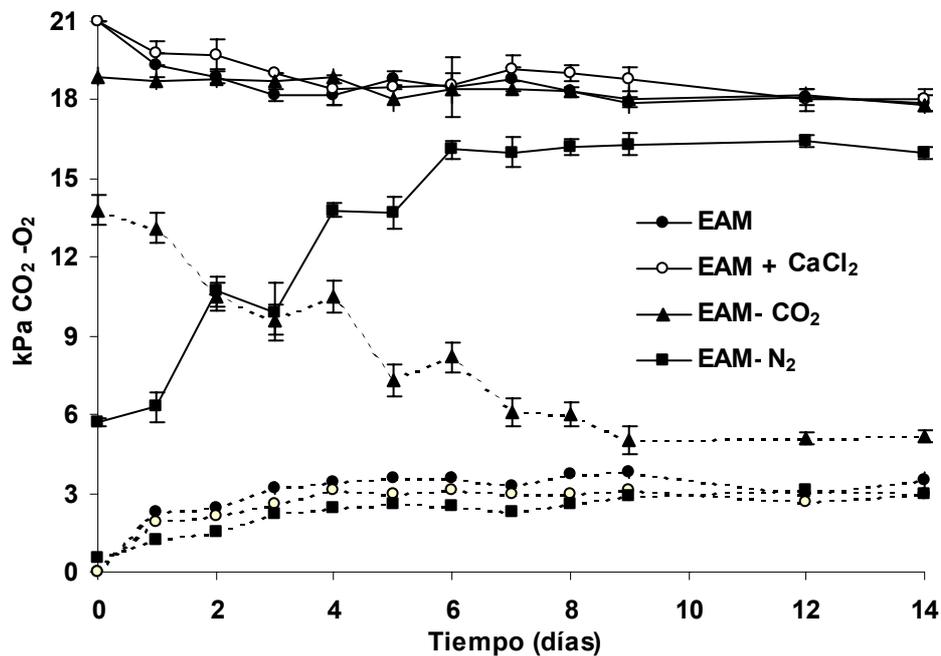
### 4.3.2. Composición gaseosa de las tarrinas.

Tras 14 días a 0°C, la composición final en las atmósferas fue de 17,9 kPa O<sub>2</sub> y 3,5 kPa CO<sub>2</sub> en el EAM pasiva. No hubo diferencias entre del EAM solo o con baño cálcico. En ambas atmósferas pasivas, el equilibrio se alcanzó al tercer día (Fig. 4.2.).

En EAM-CO<sub>2</sub> se observó una importante disminución del CO<sub>2</sub>, pasando de 12 a 5,2 kPa. El O<sub>2</sub> disminuyó ligeramente hasta niveles similares al EAM pasiva. El equilibrio se logró al octavo día de conservación.

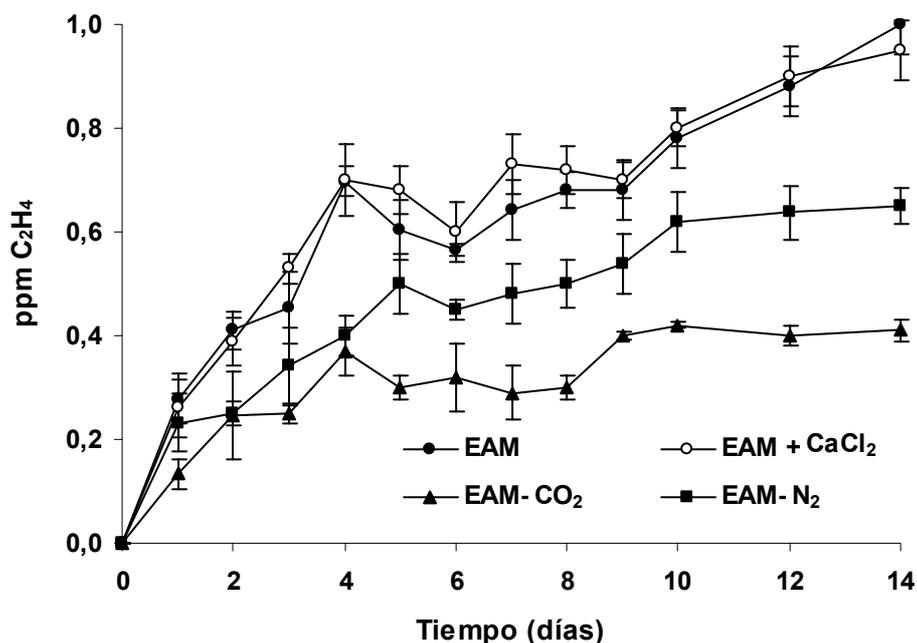
Como en el EAM-CO<sub>2</sub>, en el tratamiento con barrido de N<sub>2</sub>, se observó un importante incremento en el O<sub>2</sub>. En este tratamiento, EAM-N<sub>2</sub>, los niveles de O<sub>2</sub> pasaron de 5,7 a 16 kPa y el CO<sub>2</sub> generado fue de 3 kPa. El equilibrio se alcanzó el sexto día.

La composición gaseosa alcanzada en todos los tratamientos, revela la existencia de microperforaciones por un mal termosellado, o microfugas a través del septum. Según los datos de permeabilidad del Capítulo 3 (Sección 3.2.2.2.1.) las concentraciones deberían haber alcanzado 12 kPa de O<sub>2</sub> y 7 kPa de CO<sub>2</sub> en el EAM. En el EAM activa, las atmósferas iniciales deberían haberse mantenido mucho más estables.



**Figura 4.2.** Evolución gaseosa en barquetas de Melón Amarillo procesado en fresco durante 14 días a 0°C bajo EAM pasiva, EAM + CaCl<sub>2</sub> o EAM activa (EAM-CO<sub>2</sub> o EAM-N<sub>2</sub>). Líneas sólidas = kPa O<sub>2</sub>, líneas fragmentadas = kPa CO<sub>2</sub>. Media (n = 5) ± error estándar.

En todos los tratamientos se observó un incremento paulatino de la concentración de  $C_2H_4$ . Tras 14 días de conservación, los EAM pasiva, con o sin calcio, presentaron los mayores niveles (1 ppm). En el EAM con bajo  $O_2$  fueron de 0,6 ppm y las concentraciones más bajas se encontraron en el EAM- $CO_2$  (0,4 ppm). El  $CO_2$  puede inhibir la acción del  $C_2H_4$  así como, la producción autocatalítica del etileno. Como se ha comprobado en este Capítulo y en el Capítulo 2 de AC (Sección 2.3.1.), la producción de etileno se reduce con bajas concentraciones de  $O_2$ , altas de  $CO_2$  o por ambas, cuyos efectos son sinérgicos (Zagory y Kader, 1988).



**Figura 4.3.** Concentración de  $C_2H_4$  en barquetas de Melón Amarillo procesado en fresco durante 14 días a  $0^\circ C$  bajo EAM pasiva, EAM +  $CaCl_2$  o EAM activa (EAM- $CO_2$  o EAM- $N_2$ ). Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar.

### 4.3.3. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos.

#### 4.3.3.1. Evaluación sensorial.

El tiempo de conservación fue el factor principal que influyó en la evaluación sensorial. El tipo de EAM sólo afectó a la apariencia, sabor y el aroma (Tabla 4.2.).

Hasta el día 10, la apariencia y textura se mantuvieron con valores próximos al inicial (Tabla 4.3). Sin embargo, el sabor y aroma, parámetros mucho más lábiles, como se ha observado en los Capítulos anteriores, disminuyeron durante los primeros 10 días de almacenamiento pero se mantuvieron sin cambios significativos hasta el final de la misma (Tabla 4.3).

**Tabla 4.2.** Efecto del tiempo de conservación y tipo de atmósfera (testigo, EAM, EAM + CaCl<sub>2</sub>, EAM-CO<sub>2</sub> o EAM-N<sub>2</sub>) en los parámetros sensoriales de melón Amarillo procesado en fresco y conservado 14 días a 0°C.

Tiempo	Atmósfera	Apariencia (1-9)	Sabor (1-9)	Aroma (1-9)	Textura (1-9)	CG (1-9)	Firmeza (N)
<b>Inicial</b>		8,3 <sup>z</sup>	7,7	7,3	8,0	7,7	9,4
<b>Día 10</b>	<b>Testigo</b>	6,3	6,7	6,0	6,0	6,7	8,3
	<b>EAM</b>	8,0	7,0	6,3	7,0	7,7	8,5
	<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	8,0	5,9	5,7	7,7	7,0	10,5
	<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	8,3	6,7	7,3	6,3	6,7	10,2
	<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	8,0	6,6	6,0	6,7	7,5	10,1
<b>Día 14</b>	<b>Testigo</b>	6,0	5,0	3,7	5,3	5,7	6,2
	<b>EAM</b>	7,3	6,8	5,7	6,3	7,3	7,1
	<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	7,7	5,8	5,1	7,0	7,0	10,5
	<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	7,3	6,2	5,7	5,7	6,3	9,8
	<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	7,7	6,5	5,1	6,3	7,0	9,4
<b>Tiempo</b>		(1,0) <sup>c</sup>	(0,9) <sup>c</sup>	(0,8) <sup>c</sup>	(1,2) <sup>c</sup>	(0,8) <sup>b</sup>	NS
<b>Atmósfera</b>		(0,9) <sup>b</sup>	(0,3) <sup>a</sup>	NS	NS	NS	(1,8) <sup>c</sup>
<b>Tiempo x atmósfera</b>		NS	NS	(1,3) <sup>b</sup>	NS	NS	(2,2) <sup>b</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 5, excepto para la firmeza n = 25); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. CG: Calidad global. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente.

**Tabla 4.3.** Separación de medias cuando el factor tiempo fue significativo en la apariencia, sabor, textura y calidad global de melón Amarillo procesado en fresco conservado 14 días a 0°C (testigo, EAM, EAM + CaCl<sub>2</sub>, EAM-CO<sub>2</sub> o EAM-N<sub>2</sub>).

	Apariencia (1 - 9)	Sabor (1 -9)	Aroma (1 - 9)	Textura (1 - 9)
<b>Inicial</b>	8,3 <sup>z</sup> a	7,7 a	7,3 a	7,7 a
<b>10 días</b>	7,7 ab	6,6 b	6,7 b	7,1 ab
<b>14 días</b>	7,2 b	6,1 b	6,1 b	6,7 b

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 4.2) por la prueba de LSD. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente.

Con el EAM se obtuvo una mejor apariencia y sabor frente al testigo aunque sin cambios significativos entre las distintos EAM. Según, los panelistas, el baño de  $\text{CaCl}_2$  al 1% imprimió un ligero sabor salado al melón procesado (Tabla 4.4).

**Tabla 4.4.** Separación de medias cuando el factor tipo de EAM fue significativo en la apariencia y sabor melón Amarillo procesado en fresco conservado 14 días a  $0^\circ\text{C}$  (testigo, EAM, EAM +  $\text{CaCl}_2$ , EAM- $\text{CO}_2$  o EAM- $\text{N}_2$ ).

	<b>Apariencia</b> <b>(1 – 9)</b>	<b>Sabor</b> <b>(1 -9)</b>
<b>Testigo</b>	6,9 <sup>z</sup> b	6,5 b
<b>EAM</b>	7,9 a	7,2 a
<b>EAM+<math>\text{CaCl}_2</math></b>	8,0 a	6,4 b
<b>EAM-<math>\text{CO}_2</math></b>	8,1 a	6,9 a
<b>EAM-<math>\text{N}_2</math></b>	8,0 a	6,9 a

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 4.2) por la prueba de LSD. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 3 = pobre, 5 = aceptable (límite de comercialización), 7 = bueno y 9 = excelente.

Los EAM activas, y en particular, el EAM- $\text{CO}_2$  lograron mantener un aroma similar al inicial durante los primeros 10 días (Tabla 4.5). Tras 14 días de conservación, sólo el EAM logró mantener un aroma por encima del límite de comercialización, mientras que el testigo no logró alcanzar este límite.

Desde el punto de vista de la evaluación sensorial, no es necesario el EAM para alcanzar en melón procesado en fresco una vida útil de 10 días a  $0^\circ\text{C}$  pero si se quiere prolongar hasta 14 días sí es necesario el EAM y, en particular, un EAM activo ya que logra frenar la pérdida de aroma. Este parámetro fue el único que limitó la vida útil del testigo (Tabla 4.5).

**Tabla 4.5.** Interacción (tiempo conservación x atmósfera gaseosa) en el aroma y la firmeza de melón Amarillo procesado en fresco conservado 14 días a 0°C (testigo, EAM, EAM + CaCl<sub>2</sub>, EAM-CO<sub>2</sub> o EAM-N<sub>2</sub>).

<b>Aroma (1-9)</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Testigo</b>	7,3 <sup>z</sup> Aa	6,0 Aab	3,7 Bb
<b>EAM</b>	7,3 Aa	6,3 Abab	5,7 Ba
<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	7,3 Aa	5,7 Bb	5,1 Ba
<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	7,3 Aa	7,3 Aa	5,7 Ba
<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	7,3 Aa	6,0 ABab	5,1 Ba
<b>Firmeza (N)</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Testigo</b>	10 Aa	8,3 ABa	6,2 Bb
<b>EAM</b>	10 Aa	8,5 ABa	7,1 Bb
<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	10 Aa	10,5 Aa	10,5 Aa
<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	10 Aa	10,2 Aa	9,8 Aa
<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	10 Aa	10,1 Aa	9,4 Aa

<sup>z</sup>Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 4.2) por la prueba de LSD.

#### 4.3.3.2. Firmeza.

Tanto tiempo como tipo de EAM influyeron en la retención de la firmeza (Tabla 4.2). Sólo el EAM+CaCl<sub>2</sub> o EAM activo lograron mantener la firmeza a lo largo de la conservación. En cambio, el testigo y el EAM pasiva consiguieron retenerla sin cambios significativos pero sólo hasta el día 10 (Tabla 4.5), donde el ablandamiento alcanzó el 17-15%. Hasta esta fecha no hubo diferencias entre los distintos tratamientos. Sin embargo, después de 14 días, las secciones EAM+CaCl<sub>2</sub> o con atmósferas activas fueron más firmes. El ablandamiento fue de un 38% para el testigo, 29% en EAM pasiva, 6% en EAM-N<sub>2</sub> y 2% en EAM-CO<sub>2</sub>. Soliva-Fortuny *et al.* (2002) encontraron que la preservación de la textura en peras procesadas en fresco estaba directamente relacionada con la presencia de O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza. En concordancia con estos investigadores el barrido inicial de N<sub>2</sub> frenó el ablandamiento, aunque las bajas concentraciones de O<sub>2</sub> no duraron mucho.

El baño cálcico incrementó la firmeza del melón sin detectarse señal alguna de ablandamiento. Según estos resultados, el  $\text{CaCl}_2$  es muy eficaz para retener la firmeza, siendo tan útil como el EAM activa.

Otro factor importante a señalar es el efecto de la temperatura, comparando con los resultados encontrados en otros ensayos. Recordemos que el ablandamiento obtenido en el Capítulo 3 con este mismo plástico (OPP) fue de un 28% en el día 10 y un 34% en el 14 (4-5 kPa  $\text{O}_2$  y 11-12 kPa  $\text{CO}_2$ ); no se comparará con el testigo dado que éste se reseco “falseando los datos”. En el Capítulo 2 de AC a 5°C, el testigo (aire) se ablandó un 35% en el día 10 alcanzando el 41% al cabo de dos semanas. En el Capítulo 5, el testigo a 5°C y EAM pasiva con una atmósfera similar a la encontrada aquí (16,8-17 kPa  $\text{O}_2$  y 3 kPa  $\text{CO}_2$ ) se detectó un ablandamiento del 36% en tan sólo 8 días. Como se puede intuir y confirmando los resultados del Capítulo 1, Sección 1.3.3.1. la temperatura frenó el ablandamiento aunque las diferencias son cada vez menores conforme avanza la conservación. Gorny *et al.* (1998) encontraron un ablandamiento mucho mayor a 10°C que a 0 ó 5°C en melocotón y nectarina procesada. La diferencia fue de un 50% cuando se conservaban a 10°C y de un 15% al mantenerlas a 5°C, ambos frente a 0°C. Esta acción puede deberse a la mayor emisión de  $\text{C}_2\text{H}_4$  y/o actividad enzimática y/o por un mayor crecimiento microbiano que podría ablandar el producto al sintetizar enzimas hidrolíticos.

#### 4.3.3.3. Color.

Los cambios de color en el zumo no fueron significativos para ninguno de los factores estudiados (los valores obtenidos fueron para  $L^* = 33,2 \pm 2,1$ ;  $IB = 32,4 \pm 1,8$ ;  $^{\circ}H = 105,5 \pm 1,2$  y  $\text{Croma} = 8,3 \pm 1,9$ ). En cambio, los parámetros e índices determinados en la pulpa del melón, como  $L^*$  e IB estuvieron influidos por el tiempo de conservación y tipo de EAM. El color ( $^{\circ}H$ ) y el tono (Croma) sólo se vieron afectados por el tiempo de conservación (Tabla 4.6).

Se encontró una reducción en la luminosidad ( $L^*$ ) e IB se encontró en el testigo conforme se prolongaba el tiempo de conservación. El EAM y EAM- $\text{CO}_2$  también redujeron estos índices pero sólo hubo diferencias significativas entre el inicial y días 14 (Tabla 4.7.). Con el EAM- $\text{N}_2$  y, en especial, con la aplicación de  $\text{CaCl}_2$  los cambios en los índices mencionados no fueron significativos. No obstante, estas reducciones en los índices mencionados no conllevaron a mostrar translucencia tan sólo el testigo tras la conservación mostraría una pulpa menos “blanca”.

**Tabla 4.6.** Efecto del tiempo de conservación y tipo de atmósfera (testigo, EAM, EAM + CaCl<sub>2</sub>, EAM-CO<sub>2</sub> o EAM-N<sub>2</sub>) en los parámetros de color en la pulpa de melón Amarillo procesado en fresco durante 14 días a 0°C.

Tiempo	Atmósfera	L*	IB	°H	Croma
<b>Inicial</b>		78,9 <sup>z</sup>	76,5	112,4	10,3
<b>Día 10</b>	<b>Testigo</b>	76,7	73,9	114,2	11,8
	<b>EAM</b>	78,1	75,1	112,6	10,1
	<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	78,0	75,8	113,5	11,9
	<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	77,1	74,5	115,8	12,7
	<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	79,2	75,9	115,1	12,0
<b>Día 14</b>	<b>Testigo</b>	73,4	70,8	114,2	11,6
	<b>EAM</b>	76,6	73,9	113,1	10,2
	<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	76,9	74,4	114,9	11,6
	<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	76,1	72,9	114,0	10,9
	<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	77,2	74,2	116,2	11,8
<b>Tiempo</b>		(1,0) <sup>c</sup>	(0,9) <sup>c</sup>	(1,4) <sup>c</sup>	(1,2) <sup>c</sup>
<b>Atmósfera</b>		(1,2) <sup>c</sup>	(1,2) <sup>c</sup>	NS	NS
<b>Tiempo x atmósfera</b>		(2,1) <sup>c</sup>	(2,1) <sup>c</sup>	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5, excepto para el color, n = 35); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001.

De forma contraria a como se observó en el Capítulo anterior el tono (°H) y la saturación (Croma) no disminuyeron con el tiempo de conservación (Tabla 4.9) lo que muestra que el melón a esta temperatura no tuvo ninguna tendencia hacia la madurez.

**Tabla 4.7.** Interacción (tiempo conservación x atmósfera) en la luminosidad, índice de blancura, AT y pH de melón Amarillo procesado en fresco conservado 14 días a 0°C (testigo, EAM, EAM + CaCl<sub>2</sub>, EAM-CO<sub>2</sub> o EAM-N<sub>2</sub>).

<b>L* pulpa</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Testigo</b>	78,9 <sup>z</sup> Aa	76,7 Bb	73,4 Cb
<b>EAM</b>	78,9 Aa	78,1 ABab	76,6 Ba
<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	78,9 Aa	78,0 Aab	76,9 Aa
<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	78,9 Aa	77,1 ABab	76,1 Ba
<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	78,9 Aa	79,2 Aa	77,2 Aa

<b>IB pulpa</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Testigo</b>	76,5 Aa	73,9 Ba	70,8 Cb
<b>EAM</b>	76,5 Aa	75,1 ABa	73,9 Ba
<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	76,5 Aa	75,8 Aa	74,4 Aa
<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	76,5 Aa	74,5 ABa	73,9 Ba
<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	76,5 Aa	75,9 ABa	74,2 Ba

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 4.6) por la prueba de LSD.

#### 4.3.3.4. SST y azúcares.

Se observó una reducción en los SST conforme se prolongaba la conservación que fue significativa después de 14 días (Tablas 4.8 y 4.9). Como sucedió en los Capítulos 1,2,5, 6 y 7, la disminución en los SST fue acompañada de una reducción en el contenido de sacarosa. Se observó un incremento en el contenido de fructosa y glucosa, indicando que el disacárido se disoció en sus monosacáridos incrementando el contenido inicial de éstos.

En los Capítulos 5,6 y 7 se ha observado la habitual disminución en sacarosa a 5°C acompañada de un incremento en sus monosacáridos pero al finalizar la conservación, el contenido en glucosa volvía a reducirse, es decir, este monosacárido sufría un incremento hacia mitad de la conservación seguido de una reducción al finalizar el almacenamiento. Con la aplicación de bajas temperaturas se ha observado que la glucosa no disminuyó al finalizar la prolongada conservación (Tabla 4.9), es decir, el metabolismo a esta temperatura se ralentiza observándose sólo la disociación de la sacarosa y no la posterior reducción en glucosa.

**Tabla 4.8.** Efecto del tiempo de conservación y tipo de atmósfera (Testigo, EAM, EAM + CaCl<sub>2</sub>, EAM-CO<sub>2</sub> o EAM-N<sub>2</sub>) en los SST y azúcares de melón Amarillo procesado en fresco durante 14 días a 0°C.

Tiempo	Atmósfera	SST	Fructosa	Glucosa	Sacarosa
<b>Inicial</b>		10,0 <sup>z</sup>	18,70	19,36	60,85
<b>Día 10</b>	<b>Testigo</b>	9,1	19,52	19,24	46,33
	<b>EAM</b>	9,1	19,71	20,00	48,67
	<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	9,4	21,08	20,48	48,17
	<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	9,1	20,39	20,15	48,67
	<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	9,3	20,73	20,52	52,17
<b>Día 14</b>	<b>Testigo</b>	8,6	20,72	20,80	41,47
	<b>EAM</b>	8,9	19,16	19,92	45,80
	<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	9,1	20,25	20,80	47,61
	<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	8,7	20,71	20,27	43,27
	<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	9,1	21,21	20,59	48,07
<b>Tiempo</b>		(0,7) <sup>a</sup>	(1,0) <sup>c</sup>	(0,9) <sup>b</sup>	(3,53) <sup>c</sup>
<b>Atmósfera</b>		NS	NS	NS	NS
<b>Tiempo x atmósfera</b>		NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: contenido en sólidos solubles (°Brix). Fructosa, glucosa, sacarosa (gL<sup>-1</sup>). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

La relación glucosa/fructosa mostró pocos cambios mostraron pasando de 1,04 en el día 0 a 1,03 encontrado en el EAM ó 0,97 en el EAM-N<sub>2</sub> después de la conservación. En los Capítulos mencionados y, en especial, en el Capítulo 1, se ha discutido ampliamente los cambios observados en los azúcares por lo que no insistiremos en ello.

**Tabla 4.9.** Separación de medias cuando el factor tiempo fue significativo en los °H, croma, SST, azúcares y ácido málico de melón Amarillo procesado en fresco conservado 14 días a 0°C (testigo, EAM, EAM + CaCl<sub>2</sub>, EAM-CO<sub>2</sub> o EAM-N<sub>2</sub>).

	°H	Croma	SST	Fructosa	Glucosa	Sacarosa	Málico
<b>Inicial</b>	112,4 <sup>z</sup> b	10,3 b	10,0 a	18,7 b	19,34 b	60,88 a	0,07 a
<b>10 días</b>	114,2 a	11,7 a	9,2 ab	20,28 a	20,07 ab	48,8 b	0,04 b
<b>14 días</b>	114,5 a	11,2 ab	8,9 b	20,41 a	20,47 a	45,24 c	0,05 b

<sup>z</sup>Medias seguidas de misma letra no son significativamente diferentes (P según Tablas 4.6, 4.8 y 4.10) por la prueba LSD.

#### 4.3.2.6. pH, AT y principales ácidos orgánicos.

La interacción tiempo x tipo de atmósfera influyó en los cambios observados en la AT (Tabla 4.11). El testigo y EAM sufrieron un ligero incremento en la AT que no fue acompañado por un descenso significativo del pH (Tabla 4.10). Los tratamientos EAM + CaCl<sub>2</sub>, EAM-CO<sub>2</sub> y EAM-N<sub>2</sub> no se detectaron cambios en la AT conforme se prolongó la conservación mostraron valores de AT más bajos que el testigo.

Este comportamiento fue similar al observado en el Capítulo 2 (Sección 2.3.2.6.). De nuevo, el incremento en la AT del testigo se relaciona con un aumento en el contenido de ácido cítrico a expensas de una reducción en la sacarosa, mientras que la disminución de AT en los tratamientos de EAM activo se relacionan con una reducción en el ácido cítrico y con el consumo de sacarosa.

**Tabla 4.10.** Efecto del tiempo de conservación y tipo de atmósfera (Testigo, EAM, EAM + CaCl<sub>2</sub>, EAM-CO<sub>2</sub> o EAM-N<sub>2</sub>) en el pH, AT y ácidos orgánicos de melón Amarillo procesado en fresco durante 14 días a 0°C.

Tiempo	Atmósfera	pH	AT	Málico	Cítrico
<b>Inicial</b>		5,73	0,07	0,07	0,12
<b>Día 10</b>	<b>Testigo</b>	5,72	0,09	0,04	0,14
	<b>EAM</b>	5,67	0,09	0,05	0,13
	<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	5,56	0,07	0,04	0,09
	<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	5,78	0,07	0,04	0,10
	<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	5,68	0,06	0,03	0,11
<b>Día 14</b>	<b>Testigo</b>	5,70	0,10	0,05	0,14
	<b>EAM</b>	5,71	0,08	0,05	0,12
	<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	5,58	0,08	0,05	0,13
	<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	5,82	0,06	0,05	0,09
	<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	5,76	0,07	0,04	0,09
<b>Tiempo</b>		NS	NS	(0,01)	NS
<b>Atmósfera</b>		NS	(0,01) <sup>c</sup>	NS	(0,02) <sup>b</sup>
<b>Tiempo x atmósfera</b>		NS	(0,02) <sup>c</sup>	NS	(0,03) <sup>a</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>). Málico y cítrico (g · 100 mL<sup>-1</sup>).

El contenido en ácido cítrico fue similar al encontrado en el Capítulo 2. El ácido málico determinado en este ensayo (0,04 a 0,07 g · 100 mL<sup>-1</sup>) fue ligeramente mayor que el encontrado en el Capítulo mencionado (0,04 a 0,02 g · 100 mL<sup>-1</sup>), probablemente por tratarse de variedades distintas. En ambos Capítulos, se observa que el tiempo redujo el contenido de este ácido. Los valores de ascórbico oscilaron entre 7,97 y 3,93 mg · 100mL<sup>-1</sup>.

**Tabla 4.11.** Interacción (tiempo conservación x atmósfera gaseosa) en AT y contenido en ácido cítrico del zumo de melón Amarillo procesado en fresco conservado 14 días a 0°C (testigo, EAM, EAM + CaCl<sub>2</sub>, EAM-CO<sub>2</sub> o EAM-N<sub>2</sub>).

<b>AT</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Testigo</b>	0,07 Ba	0,09 ABa	0,10 Aa
<b>EAM</b>	0,07 Ba	0,09 Aa	0,08 Aab
<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	0,07 Aa	0,07 Aab	0,08 Aab
<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	0,07 Aa	0,07 Aab	0,06 Ab
<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	0,07 Aa	0,06 Ab	0,07 Ab
<b>Cítrico</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>10d</b>	<b>14d</b>
<b>Testigo</b>	0,12 Aa	0,14 Aa	0,14 Aa
<b>EAM</b>	0,12 Aa	0,13 Aab	0,12 Aab
<b>EAM+CaCl<sub>2</sub></b>	0,12 ABa	0,09 Bc	0,13 Aa
<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	0,12 Aa	0,10 Abc	0,09 Ab
<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	0,12 Aa	0,11 Abc	0,09 Ab

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 4.10) por la prueba de LSD. AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>). Cítrico (g · 100 mL<sup>-1</sup>).

#### 4.3.4. Análisis microbiológico.

Los recuentos microbianos obtenidos en todos los tratamientos fueron muy bajos en comparación con los obtenidos cuando la conservación de melón procesado era a 5°C (Capítulos 3, 5, 6 y 7). Normalmente, a esta temperatura los recuentos en el día 8 ó 10 oscilaban sobre 6-8 unidades log (según tratamientos). Desde el punto de vista de la calidad microbiana, siguiendo los criterios de la legislación española (RD 3484/2000, 2001), es posible una vida útil de 14 días

cuando la temperatura de conservación es de 0°C sin necesidad de un EAM pasivo o activo. No obstante, los recuentos bacterianos fueron mayores en el testigo y en el EAM-N<sub>2</sub> (Tabla 4.11).

El CO<sub>2</sub> es el único gas que posee una verdadera actividad antimicrobiana, al aumentar la fase logarítmica del crecimiento microbiano (Phillips, 1996). Esta fue la razón por la que se observó un bajísimo crecimiento microbiano en el EAM-CO<sub>2</sub>. En ninguno de los tratamientos se observó crecimiento alguno de levaduras o mohos, como sucedió en el Capítulo 2 de AC con las mezclas de aire + 15 kPa CO<sub>2</sub> y 4 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPaCO<sub>2</sub> que también inhibieron el desarrollo de hongos tras 14 días a 5°C.

**Tabla 4.12.** Recuentos microbiológicos (log cfu·g<sup>-1</sup>) en melón Amarillo procesado en fresco conservado en aire, EAM pasiva con o sin CaCl<sub>2</sub>, EAM-CO<sub>2</sub> y EAM-N<sub>2</sub> durante 14 días a 0°C.

Tratamiento		Mesófilos	Psicrotrofos	Levaduras	Mohos
<b>Inicial</b>		<1	<1	<1,7	<1,7
<b>10 días</b>	<b>Testigo</b>	2,3 <sup>z</sup> ± 0,04	2,0 ± 0,10	<1,7	<1,7
	<b>EAM</b>	<1	<1	<1,7	<1,7
	<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	<1	<1	<1,7	<1,7
	<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	2,0 ± 0,02	2,4 ± 0,04	<1,7	<1,7
<b>14 días</b>	<b>Testigo</b>	2,5 ± 0,1	2,5 ± 0,02	<2	<2
	<b>EAM</b>	<1	<1	<2	<2
	<b>EAM-CO<sub>2</sub></b>	<1	1,0 ± 0,02	<2	<2
	<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	2,5 ± 0,02	2,6 ± 0,02	<2	<2

<sup>z</sup>Media (n= 5) ± error estándar.

La temperatura de conservación tuvo un significativo repercusión en el crecimiento microbiano. Cacace *et al.* (2002) observaron un crecimiento bacteriano de 6 log en patatas procesada en fresco después de 21 día a 1°C y una población similar tras 7 días a 6°C. Lo cual indica, que para un producto procesado en fresco, la temperatura, es el principal parámetro para prolongar su vida útil y mantener una adecuada calidad tanto sensorial como microbiológica al inhibir la respiración, transpiración y crecimiento microbiano (Bolin *et al.*, 1977; Cantwell y Suslow, 2002; Gorny *et al.*, 1998; Jacxsens *et al.*, 2002; Kader *et al.*, 1989; Shewfelt, 1986).

Coincidiendo con Rosenfeld *et al.* (1999), la temperatura de conservación es más importante que el tipo de plástico y AM generada. A 0°C se logró reducir el crecimiento microbiano.

Como se ha podido comprobar en este Capítulo la temperatura es la técnica fundamental para prolongar la vida útil de productos procesados en fresco, seguida del (Schlimme y Rooney, 1997).

#### **4.4. CONCLUSIONES.**

El EAM pasivo o activo permitió una vida útil de 14 días a 0°C con una óptima calidad sensorial, microbiológica y sin el desarrollo de translucencia.

La utilización de una sal cálcica como el CaCl<sub>2</sub> al 1% fue tremendamente efectiva para frenar el ablandamiento, pero esta dosis impartió un ligero sabor salado aunque no lo suficiente como para ser evaluado por debajo del límite de comercialización.

La combinación de esta baja temperatura con el EAM activa (alto CO<sub>2</sub> ó bajo O<sub>2</sub>) también fue efectiva en retener la firmeza (6%).

A pesar de que todos los tratamientos incluidos el testigo, desde el punto de vista microbiológico, lograban una vida útil de 14 días, éste no pudo prolongarse hasta esa fecha debido a una pérdida de aroma que sí se consiguió con el EAM.

El uso de 0°C fue muy importante para prolongar la vida útil, al reducir la actividad metabólica y garantizar una óptima seguridad microbiológica sin observarse daños por frío.

## Capítulo 5. ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE CLORURO CÁLCICO A DOS TEMPERATURAS SOBRE LA CALIDAD Y EL ABLANDAMIENTO DE MELÓN PROCESADO EN FRESCO

### 5.1.INTRODUCCIÓN.

El melón procesado en fresco es muy susceptible a ablandarse, tal y como se ha comprobado en los Capítulos anteriores. Generalmente, al aumentar los niveles de calcio en la fruta ya sea entera o procesada se reduce ablandamiento, además de prevenir desórdenes fisiológicos (Conway, 1989; Fallahi *et al.*, 1997), disminuir podredumbres (Conway y Sams, 1984), y retrasar la maduración y senescencia, alargando la vida útil del producto tal y como observaron Lester (1996,1998) en discos de Honeydew y Luna-Guzmáz *et al.* (1999) y Luna-Guzmán y Barret (2000) en cilindros de Cantaloupe.

La aplicación del calcio puede realizarse en precosecha con abonados cálcicos o pulverizaciones foliares o una vez recolectada la fruta mediante infiltraciones a vacío, aplicación de sprays o baños cálcicos. Combrink y Maree (1995) demostraron en Muskmelon que la firmeza mejoraba con soluciones nutritivas ricas en calcio. La aplicación de abonados cálcicos en melón no influyeron en la concentración de la piel, pero la deficiencia de este catión en el abonado disminuyó la cantidad de calcio en la pulpa, especialmente entre el periodo 20 a 33 dda (Bernadac *et al.*, 1996). Serrano *et al.* (2002) comprobaron que la nutrición cálcica (4 frente a  $1,33 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{+2}$ ) tuvo un importante efecto en la firmeza e inhibición de translucencia en Cantaloupe. Sin embargo, abonados de fondo enriquecidos en este catión no aumentaron los niveles cálcicos en el tejido de sandía (Scott *et al.*, 1993). El aporte foliar no tuvo éxito en mango (McKenzie, 1994). Aunque Benavides *et al.* (2002) al aplicarlo en manzanas y Gerasopoulos y Richardson (1999) en peras mediante atomizaciones foliares lograron retrasar el ablandamiento. Siddiqui y Bangerth (1995) pulverizaron  $\text{CaCl}_2$  en manzanos durante el crecimiento del fruto y comprobaron que no necesariamente conduce a una fruta más firme pero sí a una mejor retención de la firmeza durante el almacenamiento. Con respecto a las infiltraciones, en ocasiones, se ha observado un daño superficial cuando se aumenta la concentración cálcica (Abbott *et al.*, 1989; Shorter y Joyce, 1998; Tirmazi y Wills, 1981; Van Eden, 1992).

Los intentos por aumentar los niveles de calcio en la fruta recolectada a través de pulverizaciones o por infiltraciones en aguacate (Yuen *et al.*, 1994) o mangos (Wills *et al.*, 1988; Van Eeden, 1992; Joyce *et al.*, 2001) han sido dificultosos y su éxito limitado. Van Eeden (1992) encontró que con este método hay poco movimiento más allá de la capa superficial. La

cutícula de la fruta presenta una importante barrera para la penetración del calcio mediante sprays (Norris y Bukovac, 1968; Richardson y Lombard, 1979). Sin embargo, baños de  $\text{CaCl}_2$  al 4% (Tirmazi y Wills, 1981) o 8% (Mootoo, 1991; Yuniarti y Suhardi, 1992) han logrado prolongar la vida útil de mangos. Con este método se consigue un incremento en el contenido cálcico acompañado de una mejor retención de la firmeza como encontraron Hanson *et al.* (1993) en moras tratadas al 1,2 y 4% con  $\text{CaCl}_2$  sin diferencias entre los tiempos de lavado (0,5; 2 ó 4 min), García *et al.* (1996) en fresa con 1,2% de  $\text{CaCl}_2$  durante 1,5 min, Duque *et al.* (1999) en manzanas en esas mismas condiciones, Lester y Whitaker (1996) y Lester y Grusak (1999) en melón entero bañado durante 20 min con quelato de calcio, Lester (1996) en discos de melón con 0,16% a 0,32% de  $\text{CaCl}_2$ , Tsantili *et al.* (2002) en limones verdes pintones durante 25 min a una concentración de 0,36% de  $\text{CaCl}_2$ , Chantanawarangoon y Kader (2002) en cubos de mango con 1% de  $\text{CaCl}_2$  durante un min y Picchioni *et al.* (1994) en zanahoria triturada bañada durante 2 min al 1% de  $\text{CaCl}_2$ . Izumi y Watada (1994) mantuvieron este mismo producto durante 2 min a 26°C a de 0,5 y 1% de  $\text{CaCl}_2$ , y la textura de las muestras tratadas permanecieron con un elevado nivel pero sin diferencias entre 0,5 y 1%.

Así mismo, Luna-Guzmán *et al.* (1999) aplicaron estos baños durante 1 ó 5 min cilindros de Cantaloupe en 1, 2,5 y 5% de  $\text{CaCl}_2$  (dihidratado) observando unos cilindros más firmes a mayor concentración de  $\text{CaCl}_2$  pero no a mayor tiempo de inmersión, además con la aplicación de 2,5% de  $\text{CaCl}_2$  investigaron el efecto de la temperatura del baño 20, 40 y 60°C detectando una mejor firmeza con la aplicación de elevadas temperaturas en el baño. Hay que indicar que en este trabajo, no realizaron ningún análisis sensorial dado que, más tarde, Luna-Guzmán y Barret (2000) trabajando en ese mismo producto, probaron soluciones de  $\text{CaCl}_2$  y lactato cálcico al 2,5% a 25 y 60°C y detectaron un sabor amargo con la aplicación de  $\text{CaCl}_2$  a esta concentración.

La cantidad de calcio penetrada en el fruto (entero o procesado) estará controlada por la concentración del calcio en la solución, tiempo de inmersión y temperatura de la disolución (Poovaiah, 1986), además, influye el tamaño de la fruta (Van Eeden, 1992; Qiu *et al.*, 1995; Siddiqui y Bangerth, 1995). Por ello, según todo lo expuesto, las condiciones elegidas para mejorar la firmeza del melón Amarillo procesado en secciones trapezoidales fueron baños con  $\text{CaCl}_2$ , al 0,5% ya que según el Capítulo 4, la concentración al 1% impartió un sabor salado al melón. El tiempo de lavado fue 1 min dado que Hanson *et al.* (1993) y Luna-Guzmán *et al.* (1999) no observaron diferencias en los tiempos de lavado. Para la temperatura del baño, se eligieron 5 y 60°C ya que sólo estos autores han comprobado la efectividad de la temperatura en la firmeza y fue en cilindros de Cantaloupe.

## 5.2. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 5.2.1. Material vegetal.

El material vegetal estuvo compuesto por melones Amarillos de la variedad “Solaris”, cultivados en Albacete. Los frutos se recolectaron en agosto y se seleccionaron en función de su tamaño y coloración externa, descartándose los que presentaban lesiones por golpes y/o rozaduras o alteraciones. De la selección se tomó al azar una muestra de 20 melones a los que se determinó el peso, color y los diámetros ecuatorial y polar (Tabla 5.1).

**Tabla 5.1.** Caracterización inicial (peso, calibres y color de epidermis) del melón Amarillo “Solaris”.

Peso (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)	Color epidermis		
			L*	°H	Croma
2558 <sup>z</sup> ± 41,1	16,7 ± 0,2	19,5 ± 0,1	76,5 ± 0,2	91,4 ± 0,6	58,9 ± 0,7

<sup>z</sup>Media (n = 20) ± error estándar.

### 5.2.2. Preparación de la muestra.

El procesado en secciones trapezoidales se efectuó como se ha descrito en el Capítulo 1 (Sección 1.2.2.). Las dimensiones de las secciones trapezoidales fueron (media ± error estándar), 4,8 ± 0,1 x 2,7 ± 0,1 x 2,6 ± 0,1 cm.

El procesado se sumergió durante 1 min en agua clorada a 25°C (temperatura de la red) con 100 mg·L<sup>-1</sup> de NaOCl (pH = 7,5). No se usó agua fría dado que después de este lavado le siguen los baños a 60°C. Escurrido el procesado se introdujo en un baño (Selecta, J.P. Barcelona, España) a 64°C donde previamente se había diluido CaCl<sub>2</sub> con una pureza del 98% (Panreac Química, S.A., España) a una concentración de 0,5% en peso (10,2 g · L<sup>-1</sup> de CaCl<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O).

Al introducir el producto en el baño caliente, la temperatura disminuyó 4°C. El tiempo de inmersión fue de 1 min. Tras el baño caliente, el procesado se escurrió y colocó sobre una bandeja para enfriarlo en un congelador a -20°C hasta alcanzar una temperatura aproximada de 20°C (Luna-Guzmán *et al.*, 1999), lo que normalmente requería una hora. El testigo, a esta temperatura, se obtuvo de la misma forma pero sin adicionar CaCl<sub>2</sub> en el baño.

Para preparar los tratamientos en agua fría, un tercer lote de secciones trapezoidales se sumergió 1 min en agua clorada a 5°C (100 mg·L<sup>-1</sup> de NaClO, pH = 7,5) constituyendo el testigo de 5°C. El cuarto y último lote se sumergió en una nueva agua en las condiciones citadas a la que se le adicionó 10,2 g · L<sup>-1</sup> de CaCl<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O. La duración del baño fue de 1 min. Tanto a 5 como a 60°C esta sal se diluyó muy bien dejando un agua transparente.

Para cada lote se utilizaron 15 L de agua y 5 Kg de melón procesado, relación recomendada por Huxsoll (1989).

Unos 450g de este melón procesado y bañado a 5 ó 60°C con o sin calcio, se envasó en barquetas de PP de 1 L (modelo CLTP1000E, Plásticos de Alzira S.A., Valencia, España). Las cestas se termosellaron (Barket, Befor Model, Chassieu, France) en su perímetro superior con un PPO de 35  $\mu\text{m}$  de espesor (Danisco Flexible, Tipo 260, Bristol, Reino Unido) con tratamiento antivaho. Se utilizó un polímero microperforado para evitar la acumulación de  $\text{CO}_2$  y poder así estudiar la efectividad de los baños cálcicos. Todas las muestras se almacenaron durante 8 días a 5°C y 95% HR. Dado que el objetivo fue estudiar el efecto del calcio en el ablandamiento y éste aumenta en los primeros días, según los Capítulos anteriores, se optó por realizar tres salidas, al inicio del experimento, día 3 y 8. Se dispusieron 5 repeticiones por baño y salida.

Por otro lado, para evaluar la tasa respiratoria de los distintos tratamientos, se pesaron 250 g de secciones trapezoidales y se colocaron en frascos de vidrio (0,75 L). Éstos se alojaron en una cámara frigorífica a 5°C donde se les hizo pasar un flujo de aire (0,1 a 0,3 L  $\text{h}^{-1}$  y 95% HR), a través de un sistema mezclador de gases.

### 5.2.3. Determinaciones.

Para evaluar la eficacia del calcio, así como la temperatura idónea de aplicación se realizaron las siguientes determinaciones (Materiales y Métodos, Sección 2).

Diariamente y en todos los tratamientos se determinó por el sistema estático la tasa respiratoria y emisión de etileno. Además, de forma regular se determinaron por CG las concentraciones gaseosas de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  en el interior de las tarrinas.

En cada salida se realizó un:

- Análisis sensorial (escala hedónica de 9 puntos)
- Color
- Firmeza y retención de calcio.
- Análisis microbiológico

En el zumo obtenido a partir del melón procesado, además, se evaluaron:

- Color
- SST y azúcares
- pH, AT y ácidos orgánicos

En todas las determinaciones se evaluaron 5 repeticiones por tratamiento salvo para la firmeza y color en pulpa donde la media está compuesta por 35 valores, se evaluaron 7 piezas de cada repetición.

Dado que el objetivo de este ensayo fue estudiar los beneficios de los baños cálcicos en la firmeza y ésta está influenciada por el tiempo de conservación, se optó por realizar un análisis ANDEVA (tiempo de conservación x tipo de baño). Cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó la prueba de comparación de medias LSD.

### 5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 5.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno.

Confirmando lo descrito en los Capítulos anteriores (Secciones 3.1), el procesado se tradujo en un incremento instantáneo en la tasa respiratoria y emisión de  $C_2H_4$  debido al estrés del corte. Éste se prolongó hasta el tercer día, en el que la tasa respiratoria y emisión de  $C_2H_4$  del melón entero se aproximó al del procesado. Durante este periodo apenas existen diferencias entre los tratamientos cálcicos y las temperaturas empleadas (Figura 5.1), salvo en el  $CaCl_2$  a  $60^\circ C$  donde se observó una mayor emisión de  $C_2H_4$  (Figura 5.2).

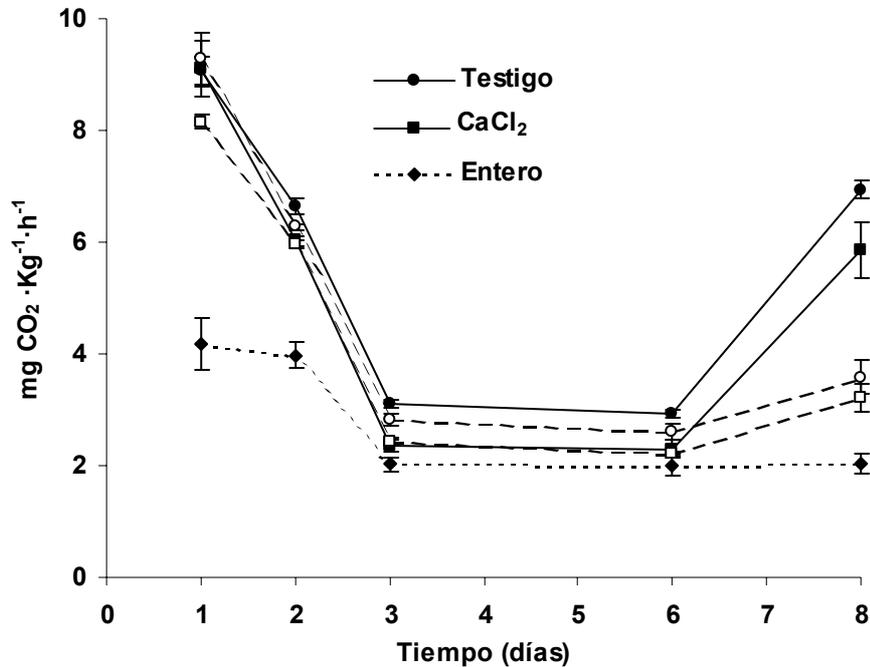
A partir de esta fecha el testigo bañado a  $60^\circ C$  experimentó una mayor tasa respiratoria y emisión de  $C_2H_4$  en comparación al resto. Luna-Guzmán *et al.* (1999) también encontró en el testigo una mayor tasa respiratoria pero acompañada de una menor emisión de  $C_2H_4$  que en los tratados con  $CaCl_2$  (1 ó 5% de  $CaCl_2$  durante 1 min a temperatura ambiente).

Todos los tratamientos de melón procesado aumentaron su emisión de  $CO_2$  y  $C_2H_4$  a partir del sexto día, en comparación al melón entero el cual no varía su metabolismo. El incremento de  $CO_2$  y  $C_2H_4$  durante los dos últimos días se debió al crecimiento microbiano y a un deterioro general del tejido provocado por la proximidad a la senescencia (Figuras 1 y 2), como encontraron Luna-Guzmán y Barret (2000), Bai *et al.* (2001) y Madrid y Cantwell (1993) en cubos o cilindros de Cantaloupe a  $5^\circ C$  entre el sexto, séptimo u octavo día respectivamente y hemos comprobado en los Capítulos anteriores de esta misma Sección.

Al igual que Luna-Guzmán *et al.* (1999) se observó una pauta respiratoria similar en todas las temperaturas ensayadas. En cambio, Serrano *et al.* (2002) encontraron que con abonados ricos en calcio el pico de producción de etileno se retrasaba dos días frente a melones crecidos con poco calcio, indicando una acelerada madurez cuando éste elemento está en niveles bajos. La pulverización de  $CaCl_2$  (32,3 mM) en perales “d’Anjou” alargó en 10 días más el comienzo del climaterio y emisión de etileno, en comparación al testigo, en peras recolectadas y conservadas a  $20^\circ C$  (Gerasopoulos y Richardson, 1999).

Luna-Guzmán *et al.* (1999) detectaron una ligera menor producción de  $CO_2$  conforme aumentaba la temperatura del baño cálcico ( $20$ ,  $40$  y  $60^\circ C$ ) sin observar diferencias en la emisión

de  $C_2H_4$  entre los tratados con calcio y el testigo. Pero Luna-Guzmán y Barret (2000) obtuvieron la mayor producción de  $C_2H_4$  cuando el baño cálcico ( $CaCl_2$  o lactato cálcico) se aplicaba a  $60^\circ C$  versus  $25^\circ C$ .

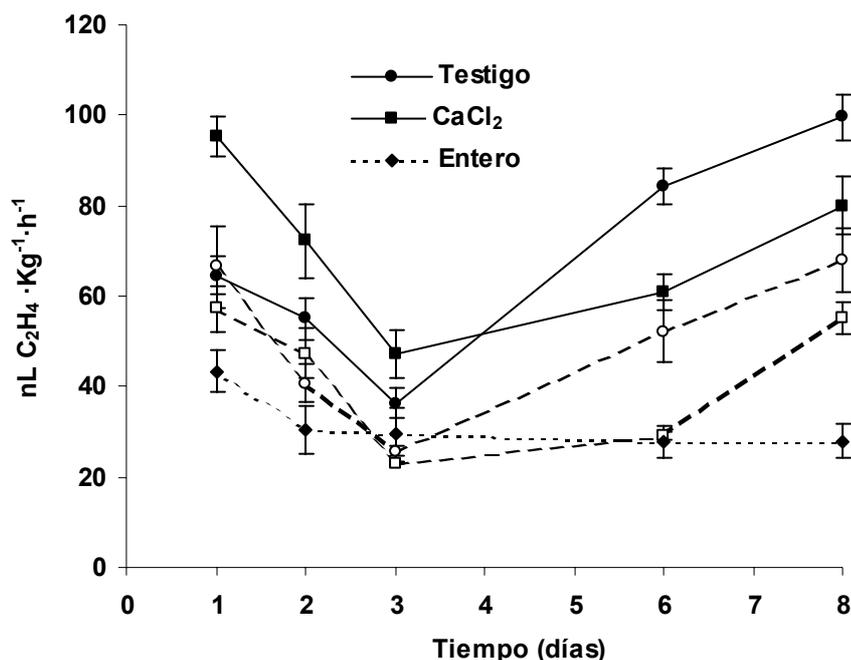


**Figura 5.1.** Tasa respiratoria de melón Amarillo procesado en fresco bañado en sales cálcicas a distintas temperaturas y conservado durante 8 días a  $5^\circ C$ . Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar.

Líneas continuas y marcador sólido: Melón procesado en fresco bañado a  $60^\circ C$ . Líneas discontinuas y marcador transparente: Melón procesado en fresco bañado a  $5^\circ C$ . Línea punteada: Melón entero sin tratamientos de lavado.

Según los datos expuestos, los baños a  $60^\circ C$  tanto en el testigo como en el  $CaCl_2$  incrementaron la emisión de  $CO_2$  y  $C_2H_4$  y para cada temperatura, el calcio tuvo un ligero efecto reductor en la producción de  $CO_2$  y  $C_2H_4$  (Figuras 1 y 2). Según Artés (1995a) pudo deberse a una respuesta fisiológica ante el choque térmico. Dunlap *et al.* (1990) detectaron en melones Cantaloupe tratados a  $45^\circ C$  durante 3 h una mayor producción de etileno (130%) que los no calentados, aunque los niveles disminuían con la duración de la conservación frigorífica. Estos autores pensaron que el elevado nivel de  $C_2H_4$  en respuesta al tratamiento térmico podría deberse al efecto del daño físico en el tejido. En nuestro caso, la inmersión de secciones en un baño a  $60^\circ C$  durante 1 min produjo un estrés manifestándose en un metabolismo más activo, no se observó ningún daño físico salvo una ligera disminución en el IB. Probablemente, el posterior rápido enfriamiento de las muestras evitó daños físicos más importantes.

Faust y Shear (1972) destacaron el papel del calcio en la disminución de la respiración, reducen la producción de etileno y retrasan el comienzo de la maduración tal y como encontraron numerosos autores comentados en la Introducción general (Sección 6.3.) Esta disminución en  $\text{CO}_2$  podría deberse al efecto del calcio en aumentar la rigidez de la membrana y bloquear el intercambio gaseoso (Saftner *et al.*, 1998a). En opinión de Hanson *et al.* (1965) esta diferencia en la respiración podría derivarse directamente del efecto del calcio en la mitocondria o indirectamente de cambios citoplasmáticos que modifican la actividad mitocondrial.



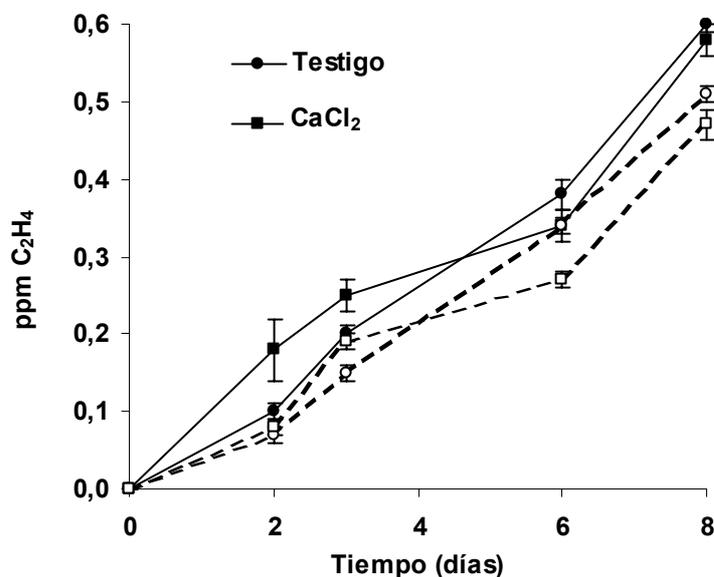
**Figura 5.2.** Emisión de  $\text{C}_2\text{H}_4$  de melón Amarillo procesado en fresco bañado en sales cálcicas a distintas temperaturas y conservado durante 8 días a  $5^\circ\text{C}$ . Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar.

Líneas continuas y marcador sólido: Melón procesado en fresco bañado a  $60^\circ\text{C}$ . Líneas discontinuas y marcador transparente: Melón procesado en fresco bañado a  $5^\circ\text{C}$ . Línea punteada: Melón entero sin tratamientos de lavado.

Los valores encontrados en este estudio para la tasa respiratoria y emisión de  $\text{C}_2\text{H}_4$  son muy similares a los mencionados en los Capítulos 5 (variedad “Doral”) y 7 (esta misma variedad “Solaris”) (entre 4 y 6  $\text{mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  y 80-110  $\text{nL C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Sin embargo, la tasa respiratoria es más baja que la encontrada en los Capítulos 1 y 3, ambos variedad “Solaris”, pero la emisión de  $\text{C}_2\text{H}_4$  es menor que la encontrada en el Capítulo 1. Probablemente la diferencia radica en el sistema elegido para la determinación gaseosa, el dinámico suele suministrar valores más altos, mientras que diferencias en el estado de madurez proporcionan cambios en la cuantificación del  $\text{C}_2\text{H}_4$ , como pudo haber sucedido con los melones empleados en el Capítulo 1 más cercanos a la senescencia.

### 5.3.2. Composición gaseosa en las tarrinas.

La elección de un plástico microperforado evitó la reducción en la concentración de  $O_2$ , así como, la acumulación de  $CO_2$ , tal y como deseábamos, para poder estudiar el efecto exclusivo de los baños cálcicos y de la temperatura empleada en los mismos. Debido a la similitud en las tasas respiratorias de los distintos tratamientos, las concentraciones gaseosas fueron similares, alcanzándose 16,8-17 kPa  $O_2$  y 3 kPa  $CO_2$ . Éstas son semejantes a las citadas en el Capítulo 7 donde se utilizó el mismo tipo de plástico, un microperforado tipo 260. No obstante, el peso de estas tarrinas fue de 450 g frente a los 250 g empleados en el Capítulo 7, pero la elección de tarrinas de distinta capacidad para cada caso proporcionó un volumen libre similar en ambos casos.



**Figura 5.3.** Concentración de  $C_2H_4$  de melón Amarillo procesado en fresco bañado en sales cálcicas a distintas temperaturas y EAM durante 8 días a  $5^\circ C$ . Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar. Líneas continuas y marcador sólido: Melón procesado en fresco bañado a  $60^\circ C$ . Líneas discontinuas y marcador transparente: Melón procesado en fresco bañado a  $5^\circ C$ . Línea punteada: Melón entero sin tratamientos de lavado.

Respecto a la concentración de  $C_2H_4$  generada en las tarrinas (Figura 5.3) se justifican con la emisión de  $C_2H_4$  comentada en el apartado anterior, es decir, los tratamientos bañados a  $60^\circ C$  (testigo y  $CaCl_2$ ) obtuvieron también en la tarrina una ligera mayor concentración de  $C_2H_4$  (0,6 ppm) frente a los bañados a  $5^\circ C$  (0,5 ppm). También estas concentraciones gaseosas son similares a las encontradas en el Capítulo 7 (0,5-0,7 ppm).

### 5.3.3. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos.

#### 5.3.3.1. Evaluación sensorial.

Como viene siendo habitual, el factor tiempo de conservación fue significativo en los parámetros sensoriales. Además, el tipo de baño influyó en la textura y calidad global (Tabla 5.2).

**Tabla 5.2.** Influencia del tiempo de conservación y baños cálcicos en los parámetros sensoriales de melón Amarillo procesado en fresco conservado 8 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Baño	Apariencia (1 – 9)	Sabor (1 – 9)	Aroma (1 – 9)	Textura (1 – 9)	CG (1 – 9)
<b>Inicial</b>		8,0 <sup>z</sup>	8,0	7,0	8,0	8,0
<b>3 días</b>	<b>Testigo 60°C</b>	7,0	7,0	6,0	7,3	7,0
	<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	7,0	7,7	6,0	8,0	7,7
	<b>Testigo 5°C</b>	7,8	7,0	5,3	7,3	6,0
	<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	7,7	6,7	5,3	7,7	7,3
<b>8 días</b>	<b>Testigo 60°C</b>	6,7	5,3	5,0	5,7	5,3
	<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	6,7	5,3	5,7	6,7	6,3
	<b>Testigo 5°C</b>	6,6	5,3	5,0	5,3	5,3
	<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	7,3	5,0	5,0	6,3	5,8
<b>Tiempo conservación</b>		(0,7) <sup>c</sup>	(1,0) <sup>c</sup>	(1,0) <sup>c</sup>	(0,7) <sup>c</sup>	(0,8) <sup>c</sup>
<b>Baño</b>		NS	NS	NS	(0,3) <sup>a</sup>	(0,5) <sup>a</sup>
<b>Tiempo x baño</b>		NS	NS	NS	NS	(0,9) <sup>a</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 3 = pobre, 5 = aceptable (límite de comercialización), 7 = bueno y 9 = excelente. CG: calidad global.

La apariencia, sabor y textura mantuvieron unos valores “buenos” según la escala hedónica durante los tres primeros días (Tabla 5.3), es decir, en los parámetros mencionados no hay diferencias entre el inicio y tres días después. Tras 8 días de conservación, los panelistas redujeron la valoración de los mismos aunque siempre por encima del límite de comercialización. No se detectó sabor salado con la aplicación de CaCl<sub>2</sub> al 0,5%, como ocurrió en el Capítulo 4, donde se aplicó al 1%. Hanson *et al.* (1993) detectaron un ligero sabor salado en moras bañadas al 2 y 4 % con CaCl<sub>2</sub> pero no al 1%, también Luna-Guzmán y Barret (2000) notaron cierto amargor en cilindros de Cantaloupe cuando la concentración del CaCl<sub>2</sub> era de 2,5%.

El aroma fue el parámetro sensorial más lábil al disminuir al tercer día, aunque se mantuvo hasta el octavo día sin diferencias significativas. El melón Amarillo no es muy aromático, caso de un Cantaloupe, y con frecuencia, pierde el aroma característico. En ningún tratamiento se detectó sabor ni aroma extraño. Las rodajas de tomate bañadas con  $\text{CaCl}_2$  (0,36%) junto con el testigo perdieron su aroma característico tras 10 días a  $10^\circ\text{C}$  (Artés *et al.*, 1999).

**Tabla 5.3.** Separación de medias cuando el factor tiempo fue significativo en la apariencia, sabor, aroma, textura y color de melón Amarillo procesado en fresco bañado con sales cálcicas y conservado 8 días a  $5^\circ\text{C}$ .

	<b>Apariencia</b> (1 – 9)	<b>Sabor</b> (1 -9)	<b>Aroma</b> (1 – 9)	<b>Textura</b> (1 – 9)	<b>°H</b> pulpa	<b>Croma</b> pulpa	<b>°H</b> zumo
<b>Inicial</b>	8,0 <sup>z</sup> a	8,0 a	7,0 a	8,0 a	110,1 a	14,0 a	127,5 b
<b>3 días</b>	7,4 ab	7,1 a	5,7 b	7,6 a	109,9 a	12,2 b	130,1 ab
<b>8 días</b>	6,8 b	5,3 b	5,2 b	6,0 b	108,3 b	11,4 b	133,0 b

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tablas 5.2 y 5.7) por la prueba de LSD. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización), y 9 = excelente.

El empleo de baños cálcicos influyó en la retención de la textura (Tabla 4) y en particular, cuando el  $\text{CaCl}_2$  se aplicó a  $60^\circ\text{C}$ . Este tratamiento proporcionó una óptima textura. Si el baño cálcico se aplicaba a  $5^\circ\text{C}$  la textura era menor e incluso similar al testigo de  $60^\circ\text{C}$ .

**Tabla 5.4.** Separación de medias cuando el factor baño cálcico fue significativo en la textura de melón Amarillo procesado en fresco bañado con sales cálcicas y conservado 8 días a  $5^\circ\text{C}$ .

<b>Baños</b>	<b>Textura (1 – 9)</b>
<b>Testigo <math>60^\circ\text{C}</math></b>	7,0 <sup>z</sup> b
<b><math>\text{CaCl}_2</math> <math>60^\circ\text{C}</math></b>	7,6 a
<b>Testigo <math>5^\circ\text{C}</math></b>	6,9 c
<b><math>\text{CaCl}_2</math> <math>5^\circ\text{C}</math></b>	7,3 ab

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 5.2) por la prueba de LSD. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente.

La calidad global se mantuvo durante los tres primeros días cuando se aplicaban tratamientos cálcicos a 5 ó  $60^\circ\text{C}$  para disminuir posteriormente al final de la conservación. La calidad global en los testigos mermó en el tercer día manteniéndose hasta el día 8, caso del testigo a  $60^\circ\text{C}$  o continuando su reducción si el testigo se preparaba a  $5^\circ\text{C}$ . Tras la conservación,

la aplicación de calcio a 60°C proporcionó la mejor calidad, pero si se suministraba a 5°C no se observaban diferencias entre éste y los testigos.

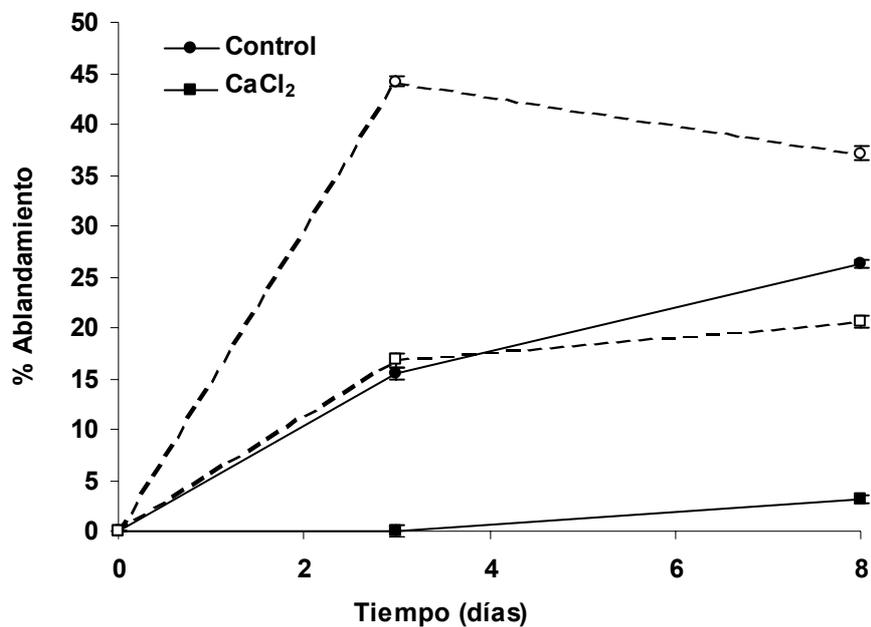
### 5.3.3.2. Firmeza y retención de calcio.

La firmeza estuvo influenciada por el tiempo de conservación y tipo de baño, así como por la interacción de ambos factores (Tabla 5.7). Sólo el tratamiento cálcico a 60°C retuvo la firmeza durante la conservación, frenando el ablandamiento. Sin embargo, si el  $\text{CaCl}_2$  se aplicaba a 5°C o no se aplicaba (testigos) el ablandamiento se producía al tercer día aunque manteniéndose hasta el día 8 (Tabla 5.8). Agar *et al.* (1999) también observaron en rodajas de kiwi un ablandamiento más agudo durante los 3 primeros días de conservación a 2°C, a pesar de añadir sales cálcicas con mínimas diferencias entre los días 3 y 6.

Al finalizar la conservación, el ablandamiento en los distintos tratamientos fue de un 37% y un 27% para los testigos a 5 y 60°C respectivamente y de un 21% y un 3% para los baños cálcicos a 5 y 60°C (Figura 5.4). La retención de la firmeza depende de la aplicación de sales cálcicas y de la temperatura a la cual se proporciona el calcio (elevadas temperaturas aseguran una óptima retención aumentando el calcio fijado). Luna-Guzmán *et al.* (1999) mejoraron la firmeza de cilindros de Cantaloupe en un 45 y 58% cuando el tratamiento con 2,5% de  $\text{CaCl}_2$  se realizaba a 20 y 40°C, respectivamente, mientras que un baño a 60°C proporcionó una mejora del 77%, todos ellos conservados a 5°C. Morris *et al.*, (1985) también observaron que baños cálcicos mantuvieron la firmeza en rodajas de fresa e Izumi y Watada (1994) y Picchioni *et al.* (1996) o Chantanawarangoon y Kader (2002) en cubos de mango. Un inmediato aumento tras el tratamiento cálcico también se observó en manzanas (Abbott *et al.*, 1989). Agar *et al.* (1999) lograron incrementar la firmeza de rodajas de kiwi en un 25% con respecto al testigo con baños al 1 y 2% de  $\text{CaCl}_2$  aplicado a 4°C durante 5 min. En cambio, el baño con 0,36%  $\text{CaCl}_2$  durante 1 min a 4°C no tuvo ningún efecto en la retención de firmeza de rodajas de tomate “Durinta” conservadas a 2 y 10°C (Artés *et al.*, 1999) consiguiéndose mejores resultados conservándolo a 2°C.

Otros resultados sobre la reducción del ablandamiento con la aplicación de calcio en producto se encontraron en manzana (Bangerth, 1979; Conway y Sams, 1984; Duque *et al.*, 1999; Hopfinger *et al.*, 1984; Poovaiha *et al.*, 1988; Picchioni *et al.*, 1998), en fresa (García *et al.*, 1996) y mango (Joyce *et al.*, 2001). Además, la nutrición cálcica tuvo un importante efecto en la firmeza de melones Cantaloupe, soluciones empobrecidas en calcio ( $1,33 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{+2}$ ) dieron lugar a un fruto con menor contenido cálcico tanto en pulpa como en piel, reduciendo su firmeza en un 30% frente abonados con  $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{+2}$  (Serrano *et al.* 2002).

Combrink y Maree (1995) también demostraron en Muskmelon que la firmeza mejora con una solución nutritiva de elevado nivel de calcio. Sin embargo, abonados de fondo enriquecidos en calcio no aumentaron los niveles cálcicos en el tejido de sandía (Scott *et al.*, 1993) pero si esta aplicación se realizaba inmediatamente antes o justo después de la recolección, se mantenía el turgor celular, la integridad de la membrana plasmática, la firmeza de la fruta y se prolongaba la vida útil como se observó en cerezas (Anderson y Campbell, 1995), kiwi (Gerasopoulos *et al.*, 1996) y champiñones (Miklus y Beelman, 1996). La aplicación foliar de  $\text{CaCl}_2$  no necesariamente condujo a manzanas más firmes pero sí a una mejor retención de la firmeza durante el almacenamiento (Siddiqui y Bangerth, 1996).



**Figura 5.4.** Ablandamiento (%) de melón Amarillo procesado en fresco bañado en sales cálcicas a distintas temperaturas y EAM durante 8 días a 5°C. Media ( $n = 35$ )  $\pm$  error estándar. Líneas continuas y marcador sólido: Melón procesado en fresco bañado a 60°C. Líneas discontinuas y marcador transparente: Melón procesado en fresco bañado a 5°C. Línea punteada: Melón entero sin tratamientos de lavado.

El baño caliente con agua sola (testigo 60°C) también redujo el ablandamiento. Kim *et al.* (1993a, 1994) mejoraron la firmeza en rodajas de manzanas si previamente las calentaba enteras a 45°C cada 30 min durante un periodo de 2 horas antes del cortado, aunque la mejora dependió del cultivar. Lidster *et al.* (1979) obtuvieron rodajas de manzana más firmes cuando las calentaba inmediatamente después de la recolección a 38°C durante 6 días y tras 6 meses de conservación frigorífica las procesaba y bañaba en una solución de calcio.

Tras el análisis del contenido cálcico en el melón procesado (Tabla 5), observamos que en todos los tratamientos conseguimos aumentar el calcio total y la concentración de calcio fijado supera al contenido en calcio libre. Coincidiendo con estos resultados, Siddiqui y Bangerth, (1995, 1996) comprobaron que la aplicación de  $\text{CaCl}_2$  resultó en una mayor concentración de calcio en la pulpa, éste aumentó tanto el contenido soluble como el insoluble aunque la mayoría estuvo presente en forma insoluble. En cambio, el contenido de calcio ligado ( $0,26 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  peso fresco) en cilindros de melón bañado a  $60^\circ\text{C}$  durante 1 min ( $2,5\% \text{ CaCl}_2$ ) fue menor que el libre ( $0,49 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  peso fresco) (Luna-Guzman *et al.*, 1999).

El calcio mantiene la estructura y mejora la firmeza al unirse a los grupos carboxílicos libres de las moléculas de pectina de la pared celular y de la lámina media (más abundante en pectina, Hall, 1966) formando pectato cálcico (Conway *et al.*, 1997; Damarty *et al.*, 1984; Gidley *et al.*, 1980; Grant *et al.*, 1973; Moris, 1980; Poovaiah *et al.*, 1988; Saftner *et al.*, 1998b; Valero *et al.*, 1998) detectable incluso inmediatamente después del tratamiento (Knee y Bartley, 1981). Según, Yamaoka y Chiba (1983) las pectinas con alto grado de esterificación no se ligan al calcio cuando éste se añade.

Siddiqui y Bangerth (1996) no encontraron ninguna relación entre la firmeza de la fruta y la cantidad de calcio asociada con fracciones de pectinas de forma libre, iónica o covalente a pared celular purificada. En opinión de Saftner *et al.* (1998b) la determinación del calcio en pared purificada donde ésta se trata con ácidos, detergentes o sales afectan a la estructura y unión de las paredes aisladas, luego no es un método fiable. El calcio también juega un importante papel en la adhesión célula-a-célula y este fenómeno es importante en la textura. Una manzana recién recolectada posee un alto grado de contacto célula-célula, si tratamos con calcio, el contacto célula-célula se mantiene mientras que la no tratada se ablanda y las paredes celulares se hinchan y en ocasiones se separan (Poovaiha *et al.*, 1988; Serrano *et al.*, 2002).

El calcio que realmente contribuye a frenar el ablandamiento y mejorar la firmeza será aquel fijado a la pared celular. Como observamos en la Figura 5.5, el calcio fijado se correlacionó positivamente con la reducción de firmeza (Beavers *et al.*, 1994; Benavides *et al.* 2002).

Scott y Wills (1975), Poovaiah *et al.*, (1978), Poovaiah, (1979, 1980), Drake y Spayd (1983), Paliyath *et al.* (1984) observaron que baños o infiltraciones con  $\text{CaCl}_2$  son efectivas en aumentar el contenido cálcico de los tejidos y, por tanto, la firmeza del mismo. El tratamiento cálcico ( $1\% \text{ CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) aumentó la firmeza de zanahoria triturada entre un 6-16% frente al testigo tanto al inicio como después de 10 días de conservación. El aumento del calcio respecto al testigo fue de 3 veces más (Picchioni *et al.*, 1996).

Inicialmente, tanto el testigo 60 como el de 5°C tienen el mismo contenido en  $\text{Ca}^{++}$  fijado  $0,27 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ . En el día 3, el testigo 60°C aumenta su contenido ( $0,31 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ) manteniéndose hasta el final de la conservación frente a los  $0,25 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$  del mismo testigo a 5°C (Tabla 5.5). Además, este baño caliente con agua sola (testigo 60°C) también tuvo un efecto en reducir el ablandamiento.

**Tabla 5.5.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos de lavado en el contenido cálcico ( $\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$  peso fresco) de melón Amarillo procesado en fresco conservado 8 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Baño	$\text{Ca}^{++}$ libre	$\text{Ca}^{++}$ fijado	$\text{Ca}^{++}$ total
<b>Inicial</b>	<b>Testigo 60°C</b>	0,05	0,27	0,32
	<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	0,13	0,47	0,60
	<b>Testigo 5°C</b>	0,05	0,27	0,32
	<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	0,10	0,33	0,43
<b>3 días</b>	<b>Testigo 60°C</b>	0,05	0,31	0,36
	<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	0,14	0,48	0,62
	<b>Testigo 5°C</b>	0,06	0,23	0,28
	<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	0,09	0,35	0,44
<b>8 días</b>	<b>Testigo 60°C</b>	0,05	0,31	0,36
	<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	0,11	0,54	0,65
	<b>Testigo 5°C</b>	0,05	0,25	0,30
	<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	0,08	0,30	0,38
<b>Tiempo conservación</b>		(0,01) <sup>a</sup>	NS	NS
<b>Baño</b>		(0,02) <sup>c</sup>	(0,08) <sup>c</sup>	(0,08) <sup>c</sup>
<b>Tiempo x baño</b>		NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001.

Elevadas temperaturas tienen un efecto positivo en la fijación de un calcio existente en el tejido que además se traduce en una reducción del ablandamiento. Es posible, que estas temperaturas activen la PME desmetilando las pectinas de la pared celular y lámina media (Stanley *et al.*, 1995), permitiendo entonces la unión de los iones calcio endógenos (caso de nuestro testigo a 60°C) o exógenos (añadidos mediante el baño) con los grupos carboxílicos libres (desmetilados) de los polímeros de pectinas existentes (Luna-Guzmán *et al.*, 1999; Grant *et al.*, 1973), estabilizándose la pared celular y mejorando la firmeza frente al testigo a 5°C. En

este estudio, el rápido enfriamiento de las muestras, paró la reacción evitando que tiempos prolongados a elevadas temperaturas tuvieran el efecto contrario en el ablandamiento. Con la misma hipótesis, podemos explicar porqué los baños cálcicos son más eficientes (aumentan el calcio fijado y retienen mejor la firmeza) si se aplican en caliente, pero además el rápido enfriamiento podría haber causado una reducción en el volumen de los espacios ocupados por aire y la infusión de calcio residual de la superficie en el tejido (Luna-Guzmán *et al.*, 1999). Igualmente, el incremento en la temperatura del baño aumenta la velocidad de difusión (Bartolome y Hoff, 1972; García *et al.*, 1996), mayoritariamente a través de los poros del apoplasto (Harker *et al.*, 1989), así como la disolución de una sal tanto en el agua del baño como en el tejido. Luna-Guzmán *et al.* (1999) observaron dos veces más calcio en el tejido externo frente al interno, lo cual indica que la penetración y/o difusión del mismo puede ser limitado al área externa de los cilindros de melón. Según Porreta *et al.* (1995), en dados de tomate, la penetración del calcio en el tejido dependió de la concentración de la sal cálcica, mientras que el efecto de la temperatura no fue importante.

Otras hipótesis de porqué el calcio retrasa el ablandamiento, podrían deberse a lo observado por Serrano *et al.* (2002), donde en melones cultivados con disoluciones ricas en calcio, el ablandamiento coincidió con el aumento en la actividad  $\beta$ -galactosidasa. Sin embargo, en los melones con deficiencia en calcio, se observó un aumento en la actividad PG durante la madurez y se relacionó positivamente con el ablandamiento. En el tratamiento cálcico no detectaron PG, luego en este tratamiento el ablandamiento, es decir, la degradación de la pectina y hemicelulosa podría estar condicionado por  $\beta$ -galactosidasa mientras que PG contribuye junto a  $\beta$ -galactosidasa (que se detectó en ambos tratamientos) a un mayor ablandamiento e incidencia de translucencia en los tratamientos con bajo calcio. Probablemente el papel del calcio radica en reducir la expresión o actividad PG como Mignani *et al.* (1995) observaron en tomates. Por otro lado, el calcio al unirse con los polímeros pécticos de la pared celular (Dey y Brinson, 1984) o más concretamente en la lámina media (Damarty *et al.*, 1984) facilita la formación de una red que aumenta la fuerza mecánica y restringe el acceso a enzimas hidrolíticas (Conway y Sam, 1984).

Soliva-Fortuny *et al.* (2002) estudiaron el efecto de distintos estados de madurez con la firmeza en rodajas de manzana, señalando que con manzanas maduras se observaba una rápida síntesis de enzimas pécticos, especialmente PG, que liberaban el calcio soluble, por ello; este estado de madurez sufría un mayor ablandamiento frente a manzanas menos maduras. Además, corroboraron al igual que nosotros, la importante influencia de los baños cálcicos (0,5% de  $\text{CaCl}_2$  a 10°C y 1 min) en prevenir el ablandamiento, donde el EAM (100%  $\text{N}_2$ ) sólo tuvieron un

ligero efecto. De la misma forma, Sapers y Miller (1998) previnieron el ablandamiento y harinosidad de rodajas de “D’Anjou”, “Barlett” y “Bosc” con la aplicación de  $\text{CaCl}_2$  (0,2% 1 min) cuando estaban algo inmaduras pero no en plena madurez.

Al igual que sucedió en la firmeza, no hubo diferencias significativas en el contenido de calcio fijado entre el  $\text{CaCl}_2$  a 5°C y el testigo a 60°C (Tabla 5.6), pero el baño salino sí influyó en la concentración de calcio libre donde el testigo presentó un 0,05 frente al 0,09g·Kg<sup>-1</sup> peso fresco del  $\text{CaCl}_2$  a 5°C. Con ello se demuestra, que el calcio libre apenas contribuye a frenar el ablandamiento. El testigo a 5°C fue el que presentó el menor contenido en calcio tanto libre como fijado y, por consiguiente, sufrió un mayor ablandamiento. Tan importante es un baño cálcico como su temperatura de aplicación: el baño de  $\text{CaCl}_2$  a 60°C incrementó en un 68% el  $\text{Ca}^{++}$  fijado frente al testigo a esa misma temperatura mientras que el baño de  $\text{CaCl}_2$  a 5°C incrementó en sólo un 32% el  $\text{Ca}^{++}$  fijado frente al testigo a 5°C. El incremento entre ambos baños cálcicos según la temperatura de aplicación fue de un 47% de  $\text{Ca}^{++}$  fijado a 60°C frente a 5°C.

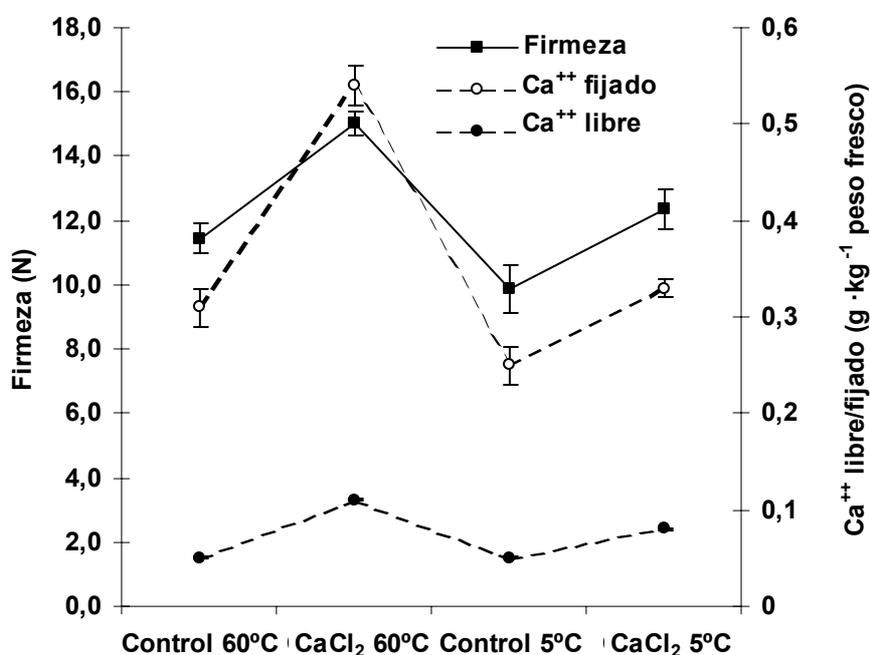
**Tabla 5.6.** Separación de medias cuando el factor baños cálcicos fue significativo en el contenido de calcio (g · Kg<sup>-1</sup> peso fresco) de melón Amarillo procesado en fresco bañado con sales cálcicas y conservado 8 días a 5°C.

Baños	$\text{Ca}^{++}$ libre	$\text{Ca}^{++}$ fijado	$\text{Ca}^{++}$ total
Testigo 60°C	0,05 c	0,30 bc	0,35 bc
$\text{CaCl}_2$ 60°C	0,13 a	0,50 a	0,63 a
Testigo 5°C	0,06 c	0,25 c	0,31 c
$\text{CaCl}_2$ 5°C	0,09 b	0,33 b	0,42 b

<sup>2</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 5.5) por la prueba de LSD

Por último, el contenido en calcio fijado y total sólo estuvo influenciado por el tipo de baño mientras en el calcio libre, además influyó el tiempo de conservación (Tabla 5.5), disminuyendo al final de la conservación (Tabla 5.10). Probablemente al no estar fijado se difundió hacia tejidos más internos, reduciendo el contenido en la superficie lugar donde se extrajo las muestras o a una posterior unión del catión a las pectinas ya que aunque el  $\text{Ca}^{++}$  se haya difundido no se une de forma inmediata a la lámina media. Esto podría explicar porqué en determinados tratamientos como el testigo y  $\text{CaCl}_2$  aumentan su contenido en calcio fijado

aunque de forma no significativa. O'Beirne *et al.* (1981) y Siddiqui y Bangerth (1995, 1996) también observaron durante el almacenamiento de manzanas una disminución de calcio soluble aumentando el insoluble. Persisten gradientes de calcio después del tratamiento cálcico en la fruta almacenada, en especial, si es una larga conservación (Glenn y Poovaiah, 1990). La presencia de Ca-ATPasas localizadas en la membrana plasmática, tonoplasto y retículo endoplasmático proporcionan un mecanismo para una posible redistribución de las reservas de calcio a nivel celular (Poovaiah y Reddy, 1987). Sam y Conway (1984) detectaron un marcado aumento en la pectina soluble durante los tres primeros meses en el testigo. Sin embargo, en las manzanas con calcio infiltrado no se observaron cambios significativos en la concentración de pectina soluble. El contenido en poliuronidos soluble está negativamente relacionado con calcio.



**Figura 5.5.** Representación de la firmeza según el contenido en calcio libre y fijado de melón Amarillo procesado en fresco en el día 8. Media  $\pm$  error estándar.

### 5.3.3.3. Color.

Los índices y parámetros como IB, Croma y L\* determinados en zumo no fueron afectados por ninguno de los factores estudiados (datos no mostrados). Los valores medios fueron de 30,4; 2,2 y 31 respectivamente.

Sin embargo, IB, °H y L\* de la pulpa de melón, así como el Croma en zumo fueron afectados por el tiempo de conservación y/o baño cálcico (Tabla 5.7).

Según estos índices y parámetros, el IB y la L\* disminuyeron con la conservación, a partir del día 3, y esta reducción fue más notable en los baños a 60°C (Tabla 5.8). Esto indica, que la pulpa tendió a ser menos luminosa pero sin mostrar translucencia.

Probablemente, la aplicación de elevadas temperaturas (60°C), o probablemente, el enfriamiento a -20°C durante una hora en el congelador causó un estrés o daño fisiológico que también estimuló la disminución de L\* e IB. Además, la reducción de estos parámetros a lo largo de la conservación estuvo acompañada de una reducción en °H y Croma de la pulpa y zumo indicando un color menos amarillo y menos saturado (Tabla 5.7.).

Al no desarrollarse translucencia en este ensayo no pudo corroborarse que la vitescencia, se deba a una deficiencia en calcio (Chatenet *et al.*, 2000; Odet y Dumoulin, 1993). En cambio, Serrano *et al.* (2002) observaron que el abonado enriquecido en este catión retrasaba y reducía esta alteración.

**Tabla 5.7.** Influencia del tiempo de conservación y baños cálcicos en la firmeza y color de melón Amarillo procesado en fresco conservado 8 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Baño	Firmeza (N)	L* pulpa	IB pulpa	°H pulpa	Croma pulpa	°H zumo
<b>Inicial</b>		15,5 <sup>z</sup>	78,0	73,8	110,2	13,9	127,5
<b>3 días</b>	<b>Testigo 60°C</b>	13,1	72,6	70,0	109,9	12,0	132,1
	<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	16,3	71,9	69,3	109,9	12,0	136,0
	<b>Testigo 5°C</b>	10,8	76,4	73,1	109,7	12,7	122,8
	<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	13,3	76,8	73,7	109,9	12,0	129,6
<b>8 días</b>	<b>Testigo 60°C</b>	11,4	73,	70,7	108,7	11,3	128,5
	<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	15,1	71,6	69,4	107,7	11,0	136,6
	<b>Testigo 5°C</b>	9,8	76,0	73,1	108,5	12,0	132,8
	<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	12,3	76,7	74,0	108,5	11,3	134,2
<b>Tiempo conservación</b>		(0,9) <sup>c</sup>	(0,9) <sup>c</sup>	(0,9) <sup>c</sup>	(1,1) <sup>c</sup>	(0,9) <sup>c</sup>	(3,5) <sup>a</sup>
<b>Baño</b>		(1,0) <sup>c</sup>	(1,0) <sup>c</sup>	(1,1) <sup>c</sup>	NS	NS	NS
<b>Tiempo x baño</b>		(1,8) <sup>c</sup>	(1,6) <sup>c</sup>	(1,9) <sup>c</sup>	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 35); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001.

Izumi y Watada (1994) tampoco encontraron una influencia del Ca<sup>++</sup> en el color (°H, Cromo) de zanahoria procesada. En cambio, para Tsantili *et al.* (2002) en limón, así como, Saftner *et al.* (1998a) en manzanas, los tratamientos cálcicos frenaron o retardaron la

disminución del color ( $^{\circ}$ H). Rosen y Kader (1989) redujeron el pardeamiento en rodajas de pera “Barlett” con la aplicación de  $\text{CaCl}_2$  al 1%. En esta misma variedad junto con “D’Anjou”, “Bosc”, Saper y Miller (1998) también lograron con  $\text{CaCl}_2$  (0,2%) combinado con eritrobato sódico (4%) inhibir el pardeamiento.

**Tabla 5.8.** Interacción (tiempo conservación x baño cálcico) en la calidad global, firmeza y color de melón Amarillo procesado en fresco bañado con sales cálcicas y conservado 8 días a 5°C.

<b>Calidad global (1-9)</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>3d</b>	<b>8d</b>
<b>Testigo 60°C</b>	8,0 <sup>z</sup> Aa	7,0 Ba	5,3 Bb
<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	8,0 Aa	7,7 Aa	6,3 Ba
<b>Testigo 5°C</b>	8,0 Aa	6,0 Ba	5,3 Cab
<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	8,0 Aa	7,3 Ab	5,8 Bb
<b>Firmeza (N)</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>3d</b>	<b>8d</b>
<b>Testigo 60°C</b>	15,5 Aa	13,2 Bb	11,4 Bb
<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	15,5 Aa	16,3 Aa	15,1 Aa
<b>Testigo 5°C</b>	15,5 Aa	10,8 Bc	9,8 Bc
<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	15,5 Aa	13,3 Bb	12,3 Bb
<b>L* pulpa</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>3d</b>	<b>8d</b>
<b>Testigo 60°C</b>	78,0 Aa	72,6 Bb	73,0 Bb
<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	78,0 Aa	71,9 Bb	71,6 Bb
<b>Testigo 5°C</b>	78,0 Aa	76,4 Ba	76,0 Ba
<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	78,0 Aa	76,8 Ba	76,7 Ba
<b>IB pulpa</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>3d</b>	<b>8d</b>
<b>Testigo 60°C</b>	73,9 Aa	70,0 Bb	70,7 Bb
<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	73,9 Aa	69,3 Bb	69,4 Bb
<b>Testigo 5°C</b>	73,9 Aa	73,2 Aa	73,1 Aa
<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	73,9 Aa	73,7 Aa	74,0 Aa

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P <$  según Tablas 5.2 y 5.7) por la prueba de LSD.

### 3.3.4. SST y azúcares.

Dada la semejanza en la tasa respiratoria por los distintos baños aplicados, éstos no influyeron en los SST ni en los azúcares fructosa, glucosa y sacarosa (Tabla 5.9).

**Tabla 5.9.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos de lavado en el contenido de azúcares de melón Amarillo procesado en fresco conservado 8 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Baño	SST	Fructosa	Glucosa	Sacarosa
<b>Inicial</b>		9,5 <sup>z</sup>	17,10	18,45	45,89
<b>3 días</b>	<b>Testigo 60°C</b>	9,1	20,57	22,00	38,41
	<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	8,9	19,64	21,06	34,39
	<b>Testigo 5°C</b>	9,4	18,91	20,43	39,96
	<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	8,7	19,86	21,09	35,76
<b>8 días</b>	<b>Testigo 60°C</b>	8,8	18,58	19,16	32,01
	<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	9,1	19,73	19,99	35,38
	<b>Testigo 5°C</b>	8,3	16,87	17,39	30,23
	<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	8,5	19,52	18,82	29,23
<b>Tiempo conservación</b>		(0,5) <sup>a</sup>	(1,95) <sup>b</sup>	(1,54) <sup>b</sup>	(7,39) <sup>c</sup>
<b>Baño</b>		NS	NS	NS	NS
<b>Tiempo x baño</b>		NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: contenido en sólidos solubles (°Brix). Fructosa, glucosa, sacarosa (gL<sup>-1</sup>). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

Sólo el tiempo de conservación estimuló la disminución de los SST acompañada por una reducción en el contenido de sacarosa. Tampoco Duque *et al.* (1999) en manzana observó diferencias en los SST al bañarlas con CaCl<sub>2</sub> aunque en fresa éstos tratamientos sí aumentaron su contenido en SST (García *et al.*, 1996).

Los monosacáridos, como se ha observado y explicado en los Capítulos anteriores, incrementaron su concentración en el día 3, debido a la hidrólisis de la sacarosa en sus monómeros, para posteriormente, descender su concentración (Tabla 5.10) conforme las necesidades metabólicas demandaban energía. La reducción en glucosa fue más importante que en fructosa, lo cual explicaría, la isomerización de aquella en fructosa.

**Tabla 5.10.** Separación de medias cuando el factor tiempo fue significativo en el contenido en calcio libre, SST y azúcares de melón Amarillo procesado en fresco bañado con sales cálcicas y conservado 8 días a 5°C.

	Ca <sup>++</sup> libre	SST	Fructosa	Glucosa	Sacarosa
<b>Inicial</b>	0,09 <sup>z</sup> a	9,5 a	17,19 b	18,43 b	45,89 a
<b>3 días</b>	0,09 a	9,0 ab	19,74 a	21,14 a	37,13 b
<b>8 días</b>	0,07 b	8,7 b	18,67 ab	18,84 b	31,71 b

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tablas 5.5 y 5.9) por la prueba de LSD. Ca<sup>++</sup>: Contenido en calcio libre (g · Kg<sup>-1</sup> peso fresco). SST: contenido en sólidos solubles (°Brix). Fructosa, glucosa, sacarosa (gL<sup>-1</sup>).

### 3.3.5. pH, AT y ácidos orgánicos.

Paradójicamente, como sucedió en el Capítulo 3 (Sección 3.3.3.5.), el tiempo de conservación provocó un ligero aumento en la AT acompañada de una reducción en el pH (Tablas 5.9 y 5.11), probablemente, por una mayor contaminación microbiana a esta temperatura (Lamikanra *et al.*, 2000). Además, la aplicación de baños cálcicos o el mayor contenido en calcio fijado, tendió a aumentar el pH (Tabla 5.11). Duque *et al.* (1999) no observaron en manzana ningún cambio en la AT como consecuencia de la aplicación de baños cálcicos.

**Tabla 5.11.** Separación de medias cuando el factor baños cálcicos fue significativo en el pH de melón Amarillo procesado en fresco bañado con sales cálcicas y conservado 8 días a 5°C.

Baños	pH
<b>Testigo 60°C</b>	5,69 <sup>z</sup> ab
<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	5,62 b
<b>Testigo 5°C</b>	5,76 a
<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	5,62 b

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 5.9) por la prueba de LSD.

Como se observa en la Tabla 5.12, el contenido en ácido cítrico disminuyó con el tiempo de conservación ya que los ácidos orgánicos fueron utilizados como sustrato respiratorio (Kim *et al.*, 1993b). La concentración de ácido málico no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 5.12).

Conways y Sams (1984) observaron en manzana que tratamientos cálcicos (2 y 4% CaCl<sub>2</sub>) aumentaban el contenido de vitamina C. En este ensayo, el rango de ácido ascórbico

osciló entre 5,14 y 2,94 mg · 100mL<sup>-1</sup> pero al no ser la técnica más indicada para determinar este ácido no es posible comparar entre tratamientos.

**Tabla 5.12.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos de lavado en el pH, AT y ácidos orgánicos de melón Amarillo procesado en fresco conservado 8 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Baño	pH	AT	Málico	Cítrico
<b>Inicial</b>		5,84	0,10	0,04	0,13
<b>3 días</b>	<b>Testigo 60°C</b>	5,64	0,10	0,04	0,13
	<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	5,50	0,11	0,03	0,12
	<b>Testigo 5°C</b>	5,78	0,10	0,04	0,12
	<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	5,50	0,10	0,03	0,12
<b>8 días</b>	<b>Testigo 60°C</b>	5,59	0,11	0,03	0,11
	<b>CaCl<sub>2</sub> 60°C</b>	5,52	0,11	0,03	0,11
	<b>Testigo 5°C</b>	5,66	0,11	0,03	0,11
	<b>CaCl<sub>2</sub> 5°C</b>	5,51	0,12	0,03	0,11
<b>Tiempo conservación</b>		(0,07) <sup>c</sup>	(0,01) <sup>b</sup>	NS	(0,01) <sup>c</sup>
<b>Baño</b>		(0,08) <sup>c</sup>	NS	NS	NS
<b>Tiempo x baño</b>		NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>). Cítrico (g · 100 mL<sup>-1</sup>).

**Tabla 5.13.** Separación de medias cuando el factor tiempo fue significativo en el pH, AT y contenido en ácido cítrico y fumárico de melón Amarillo procesado en fresco bañado con sales cálcicas y conservado 8 días a 5°C.

	pH	AT	Cítrico
<b>Inicial</b>	5,84 <sup>z</sup> a	0,10 b	0,14 a
<b>3 días</b>	5,61 b	0,10 b	0,13 a
<b>8 días</b>	5,57 b	0,11 a	0,11 b

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tablas 5.5 y 5.9) por la prueba de LSD. AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>). Cítrico (g · 100 mL<sup>-1</sup>).

El contenido en ácido málico y cítrico de un melón entero, conservado durante 8 días a 5°C, fue de 0,04 y 0,14 g · 100mL<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos valores, en especial, los del ácido cítrico son mayores que del procesado conservado durante ese mismo intervalo de tiempo, lo

cual pone de manifiesto el considerable metabolismo de un producto procesado en fresco y la utilización de estos ácidos orgánicos como fuente de energía.

#### 5.3.4. Análisis microbiológico.

Según los recuentos reflejados en la Tabla 5.14, los testigos no alcanzaron una vida útil de 8 días según los criterios de la legislación española (RD 3484/2000, 2001). Los tratamientos cálcicos a ambas temperaturas redujeron el crecimiento microbiano en comparación con los testigos.

**Tabla 5.14.** Recuentos microbiológicos ( $\log \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$ ) de melón Amarillo procesado en fresco y bañado en  $\text{CaCl}_2$  a distintas temperaturas conservado 8 días de conservación a  $5^\circ\text{C}$ .

Tratamiento		Mesófilos	Psicrotrofos	Levaduras	Mohos
INICIAL		$1,2 \pm 0,1$	<1	<1,7	<1,7
DÍA 3	Testigo $60^\circ\text{C}$	$1,5 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,2$	<1,7	<1,7
	$\text{CaCl}_2$ $60^\circ\text{C}$	$1,2 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,1$	<1,7	<1,7
	Testigo $5^\circ\text{C}$	$1,8 \pm 0,1$	<1	<1,7	<1,7
	$\text{CaCl}_2$ $5^\circ\text{C}$	$1,2 \pm 0,1$	<1	<1,7	<1,7
DÍA 8	Testigo $60^\circ\text{C}$	$6,0 \pm 0,2$	$7,3 \pm 0,1$	$5,2 \pm 0,2$	<1,7
	$\text{CaCl}_2$ $60^\circ\text{C}$	$3,5 \pm 0,1$	$5,4 \pm 0,4$	$3,9 \pm 0,4$	<1,7
	Testigo $5^\circ\text{C}$	$4,9 \pm 0,1$	$6,4 \pm 0,2$	$5,7 \pm 0,1$	<1,7
	$\text{CaCl}_2$ $5^\circ\text{C}$	$4,6 \pm 0,1$	$6,1 \pm 0,1$	$4,5 \pm 0,4$	<1,7

<sup>Z</sup> Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar.

Se ha comprobado que el aumento en la concentración cálcica reduce las pudriciones postcosecha (Conway, 1989; Conway *et al.*, 1991; Fallahi *et al.*, 1997). El calcio es el catión óptimo para aliviar fisiologías postcosecha y problemas patológicos (Conway y Sams, 1987). El efecto inhibitor del calcio probablemente resulta del aumento en la resistencia del tejido frente a la infección bacteriana más que a una acción bactericida. Grant *et al.*, (1973), Knee (1978), Conway y Sams (1984), Dermarty *et al.* (1984) y Bolin y Huxsoll (1989) indicaron que el calcio aumentaba la resistencia del tejido al ataque fúngico por estabilizar la pared celular, con la unión de cadenas de poligalacturonatos a iones cálcicos, haciéndose más resistente y menos accesible a enzimas fúngicas, que causan el ablandamiento o la degradación de la pared.

Al aumentar el contenido de calcio en manzana se observó que las paredes celulares inhibían la maceración de PG producida por *Penicillium expansum* (Conway *et al.*, 1988). La aplicación de calcio en spray foliar ( $\text{CaNO}_3$ ) redujo en manzana las pudriciones por *Gloeosporium perennans*, y tanto el rociado del árbol o el baño de las manzanas en  $\text{CaCl}_2$  (4%) redujeron la incidencia y severidad de *Alternaria* (Sharples y Johnson, 1977). No obstante, en este estudio, ningún tratamiento presentó crecimiento fúngico aunque dada la similitud en los procedimientos de colonización por parte de las bacterias y levaduras podemos justificar de la misma forma expuesta el mayor crecimiento microbiano de los testigos.

Coincidiendo con Luna-Guzmán y Barret (2000) quienes utilizaron sales cálcicas a 60 y 25°C, los mayores recuentos se determinaron en el testigo a 60°C mientras que el  $\text{CaCl}_2$  a esta temperatura redujo el crecimiento microbiano incluso en 2 unidades. Izumi y Watada (1994) lograron reducir en 0,8 unidades el crecimiento microbiano cuando la zanahoria triturada se bañaba a 23°C en 1% de  $\text{CaCl}_2$  (6,8 UFC  $\cdot \text{g}^{-1}$ ) tras 10 días a 5°C.

Según se observa en la Tabla 5.5, no hubo diferencias significativas entre el calcio fijado del testigo a 60°C y el  $\text{CaCl}_2$  a 5°C. Además, los recuentos microbiológicos del testigo a 5°C, con menos calcio fijado, fueron también menores a los encontrados a 60°C y, sin embargo, los recuentos microbianos en éste tratamiento fueron mayores. Luego, se pone en evidencia el papel del calcio fijado como responsable en la inhibición del crecimiento microbiano, salvo que este calcio deba encontrarse en la superficie externa de las secciones trapezoidales de melón, ya que será la superficie del corte la vía de entrada de los microorganismos y sólo el calcio suministrado a través de un baño se adhirió en la superficie taponando los poros y canales susceptibles de ser colonizados por los microorganismos. Además, el uso de elevadas temperaturas (60°C) durante un tiempo corto y temperaturas más suaves (20°C) durante un tiempo más prolongado (horas) pudieron promover un importante crecimiento microbiano a estas temperaturas cálidas (Golden *et al.*, 1993) difícilmente controlable por el aumento en la resistencia del tejido por parte del calcio fijado. Hickey *et al.* (1995) no encontraron diferencias significativas entre en el efecto del calcio suministrado a través de sprays al árbol en hongos inoculados como *Botryosphaeria obtusa*, *Glomerella cingulata* y *Penicillium expansum*. Conway y Sams (1985) observaron que para disminuir las pudriciones en fruta causados por patógenos era necesario elevar la concentración de calcio en pulpa a 800-1000  $\mu\text{g/g}$  (peso seco) y concentraciones mayores a 1000 pueden dañar la superficie de la fruta. Un aumento del calcio a 600  $\mu\text{g/g}$  inhibió el crecimiento de *Botrytis cinerea* pero no afectó a *Penicillium expansum* (Conway *et al.*, 1994).

El  $\text{CaCl}_2$  aplicado al 0,5% frenó el crecimiento microbiano, en especial, cuando este baño salino se aplicaba a 60°C. Ambos tratamientos cálcicos permitieron conseguir una vida comercial de 8 días.

#### **5.4. CONCLUSIONES.**

La aplicación de  $\text{CaCl}_2$  al 0,5% proporcionó una menor tasa respiratoria y emisión de etileno, aumentó el contenido del calcio fijado en la pared celular frenando el ablandamiento, consiguió una buena calidad sensorial y reduciendo la contaminación microbiana logrando una vida útil de 8 días a 5°C.

Todas estas ventajas se produjeron en especial, cuando la temperatura de aplicación de los baños era de 60°C frente a 5°C, salvo la reducción en la emisión de  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  donde a 60°C se observó una mayor intensidad metabólica. La utilización de elevadas temperaturas sólo indujo una disminución en la luminosidad e índice de blancura pero sin provocar una apreciable translucencia.

## Capítulo 6. ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE DISTINTAS SALES CÁLCICAS SOBRE LA CALIDAD Y EL ABLANDAMIENTO DE MELÓN PROCESADO EN FRESCO

### 6.1.INTRODUCCIÓN.

Como se ha comprobado en el Capítulo anterior y según los resultados de gran número de investigadores citados en la introducción del mencionado Capítulo, el uso del  $\text{CaCl}_2$  mejora la firmeza y frena el ablandamiento. No obstante, la utilización de esta sal puede impartir un cierto sabor amargo (Olsen *et al.*, 1966; Bolin y Huxsoll, 1989; Luna-Guzmán *et al.*, 1999; Monsalve-González *et al.*, 1993). Por ello, se ha considerado conveniente el estudio de otras sales cálcicas sustitutivas del  $\text{CaCl}_2$  o que presentaran ventajas frente a ésta. Pontin *et al.* (1972) y Poovaiah (1986) evaluaron lactato y  $\text{CaCl}_2$  como agentes que evitaban el ablandamiento en manzana enlatadas y observaron que el lactato cálcico proporcionaba un mejor sabor frente al cloruro. El lactato cálcico ha sido usado por su efecto positivo en la firmeza en peras procesadas (Morris *et al.*, 1985; Main *et al.*, 1986), uvas (Baker, 1993), kiwis (Agar *et al.*, 1999) sin impartir sabores y aromas extraños. Portela y Barrett (2000) también comprobaron que el lactato cálcico (2,5%) mantenía la firmeza de cilindros de Cantaloupe sin transmitir sabor amargo al procesado. La combinación de un 1% de lactato cálcico y un 2% de ácido ascórbico aplicado tras el corte en un baño durante 5 min, redujo la incidencia del pardeamiento en la superficie del corte y el ablandamiento en peras cortadas (Gorny *et al.*, 1999). El lactato cálcico (1%) contribuyó a mantener la firmeza en rodajas de pera aunque el efecto en la firmeza dependió de la variedad (Dong *et al.*, 2000).

Por otro lado, Buta *et al.* (1999) observaron en rodajas de manzana que baños de 30 s con una mezcla de componentes de 4-hexyl-resorcinol, ácido isoáscorbico y N-acetylcysteine, con distintas sales cálcicas prolongaron la conservación hasta 4 semanas a 5°C, sólo cuando ésta era propionato cálcico (1%) en comparación a la misma mezcla con  $\text{CaCl}_2$ . Tampoco estos tratamientos impartieron sabores o aromas extraños manteniendo una mayor concentración de ácidos orgánicos. El aumento en la vida útil pudo ser atribuido por la efectividad del propionato en reducir el crecimiento microbiológico (Freese *et al.*, 1973).

Dziezak (1986) señaló que con concentraciones de 0,2-0,4% de propionato cálcico se puede retardar el crecimiento de mohos en jarabes, rodajas de manzana blanqueadas, higos, cerezas, zarzamoras, guisantes y semillas de lima. Según Wiley (1997) el compuesto parece actuar como un fungistático en lugar de cómo un fungicida. La acción antimicrobiana de los propionatos es similar a la del benzoato en su forma dissociada. El ácido propiónico y sus sales

tienen escasa tendencia a la disociación, por lo que son compuestos muy útiles en alimentos poco ácidos, como el melón. A pH 4,0 el 80% del compuesto permanece sin disociar mientras que a pH 6,0 solamente el 6,7% está no disociado (Wiley, 1997).

Son muy amplios los usos de estas sales cálcicas en la industria alimentaria. El  $\text{CaCO}_3$  (E-170) se utiliza como estabilizante y emulsionante en la fabricación de helados junto con el cloruro y lactato cálcico, como colorantes para superficies en recubrimiento de grageas y confites de chicle y otras piezas empleadas en la decoración de productos de pastelería y también se le añade al zumo de uva. Además, al igual que el  $\text{CaCl}_2$  (E-509) se puede emplear como antiapelmazante añadiéndose al queso rallado. De la misma forma, esta sal junto con el cloruro y lactato de calcio (E-327), se pueden utilizar como sales minerales y compuestos vitamínicos en alimentos para lactantes y niños en fórmulas sustitutivas de la leche con cereales. Para ninguna de estas sales cálcicas comentadas existe más límite en la cantidad utilizada que la buena práctica de fabricación (*quantum satis*). El lactato cálcico se clasifica como un sinérgico antioxidante y regulador del pH. Se utiliza en alimentos por su acción antioxidante (al secuestrar las trazas de metales presentes en el alimento), como conservante, especialmente en repostería y bollería, y como regulador de la acidez en multitud de productos, desde bebidas refrescantes a derivados cárnicos, pasando por conservas vegetales, salsas preparadas o helados. Junto con el  $\text{CaCl}_2$  se usa como endurecedor para la fabricación de aceitunas de mesa y de otras conservas vegetales, manteniendo firmes los tejidos de las frutas y hortalizas. Al ser un producto fisiológico, el ácido láctico, en las cantidades concebiblemente presentes en los alimentos, es totalmente inocuo. El ácido propiónico es un ácido graso de cadena corta, éste y sus sales, se usan como conservantes alimentarios desde los años cuarenta, especialmente en panadería. Las sales más utilizadas son propionato cálcico (E-282) y sódico. Es el más efectivo contra los mohos de todos los conservantes, pero poco eficaz contra levaduras y bacterias, salvo alguna excepción. Normalmente se usan sus sales ya que el ácido tiene un olor muy fuerte. Son conservantes baratos. El propionato cálcico es el conservante más utilizado en el mundo en panadería, especialmente en el pan de molde. También se utiliza para impregnar exteriormente ciertos quesos como el “emmental” para impedir su enmohecimiento y como conservante en los quesos fundidos. Su empleo está permitido hasta  $3\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$  en harina. El presente en los alimentos tanto en forma natural o como aditivo se absorbe en el intestino y se utiliza de la misma forma que los ácidos grasos, es decir, como fuente de energía (Multon, 2000).

Por cuanto antecede, el objetivo del presente trabajo se centró en el estudio y comparación con el  $\text{CaCl}_2$  de otras sales cálcicas como  $\text{CaCO}_3$ , propionato y lactato cálcico a una concentración tal que aporte la misma cantidad de  $\text{Ca}^{2+}$  que el  $\text{CaCl}_2$  al 0,5%. La

temperatura de lavado fue de 60°C ya que según el estudio anterior y Luna-Guzmán *et al.* (1999) esta temperatura proporciona una mejor firmeza que a 5°C.

## 6.2. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 6.2.1. Material vegetal.

El material vegetal estuvo compuesto por melones Amarillos de la variedad “Solaris”, cultivados en Albacete. Los frutos se recolectaron en agosto y se seleccionaron por su tamaño y coloración externa, descartándose aquellos que presentaban lesiones por golpes y/o rozaduras o alteraciones. De la selección se tomó al azar una muestra de 20 melones a los que se determinó el peso, color y los diámetros ecuatorial y polar (Tabla 6.1).

**Tabla 6.1.** Caracterización inicial (peso, calibres y color de epidermis) del melón Amarillo “Solaris”.

Peso (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)	Color epidermis		
			L*	°H	Croma
2558 <sup>z</sup> ± 41,1	16,7 ± 0,2	19,5 ± 0,1	76,5 ± 0,2	91,4 ± 0,6	58,9 ± 0,7

<sup>z</sup>Media (n = 20) ± error estándar.

### 6.2.2. Preparación de la muestra.

El procesado en secciones trapezoidales se efectuó como se ha descrito en el Capítulo 1 (Sección 1.2.2.). Las dimensiones de las secciones trapezoidales fueron (media ± error estándar), 4,8 ± 0,1 x 2,7 ± 0,1 x 2,6 ± 0,1 cm. Los baños aplicados se realizaron como se ha descrito en el Capítulo precedente. Se probaron tres tipos de sales, añadiendo una concentración tal que llevara la misma cantidad de calcio que el CaCl<sub>2</sub> puro al 0,5% (0,18 g de calcio en 0,5 g CaCl<sub>2</sub> diluida en 100 mL de agua). Se ensayó el carbonato cálcico (CaCO<sub>3</sub>), propionato cálcico (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>CaO<sub>4</sub>) y el lactato cálcico (Ca(CH<sub>3</sub>CHOHCOO)<sub>2</sub>), todas ellas de Panreac Química, S.A.

- Cloruro cálcico. Sal empleada: CaCl<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O, riqueza comercial = 98%. Concentración deseada 0,5%. Se disolvió 1,02 g de CaCl<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O, es decir, 0,18 g de calcio, por cada 100 mL de agua. Esta sal se disolvió muy bien dejando un agua transparente.

- Carbonato cálcico. Sal empleada: CaCO<sub>3</sub>, riqueza comercial = 98%. La concentración necesaria para conseguir la misma riqueza en calcio que la sal anterior fue de 0,46%. La disolución de esta sal no fue buena dejando un agua lechosa que impedía ver el procesado.

- Propionato cálcico. Sal empleada:  $C_6H_{10}CaO_4$  con un 3% de agua, riqueza comercial = 97%. La concentración fue de 0,9%. Es una sal que se disolvió muy bien y proporcionando un color blanquecino en la disolución pero menos turbio que el  $CaCO_3$ .

- Lactato cálcico. Sal empleada:  $Ca(CH_3CHOHCOO)_2 \cdot 5 H_2O$ , riqueza comercial = 98%. La concentración fue de 1,42%.

Cada lote de melón procesado fue bañado en su respectiva sal cálcica. Para obtener el testigo, el melón procesado fue bañado durante un min en agua a 60°C sin adicionar ningún tipo de sal cálcica.

Tras el baño y posterior enfriamiento del melón, 450 g de melón procesado y bañado a 60°C se envasaron en barquetas como se describió en el Capítulo anterior, empleándose el mismo tipo de plástico. Todas las muestras se almacenaron 8 días a 5°C y 95% HR. Dado que nuestro objetivo fue estudiar el efecto del calcio en el ablandamiento y éste aumenta en los primeros días, según se ha comprobado en los Capítulos anteriores, se optó por realizar tres análisis: al inicio del experimento, al tercer y al octavo día. Se dispusieron de 5 repeticiones por tipo de sal y salida.

Para evaluar la tasa respiratoria de los distintos tratamientos, se pesaron 250 g de secciones trapezoidales y se colocaron en frascos de vidrio (0,75 L) que se dispusieron a 5°C y se les hicieron pasar un flujo de aire a través de un mezclador de gases.

### 6.2.3. Determinaciones.

Para evaluar la eficacia del calcio, así como la temperatura idónea de aplicación se realizaron las siguientes determinaciones, detalladas en Materiales y Métodos (Sección 2).

Se determinó la tasa respiratoria y emisión de etileno por sistema estático. Además, de forma regular se determinaron las concentraciones de  $CO_2$ ,  $O_2$  y  $C_2H_4$  en el interior de las tarrinas.

En cada salida se realizó un:

- Evaluación sensorial (escala hedónica de 9 puntos)
- Color de la pulpa
- Firmeza y retención de calcio.
- Análisis microbiológico.

En el zumo obtenido a partir del melón procesado, además, se evaluaron:

- Color

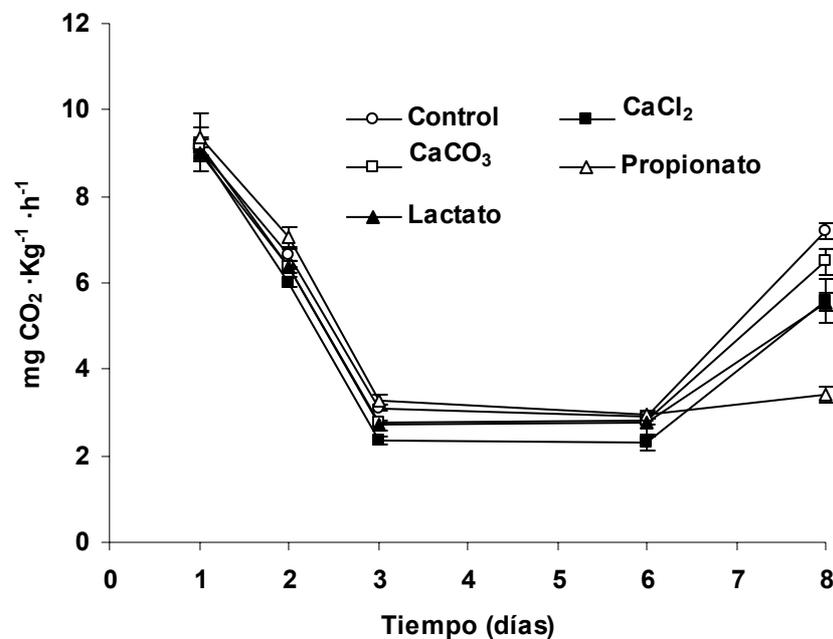
- SST y azúcares
- pH, AT y ácidos orgánicos.

En todas las determinaciones se evaluaron 5 repeticiones por tratamiento salvo para la firmeza y color en pulpa donde la media está compuesta por 35 valores, es decir, se evaluaron 7 piezas de cada réplica. Se realizó un ANDEVA bifactorial (tiempo de conservación x tipo de baño). Cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó la prueba LSD.

### 6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 6.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno.

Como sucedió en los Capítulos anteriores, el procesado se tradujo en un incremento instantáneo en la tasa respiratoria y emisión de  $C_2H_4$  debido al estrés del corte. Éste se prolongó hasta el tercer día, en el que la tasa respiratoria se estabilizó hasta el sexto día (Figura 3.1). Durante este periodo, no hubo diferencias significativas entre los distintos tratamientos. A partir del sexto día, todos los tratamientos, salvo con propionato cálcico, aumentan tanto la emisión de  $CO_2$  como la de  $C_2H_4$  (Figura 6.2). Este incremento se debió al crecimiento microbiano (Tabla 6.14) y a un deterioro del tejido provocado por la proximidad a la senescencia, como se ha observado y discutido en los Capítulos anteriores.

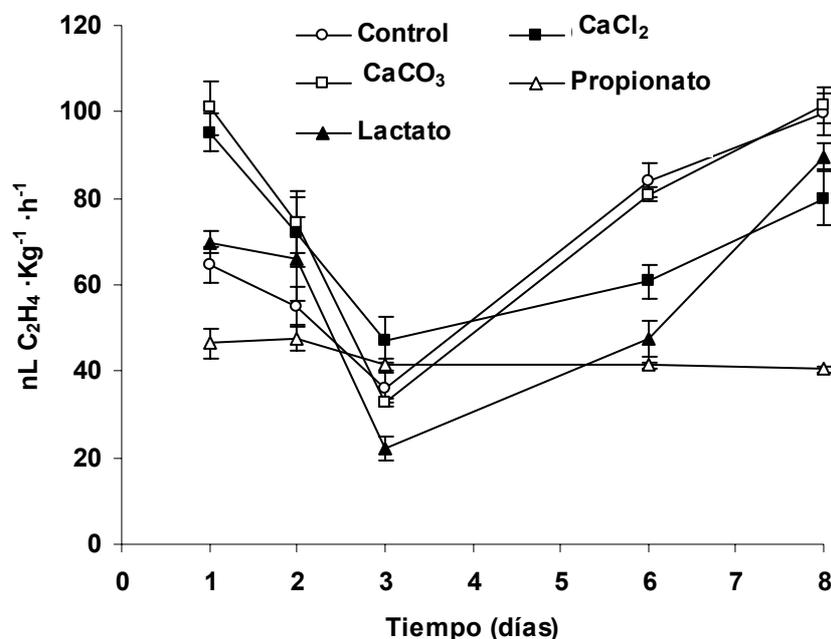


**Figura 6.1.** Tasa respiratoria de melón Amarillo procesado en fresco bañado en distintas sales cálcicas y conservado durante 8 días a 5°C. Media (n = 5) ± error estándar.

Al final de la conservación, se observó una mayor emisión de  $\text{CO}_2$  en el testigo, seguida del  $\text{CaCO}_3$ . Se observó, de nuevo, aunque de forma sutil y en los últimos días de conservación, el papel del calcio en la disminución de la respiración, como se ha discutido ampliamente en la Sección 5.3.1. del Capítulo anterior.

La emisión de  $\text{C}_2\text{H}_4$  se redujo conforme se superó el estrés del corte, para aumentar de forma paulatina y progresiva con la conservación (Figura 6.2). En general, los niveles de  $\text{C}_2\text{H}_4$  emitidos por el  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$  y el testigo fueron similares ( $390\text{-}340 \text{ nL} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) mientras que lactato ( $295 \text{ nL} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), y muy especialmente, propionato cálcico ( $215 \text{ nL} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) obtuvieron los valores más bajos. Luna-Guzmán y Barret (2000) también obtuvieron una menor emisión de etileno en cilindros Cantaloupe bañados en lactato que los testigos o tratados con  $\text{CaCl}_2$ .

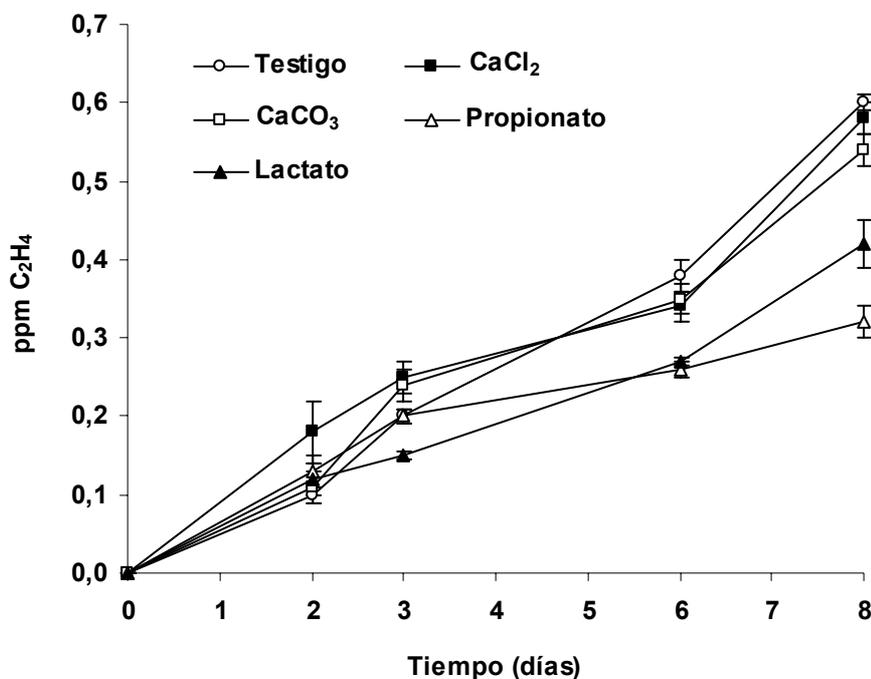
El melón con propionato apenas manifestó los fenómenos más comunes de un producto procesado en fresco, es decir, estrés del corte (acompañada por el incremento en la emisión de  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$ ) y contaminación microbiana/deterioro general del tejido. Como se observa en las Figuras 6.1 y 6.2, la baja y estable producción de  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  se mantuvo durante toda la conservación, lo cual indica que este tratamiento presentará una reducida contaminación microbiana (Tabla 6.14) y una vida útil más prolongada.



**Figura 6.2.** Emisión de  $\text{C}_2\text{H}_4$  de melón Amarillo procesado en fresco bañado en distintas sales cálcicas y conservado durante 8 días a  $5^\circ\text{C}$ . Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar.

### 6.3.2. Composición gaseosa de las tarrinas.

Como anteriormente el plástico microperforado evitó la reducción en la concentración de  $O_2$  así como, la acumulación de  $CO_2$ , como deseábamos para estudiar el efecto exclusivo de los baños cálcicos, así como de la temperatura empleada en los mismos. Las concentraciones gaseosas en los distintos tratamientos oscilaron entre 18-15 kPa  $O_2$  y 2-3 kPa  $CO_2$ . Las concentraciones más elevadas de  $O_2$  y las más bajas de  $CO_2$  corresponden al propionato. Los niveles gaseosos alcanzados son semejantes a los citados en el Capítulo 5 donde se utilizó el mismo plástico (microperforado tipo 260). La concentración de  $C_2H_4$  alcanzadas en la tarrinas (Figura 3) se corresponde con la emisión de  $C_2H_4$  comentada en el apartado anterior, es decir, el testigo y las tarrinas con  $CaCl_2$  y  $CaCO_3$  obtuvieron una ligera mayor concentración de  $C_2H_4$  (0,6-0,55 ppm) frente al lactato cálcico y, particularmente, el propionato cálcico (0,4 ppm).



**Figura 6.3.** Concentración de  $C_2H_4$  de melón Amarillo procesado en fresco bañado en distintas sales cálcicas y EAM durante 8 días a  $5^\circ C$ . Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar.

### 6.3.3. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos.

#### 6.3.3.1. Evaluación sensorial.

El tiempo de conservación fue un factor que influyó en todos los parámetros sensoriales. Además, en la textura influyó la interacción de éste con el tipo de sal (Tabla 6.2).

**Tabla 6.2.** Influencia del tiempo de conservación y la aplicación de distintas sales cálcicas en los parámetros sensoriales de melón Amarillo procesado en fresco durante 8 días a 5°C.

<b>Tiempo de conservación</b>	<b>Baño</b>	<b>Apariencia</b> <b>(1 – 9)</b>	<b>Sabor</b> <b>(1 – 9)</b>	<b>Aroma</b> <b>(1 – 9)</b>	<b>Textura</b> <b>(1 – 9)</b>	<b>CG</b> <b>(1 – 9)</b>
<b>Inicial</b>		8,0 <sup>z</sup>	8,0	7,0	8,0	8,0
<b>3 días</b>	<b>Testigo</b>	7,0	7,0	6,0	7,3	7,7
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	7,0	7,7	6,0	8,0	7,3
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	7,2	6,5	5,7	7,8	7,5
	<b>Propionato cálcico</b>	7,0	6,2	5,3	8,0	6,7
	<b>Lactato cálcico</b>	6,8	7,0	5,3	8,0	7,3
<b>8 días</b>	<b>Testigo</b>	6,7	5,3	5,0	5,7	5,3
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	6,7	5,3	5,7	6,7	6,3
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	7,0	6,0	5,0	6,5	6,0
	<b>Propionato cálcico</b>	6,3	5,7	5,0	7,3	5,8
	<b>Lactato cálcico</b>	5,7	7,6	5,0	7,0	6,5
<b>Tiempo de conservación</b>		(0,7) <sup>c</sup>	(0,8) <sup>c</sup>	(0,9) <sup>a</sup>	(0,4) <sup>c</sup>	(0,7) <sup>c</sup>
<b>Sal</b>		NS	NS	NS	(0,5) <sup>c</sup>	NS
<b>Tiempo x sal</b>		NS	NS	NS	(0,7) <sup>b</sup>	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. CG: calidad global.

Al tercer día los parámetros sensoriales, apariencia y sabor disminuyeron aunque se mantuvieron con valores buenos según la escala hedónica (Tabla 6.3). El CaCO<sub>3</sub> y algo menos, el propionato cálcico imprimieron al procesado un color muy blanco, asociado por los panelistas a un procesado más limpio y atractivo, asignándoles valores más altos en la apariencia. Sin embargo, el lactato cálcico proporcionó a las secciones un color amarillo que fue asociado con un melón más maduro. No obstante, el tipo de sal cálcica aplicada no influyó en la apariencia, pero como veremos en el apartado del color estos cambios se reflejarán en el IB y L\*.

El aroma, al igual que en el Capítulo anterior, disminuyó de forma importante en tan sólo tres días, aunque se mantuvo hasta el final de la conservación. Éste es uno de los parámetros sensoriales más hábiles, y de hecho, los valores iniciales de partida ya se consideran relativamente bajos (7). Se valoró el aroma en un melón recién cortado pero conservado a 5°C durante 8 días, el resultado obtenido fue de 5, lo cual indica, que el aroma en el melón Amarillo procesado o no es extremadamente sensible a la conservación.

**Tabla 6.3.** Separación de medias cuando el factor tiempo fue significativo en la apariencia, sabor, aroma, textura y color de melón Amarillo procesado en fresco, bañado con distintas sales cálcicas y conservado durante 8 días a 5°C.

	<b>Apariencia</b> <b>(1 – 9)</b>	<b>Sabor</b> <b>(1 -9)</b>	<b>Aroma</b> <b>(1 – 9)</b>	<b>Calidad global</b> <b>(1 – 9)</b>
<b>Inicial</b>	8,0 <sup>z</sup> a	8,0 a	7,0 a	8,0 a
<b>3 días</b>	7,0 b	6,9 b	5,7 b	7,3 a
<b>8 días</b>	6,5 b	5,8 c	5,1 b	6,0 b

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 6.2) por la prueba de LSD. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente.

En ningún tratamiento se detectaron sabores extraños salvo en el propionato cálcico donde el panel detectó un sabor atípico del melón en ambas salidas, a un nivel de 2,5 en la escala de 1 a 9. Para Buta *et al.* (1999) el propionato cálcico no impartió sabores ni aromas extraños a rodajas de kiwi y para Dong *et al.* (2000) el lactato cálcico dio algo mejor sabor que el CaCl<sub>2</sub> y tampoco añadió sabores y aromas extraños (Baker, 1993; Main *et al.*, 1986; Morris *et al.*, 1985; Portela y Barrett, 2000).

Como en el Capítulo anterior, la textura se mantuvo en todos los tratamientos durante los 3 primeros días disminuyendo al final de la conservación. En estas salidas, sólo el testigo sufrió una pérdida de firmeza mientras que no se observaron diferencias significativas entre el resto de tratamientos cálcicos (Tabla 6.4). La textura de un melón entero recién cortado pero conservado durante 8 días a 5°C fue de 7,3 valores muy semejante al obtenido en el procesado al utilizar sales cálcicas.

La calidad global se mantuvo sin cambios significativos en la primera salida, para disminuir junto con el sabor al final de la conservación. No obstante, todos los tratamientos fueron evaluados por encima del límite de comercialización aunque inferiores a un recién cortado (7,8) ya que éste mantuvo una mejor apariencia (8) y sabor (7,7).

Según lo expuesto, el tiempo de conservación de un melón procesado influye principalmente en la reducción de la apariencia y sabor ya que la textura se puede mantener con el uso de sales cálcicas. El aroma también se pierde tras la conservación del melón entero sin procesar.

**Tabla 6.4.** Interacción (tiempo conservación x baño cálcico) en la textura y la firmeza de melón Amarillo procesado en fresco, bañado con distintas sales cálcicas y conservado 8 días a 5°C.

<b>Textura (1-9)</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>3d</b>	<b>8d</b>
<b>Testigo</b>	8,0 Aa	7,3 Ab	5,7 Bc
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	8,0 Aa	8,0 Aa	6,7 Bab
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	8,0 Aa	7,8 Aa	6,5 Bab
<b>Propionato cálcico</b>	8,0 Aa	8,0 Aa	7,3 Ba
<b>Lactato cálcico</b>	8,0 Aa	8,0 Aa	7,0 Bab
<b>Firmeza (N)</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>3d</b>	<b>8d</b>
<b>Testigo</b>	15,5 Aa	13,1 Bb	11,4 Bb
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	15,5 Aa	16,3 Aa	15,0 Aa
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	15,5 Aa	13,0 Bb	12,6 Bb
<b>Propionato cálcico</b>	15,5 Aa	16,9 Aa	15,3 Aa
<b>Lactato cálcico</b>	15,5 Aa	15,3 Aa	14,3 Aa

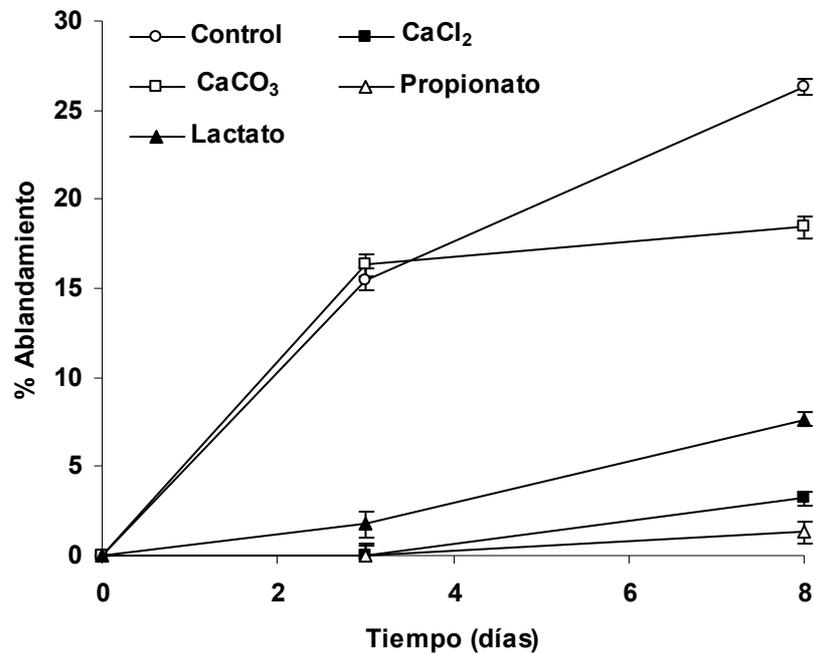
<sup>2</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 6.2) por la prueba de LSD. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente.

### 6.3.3.2. Firmeza y retención de calcio.

Todas las sales cálcicas fueron altamente eficaces en frenar el ablandamiento (Figura 6.4). Como en el caso de la textura, la firmeza dependió de la interacción de ambos factores (Tablas 6.5 y 6.8). El tiempo de conservación y la aplicación de baños cálcicos influyeron en la concentración de Ca<sup>++</sup> en el interior del tejido. No hubo diferencias significativas entre el CaCl<sub>2</sub>, propionato y lactato cálcico en la firmeza (Tabla 6.4) ni el contenido cálcico (Tabla 6.6) y tampoco se apreciaron diferencias en la firmeza con la conservación. En cambio, tanto el testigo como el CaCO<sub>3</sub> se ablandaron al tercer día manteniéndose hasta el final de la misma.

El ablandamiento estuvo íntimamente ligado al contenido en cálcico, donde los niveles de calcio fijado se correlacionaron positivamente con la firmeza presentando un menor ablandamiento como se observó en los tratamientos bañados con CaCl<sub>2</sub>, propionato y lactato cálcico (Beavers *et al.*, 1994; Benavides *et al.* 2002; Drake y Spayd, 1983; Paliyath *et al.*, 1984; Picchioni *et al.*, 1996; Poovaiah, 1979, 1980; Poovaiah *et al.*, 1978; Scott y Wills, 1975). Por el contrario, contenidos bajos en calcio se correlacionaron con una pérdida de firmeza como mostraron el testigo y el CaCO<sub>3</sub>. Probablemente, la dificultad de esta sal para disolverse en agua

fue un obstáculo para difundirse a través del tejido, que en el caso del melón posee un elevado contenido en agua.



**Figura 6.4.** Ablandamiento (%) producido en melón Amarillo procesado en fresco bañado en distintas sales cálcicas y EAM durante 8 días a 5°C. Media ( $n = 35$ )  $\pm$  error estándar.

El lactato cálcico ha sido usado por su efecto positivo en la firmeza en peras procesadas (Morris *et al.*, 1985; Main *et al.*, 1986), uvas (Baker, 1993). Poovaiah (1986) y Pontin *et al.* (1972) evaluaron tanto lactato como CaCl<sub>2</sub> como agentes que evitaban el ablandamiento en manzana enlatada. Dong *et al.* (2000) observaron que el lactato cálcico contribuyó también a mantener la firmeza en rodajas de pera Bosc, sin embargo, si este lactato lo aplicaban a peras Barlett no observaban ningún efecto. Luna-Guzmán y Barret (2000) observaron que tras la conservación, el lactato cálcico retenía mejor la firmeza que el CaCl<sub>2</sub>. Agar *et al.* (1999) obtuvieron un menor ablandamiento en rodajas de kiwis tratadas con 0,5 ó 1% de CaCl<sub>2</sub> que aquellas tratadas con 0,25% de CaCl<sub>2</sub> ó 0,5% de lactato cálcico. Sin embargo, las concentraciones mayores de calcio, CaCl<sub>2</sub> (0,5 y 1%), o lactato cálcico (1 y 2%) resultaron en una firmeza similar. Según nuestros datos, no hubo diferencias significativas entre ambos, pero el CaCl<sub>2</sub> alcanzó siempre valores más altos.

**Tabla 6.5.** Influencia del tiempo de conservación y la aplicación de distintas sales cálcicas en el contenido en calcio ( $\text{g} \cdot \text{Kg}^{-1}$  peso fresco) de melón Amarillo procesado en fresco durante 8 días a  $5^{\circ}\text{C}$ .

<b>Tiempo de conservación</b>	<b>Baño</b>	<b>Ca<sup>++</sup> libre</b>	<b>Ca<sup>++</sup> fijado</b>	<b>Ca<sup>++</sup> total</b>
<b>Inicial</b>	<b>Testigo</b>	0,05 <sup>z</sup>	0,27	0,32
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	0,13	0,47	0,60
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	0,07	0,27	0,34
	<b>Propionato cálcico</b>	0,11	0,38	0,54
	<b>Lactato cálcico</b>	0,13	0,43	0,51
<b>3 días</b>	<b>Testigo</b>	0,05	0,31	0,36
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	0,14	0,48	0,62
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	0,07	0,33	0,41
	<b>Propionato cálcico</b>	0,14	0,43	0,57
	<b>Lactato cálcico</b>	0,12	0,55	0,68
<b>8 días</b>	<b>Testigo</b>	0,05	0,31	0,35
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	0,11	0,54	0,65
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	0,07	0,28	0,35
	<b>Propionato cálcico</b>	0,09	0,45	0,55
	<b>Lactato cálcico</b>	0,10	0,40	0,50
<b>Tiempo conservación</b>		(0,02) <sup>c</sup>	(0,05) <sup>a</sup>	(0,05) <sup>a</sup>
<b>Sal</b>		(0,02) <sup>c</sup>	(0,10) <sup>c</sup>	(0,11) <sup>c</sup>
<b>Tiempo x sal</b>		NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001.

La aplicación de un baño cálcico aumentó respecto al testigo en un 140% el contenido cálcico libre y en un 50% el fijado (media de los tratamientos bañados con CaCl<sub>2</sub>, propionato y lactato). Es difícil fijar el calcio en la pared celular ya que es necesario que éste se difunda en el tejido y, posteriormente se una a los pectatos que componen la pared celular (Conway *et al.*, 1997; Damarty *et al.*, 1984; Gidley *et al.*, 1980; Grant *et al.*, 1973; Moris, 1980; Poovaiah *et al.*, 1988; Saftner *et al.*, 1998b; Valero *et al.*, 1998) responsables de la cohesión celular (Knee y Bartley, 1981).

Según nuestros resultados, el calcio es un importante agente para frenar el ablandamiento, pero no debe ser el único en controlar este fenómeno, ya que en el testigo la concentración de calcio apenas varía con el tiempo y, sin embargo, sufren una importante

pérdida de firmeza al final de la conservación. Probablemente, el calcio tenga dos efectos, uno directo al unirse con los polímeros pécticos de la pared celular (Dey y Brinson, 1984) o más concretamente en la lámina media (Damarty *et al.*, 1984) y otro indirecto, al reducir la expresión o actividad PG (Serrano *et al.*, 2002) evitando el ablandamiento. Posiblemente, la concentración cálcica del testigo no fue suficiente para frenar estos dos fenómenos. No obstante, son otras muchas las funciones adjudicadas al calcio como el de estabilizar la membrana celular, reducir la pérdida de agua, desórdenes fisiológicos y pudriciones retrasando la senescencia (Introducción general, Sección 6.3.). Probablemente, en el testigo donde no se añadió un calcio extra, todos estos fenómenos se aceleraron conllevando a un mayor ablandamiento del tejido.

**Tabla 6.6.** Separación de medias cuando el tipo de sal cálcica empleada fue significativo en el contenido de calcio ( $\text{g} \cdot \text{Kg}^{-1}$  peso fresco) de melón Amarillo procesado en fresco, bañado con distintas sales cálcicas y conservado 8 días a  $5^{\circ}\text{C}$ .

Sales cálcicas	$\text{Ca}^{++}$ libre	$\text{Ca}^{++}$ fijado	$\text{Ca}^{++}$ total
<b>Testigo</b>	0,05 c	0,30 b	0,35 b
<b><math>\text{CaCl}_2</math></b>	0,13 a	0,50 a	0,63 a
<b><math>\text{CaCO}_3</math></b>	0,07 b	0,30 b	0,37 b
<b>Propionato cálcico</b>	0,11 a	0,44 a	0,55 a
<b>Lactato cálcico</b>	0,12 a	0,44 a	0,56 a

<sup>2</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 6.5) por la prueba de LSD.

Como en el Capítulo anterior, el tiempo de conservación modificó el contenido en calcio libre, pero en esta ocasión acompañado por el  $\text{Ca}^{++}$  fijado y, por tanto, el total. En todos ellos, se observó (Tabla 6.7) una concentración más elevada en el día 3. El calcio libre disminuyó tras la conservación mientras que los valores más bajos de  $\text{Ca}^{++}$  fijado se observaron en el inicio. Esto indica, que el calcio necesita un tiempo (inferior a 3 días) para fijarse en la pared celular. Sin embargo, el calcio libre se difundió con el tiempo de conservación hacia tejidos más internos, reduciendo el contenido en la zona superficial (de donde se extrajeron las muestras). O'Beirne *et al.* (1981) y Siddiqui y Bangerth (1995, 1996) también observaron durante el almacenamiento de manzanas una disminución del calcio soluble aumentando el calcio insoluble. Persisten gradientes de calcio después del tratamiento cálcico en la fruta almacenada, en especial, si es una larga conservación (Glenn y Poovaiah, 1990). La presencia de Ca-ATPasas localizadas en la membrana plasmática, tonoplasto y retículo endoplásmico proporcionan un mecanismo para una posible redistribución de las reservas de calcio a nivel celular (Poovaiah y Reddy, 1987).

El contenido en calcio libre y fijado de un melón entero recién cortado pero conservado 8 días a 5°C fue de 0,06 y 0,34 g · Kg<sup>-1</sup> peso fresco respectivamente. Valores ligeramente superiores a los 0,05 y 0,31 g · Kg<sup>-1</sup> encontrados en el testigo conservado procesado durante 8 días lo que indica que el proceso de ablandamiento y senescencia fue más acusado en un producto procesado en fresco.

**Tabla 6.7.** Separación de medias cuando el factor tiempo fue significativo en el contenido de calcio (g · Kg<sup>-1</sup> peso fresco) de melón Amarillo procesado en fresco, bañado con distintas sales cálcicas y conservado 8 días a 5°C.

	Ca <sup>++</sup> libre	Ca <sup>++</sup> fijado	Ca <sup>++</sup> total
<b>Inicial</b>	0,10 <sup>z</sup> ab	0,36 b	0,46 b
<b>3 días</b>	0,11 a	0,42 a	0,53 a
<b>8 días</b>	0,09 b	0,40 ab	0,49 ab

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 6.5) por la prueba de LSD. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 3 = pobre, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente.

Con las distintas técnicas empleadas en los Capítulos anteriores, como el uso de la AC (Capítulo 2) el ablandamiento fue de un 26% en el día 7, si aplicamos EAM pasivas (Capítulo 3) éste fue de un 18% en el día 6, ambos a 5°C. Sin embargo, cuando la temperatura de conservación se redujo hasta 0°C, el EAM activa o pasiva (con un 1% de CaCl<sub>2</sub> proporcionado en un baño a 5°C) frenó totalmente la pérdida de firmeza hasta el día 10 ó de un 19% si el procesado se EAM pasiva sin baño cálcico. Luego la conservación a 0°C acompañada de un EAM activa o pasiva pero con baño cálcico son las mejores herramientas para frenar el ablandamiento. Si por causas logísticas y de distribución la temperatura de conservación en debe ser de 4 a 5°C, la mejor solución de las estudiadas en esta Tesis para frenar el ablandamiento en melón Amarillo procesado en fresco consistiría en la aplicación de baños cálcicos a elevadas temperaturas (60°C) con sales solubles en agua como CaCl<sub>2</sub>, propionato y lactato cálcico donde el ablandamiento no sobrepasaría el 7% tras 8 días de conservación.

El ablandamiento del melón entero conservado 8 días a 5°C fue de un 16% a pesar de estar protegidos por su epidermis.

### 6.3.3.3. Color.

El IB y °H medidos en la pulpa, °H y Croma en el zumo sólo estuvieron influenciados por el tiempo de conservación, además, en la luminosidad de la pulpa (L\*) y el tono del zumo

influyeron la interacción de este factor con el baño cálcico (Tabla 6.8). Por el contrario, ninguno de los factores estudiados fue significativo en la L\* del zumo ni tampoco en el IB. Ambos valores tuvieron una media de 31,4.

**Tabla 6.8.** Influencia del tiempo de conservación y baños cálcicos en la firmeza y el color de melón Amarillo procesado en fresco durante 8 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Baño	Firmeza		Pulpa		Zumo		
		(N)	L*	IB	°H	Croma	°H	Croma
<b>Inicial</b>		15,5	78,0	73,9	110,2	13,9	127,5	2,2
<b>3 días</b>	<b>Testigo</b>	13,1	72,2	69,8	109,8	11,9	132,1	2,1
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	16,3	71,8	69,3	109,8	11,9	136,0	1,9
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	13,0	74,3	71,6	110,2	12,1	130,4	2,4
	<b>Propionato cálcico</b>	16,9	75,0	71,7	110,7	13,0	132,9	1,7
	<b>Lactato cálcico</b>	15,3	72,6	70,0	105,6	12,1	133,8	1,5
<b>8 días</b>	<b>Testigo</b>	11,4	72,4	70,0	108,8	11,4	128,5	1,6
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	15,0	71,2	69,1	107,6	10,9	136,6	1,5
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	12,6	72,9	70,5	107,9	11,3	129,6	2,1
	<b>Propionato cálcico</b>	15,3	73,8	71,0	107,8	12,1	135,5	1,6
	<b>Lactato cálcico</b>	14,3	73,0	70,6	103,1	11,4	133,6	1,6
<b>Tiempo</b>		(0,8) <sup>c</sup>	(1,0) <sup>c</sup>	(1,0) <sup>c</sup>	(1,2) <sup>c</sup>	(0,8) <sup>c</sup>	(4,3) <sup>c</sup>	(0,4) <sup>b</sup>
<b>Sal</b>		(1,8) <sup>c</sup>	(1,3) <sup>c</sup>	NS	(0,9) <sup>c</sup>	NS	NS	NS
<b>Tiempo x sal</b>		(0,1) <sup>c</sup>	(1,3) <sup>a</sup>	NS	(2,0) <sup>c</sup>	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 35); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001.

Salvo el tono determinado en el zumo, el resto de índices y parámetros estudiados disminuyeron con el tiempo, mostrando una pulpa menos luminosa (Tabla 6.9).

**Tabla 6.9.** Separación de medias cuando el factor tiempo fue significativo en el color, fructosa y glucosa de melón Amarillo procesado en fresco, bañado con distintas sales cálcicas y conservado 8 días a 5°C.

	IB pulpa	Croma pulpa	Croma zumo	°H zumo	Fructosa	Glucosa
<b>Inicial</b>	73,9 <sup>z</sup> a	14,0 a	2,2 a	127,5 b	17,09 b	18,47 b
<b>3 días</b>	70,5 b	12,2 b	1,9 ab	133,0 a	19,48 a	20,74 a
<b>8 días</b>	70,3 b	11,4 c	1,7 b	132,8 a	19,53 a	19,87 ab

<sup>2</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 6.8 y 6.11) por la prueba de LSD. Fructosa, glucosa (gL<sup>-1</sup>).

No obstante, en la Tabla 6.10 observamos que en ambas salidas, la L\* en la pulpa fue mayor con la aplicación de carbonato y propionato cálcico. Estas sales imprimieron al procesado un color más blanco y por tanto redujeron en menor proporción la L\*. El CaCO<sub>3</sub> puede usarse como colorante en recubrimiento de grageas y chicles, así como otras piezas empleadas en la decoración de productos de pastelería por su color blanco (Multon, 2000).

**Tabla 6.10.** Interacción (tiempo conservación x baño cálcico) en el color (L\* y °H en pulpa) de melón Amarillo procesado en fresco, bañado con sales cálcicas y conservado 8 días a 5°C.

L* pulpa			
	Inicial	3d	8d
<b>Testigo</b>	78,0 Aa	72,2 Bb	72,4 Bb
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	78,0 Aa	71,8 Bb	71,2 Bb
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	78,0 Aa	74,3 Ba	72,9 Cab
<b>Propionato cálcico</b>	78,0 Aa	75,0 Ba	73,8 Ba
<b>Lactato cálcico</b>	78,0 Aa	72,6 Bb	73,0 Bab
°H pulpa			
	Inicial	3d	8d
<b>Testigo</b>	110,2 Aa	109,8 Aa	108,8 Aa
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	110,2 Aa	109,8 Aa	107,6 Ba
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	110,2 Aa	110,2 Aa	107,9 Ba
<b>Propionato cálcico</b>	110,2 Aa	110,7 Aa	107,8 Ba
<b>Lactato cálcico</b>	110,2 Aa	105,6 Bb	103,1 Cb

<sup>2</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 6.8) por la prueba de LSD.

El lactato cálcico tuvo la peculiaridad de impregnar a los trapecios un color amarillento (reducción en °H, 110 a 103) que fue asociado con “madurez” (Tabla 6.10). Dong *et al.* (2000) no consiguieron disminuir el pardeamiento (reducción de L\* y °H) en rodajas de pera utilizando lactato cálcico. Izumi y Watada (1994) tampoco encontraron una influencia en el color (°H, Cromo) de la zanahoria procesada por los tratamientos cálcicos. En cambio, para Tsantili *et al.* (2002) en limón, así como, Saftner *et al.* (1998a) en manzanas, los tratamientos cálcicos frenaron o retardaron la disminución del color (°H).

En ningún tratamiento se desarrolló translucencia por lo que en este ensayo tampoco pudo corroborarse que la vitrescencia se produzca por una deficiencia en calcio (Chatenet *et al.*, 2000; Odet y Dumoulin, 1993; Serrano *et al.*, 2002).

#### 6.3.3.4. SST y azúcares.

A pesar de que las variaciones en los SST no fueron significativas (Tabla 6.11), el tiempo de conservación provocó un aumento en el contenido de fructosa y glucosa por hidrólisis de la sacarosa, la cual disminuyó aunque sólo de forma significativa en determinados tratamientos como en el testigo y el CaCl<sub>2</sub>. Estos resultados fueron similares a los discutidos en el Capítulo anterior.

Curiosamente, la sacarosa sólo disminuyó en el testigo, CaCl<sub>2</sub> y CaCO<sub>3</sub> (Tabla 12) lo cual indica que en estos tratamientos el metabolismo fue más intenso, como reflejaron en su tasa respiratoria y emisión de etileno aunque con pequeñas diferencias.

**Tabla 6.11.** Influencia del tiempo de conservación y baños cálcicos en los SST y azúcares de melón Amarillo procesado en fresco tras 8 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Baño	SST	Fructosa	Glucosa	Sacarosa
<b>Inicial</b>		9,5	18,47	17,09	45,96
<b>3 días</b>	<b>Testigo</b>	9,1	22,00	20,57	38,41
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	8,9	21,06	19,64	34,39
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	9,5	21,15	19,96	38,83
	<b>Propionato cálcico</b>	9,2	20,30	19,53	44,61
	<b>Lactato cálcico</b>	9,8	19,20	17,69	47,90
<b>8 días</b>	<b>Testigo</b>	8,8	19,16	18,58	32,01
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	9,1	19,99	19,73	35,38
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	8,7	21,38	21,11	42,85
	<b>Propionato cálcico</b>	9,1	18,11	18,32	42,24
	<b>Lactato cálcico</b>	9,8	20,72	19,89	45,74
<b>Tiempo</b>		NS	(1,69) <sup>b</sup>	(2,07) <sup>c</sup>	(4,35) <sup>c</sup>
<b>Sal</b>		NS	NS	NS	(5,61) <sup>c</sup>
<b>Tiempo x sal</b>		NS	NS	NS	(7,33) <sup>b</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: sólidos solubles totales (°Brix). Fructosa, glucosa, sacarosa (gL<sup>-1</sup>).

### 6.3.3.5. pH, AT y ácidos orgánicos.

Los cambios en la AT, sólo estuvieron influenciados por el tipo de sal utilizada, el baño con  $\text{CaCO}_3$  provocó una reducción en la AT acompañado de un pH más alto (Tabla 6.13) a pesar de que Duque *et al.* (1999) no observaron ningún cambio en la AT por los baños cálcicos.

**Tabla 12.** Interacción (tiempo conservación x baño cálcico) en el contenido en sacarosa, pH y ácido cítrico de melón Amarillo procesado en fresco bañado con sales cálcicas y conservado durante 8 días a 5°C.

<b>Sacarosa</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>3d</b>	<b>8d</b>
<b>Testigo</b>	45,96 <sup>z</sup> Aa	38,41 Bb	32,01 Bb
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	45,96 Aa	34,39 Bb	35,38 Bb
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	45,96 Aa	42,85 Aa	38,83 Aab
<b>Propionato cálcico</b>	45,96 Aa	44,61 Aa	42,24 Aa
<b>Lactato cálcico</b>	45,96 Aa	47,90 Aa	45,74 Aa
<b>pH</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>3d</b>	<b>8d</b>
<b>Testigo</b>	5,84 Aa	5,64 Bbc	5,59 Bab
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	5,84 Aa	5,50 Bc	5,52 Bb
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	5,84 Aba	5,98 Aa	5,78 Ba
<b>Propionato cálcico</b>	5,84 Aa	5,55 Bbc	5,64 Bab
<b>Lactato cálcico</b>	5,84 Aa	5,67 Bb	5,64 Bab
<b>Cítrico</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>3d</b>	<b>8d</b>
<b>Testigo</b>	0,14 Aa	0,12 ABa	0,11 Bb
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	0,14 Aa	0,12 ABa	0,11 Bb
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	0,14 Aa	0,12 Aa	0,12 Aab
<b>Propionato cálcico</b>	0,14 Aa	0,12 Aa	0,12 Aab
<b>Lactato cálcico</b>	0,14 Aa	0,13 Aa	0,14 Aa

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tablas 6.11 y 6.13) por la prueba de LSD. Sacarosa ( $\text{g L}^{-1}$ ). Cítrico ( $\text{g } 100\text{mL}^{-1}$ ).

Todos los tratamientos disminuyeron el pH conforme se prolongaba el tiempo de conservación (Tabla 6.12), probablemente debido a la contaminación microbiana ya que el

contenido en ácido cítrico también tendió a disminuir (Tabla 6.13), salvo el lactato cálcico que tras la conservación presentó un aumento en la AT. Probablemente por su característica como reguladores de la acidez en multitud de productos (Multon, 2002) acompañada de un menor consumo en ácido cítrico y sacarosa como consecuencia de un metabolismo menos intenso (Figura 6.1).

Como sucedió en el Capítulo anterior (Sección 5.3.3.5.), las variaciones en ácido málico no fueron significativas para ninguno de los factores estudiados, oscilando entre 0,03 y 0,04 g · 100mL<sup>-1</sup>. El contenido en ácido ascórbico fluctuó entre 6,42 y 3,04 mg · 100mL<sup>-1</sup> con los valores más bajos tras la conservación. Valores similares se obtuvieron en la experiencia anterior.

**Tabla 6.13.** Influencia del tiempo de conservación y baños cálcicos en el pH, AT y ácido cítrico de melón Amarillo procesado en fresco durante 8 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Baño	pH	AT	Cítrico
<b>Inicial</b>		5,84 <sup>z</sup>	0,10	0,14
<b>3 días</b>	<b>Testigo</b>	5,64	0,10	0,12
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	5,50	0,11	0,12
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	5,98	0,08	0,12
	<b>Propionato cálcico</b>	5,55	0,10	0,12
	<b>Lactato cálcico</b>	5,67	0,10	0,13
<b>8 días</b>	<b>Testigo</b>	5,59	0,11	0,11
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	5,52	0,11	0,11
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	5,78	0,10	0,12
	<b>Propionato cálcico</b>	5,68	0,10	0,12
	<b>Lactato cálcico</b>	5,64	0,12	0,14
<b>Tiempo</b>		(0,06) <sup>c</sup>	NS	(0,01) <sup>b</sup>
<b>Sal</b>		(0,08) <sup>c</sup>	(0,01) <sup>b</sup>	(0,01) <sup>b</sup>
<b>Tiempo x sal</b>		(0,14) <sup>c</sup>	NS	(0,02) <sup>b</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>). Cítrico (g · 100 mL<sup>-1</sup>), fumárico (mg · 100mL<sup>-1</sup>).

#### 6.3.4. Análisis microbiológico.

A los tres días de conservación, los recuentos microbianos fueron muy bajos, del orden de 1-1,5 UFC·g<sup>-1</sup> y sin diferencias entre tratamientos (Tabla 6.14).

Como en el Capítulo anterior, el testigo no alcanzó los 8 días de vida útil según la legislación española (RD 3484/2000, 2001). Éste presentó mayores recuentos microbianos que aquellos donde se aplicó un baño cálcico con diferencias de hasta dos unidades logarítmicas. Parece que el aumento en la concentración cálcica indujo una mayor resistencia en la pared celular reforzándose ésta frente a las enzimas secretadas por los microorganismos e impidiendo su colonización, como se discutió ampliamente en el apartado 3.4. del Capítulo anterior. De hecho, el  $\text{CaCO}_3$  con una menor concentración de  $\text{Ca}^{++}$  fijado presentó recuentos microbianos más elevados que el  $\text{CaCl}_2$  y propionato. Tras el  $\text{CaCO}_3$ , los trapecios de melón bañados en lactato cálcico, con un menor calcio fijado que el  $\text{CaCl}_2$ , desarrollaron una mayor contaminación microbiana.

**Tabla 6.14.** Recuentos microbiológicos ( $\log \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$ ) de melón Amarillo procesado en fresco bañado en distintas sales cálcicas tras 8 días de conservación a  $5^\circ\text{C}$ .

Tratamiento		Mesófilos	Psicrotrofos	Levaduras	Mohos
<b>INICIAL</b>		$1,2^z \pm 0,1$	<1	<1,7	<1,7
<b>DÍA 3</b>	<b>Testigo</b>	$1,5 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,2$	<1,7	<1,7
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	$1,2 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,1$	<1,7	<1,7
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	$1,3 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,2$	<1,7	<1,7
	<b>Propionato cálcico</b>	$1,3 \pm 0,2$	<1	<1,7	<1,7
	<b>Lactato cálcico</b>	$1,5 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,01$	<1,7	<1,7
<b>DÍA 8</b>	<b>Testigo</b>	$6,0 \pm 0,2$	$7,3 \pm 0,1$	$5,2 \pm 0,2$	<1,7
	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	$3,5 \pm 0,1$	$5,2 \pm 0,4$	$3,9 \pm 0,4$	<1,7
	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	$4,5 \pm 0,5$	$5,5 \pm 0,3$	$4,7 \pm 0,3$	<1,7
	<b>Propionato cálcico</b>	<2	$3,1 \pm 0,5$	$2,1 \pm 0,3$	<1,7
	<b>Lactato cálcico</b>	$4,0 \pm 0,3$	$5,2 \pm 0,5$	$4,0 \pm 0,1$	<1,7

<sup>z</sup> Media (n = 5)  $\pm$  error estándar.

Fue muy importante la acción antimicrobiana del propionato que redujo 2 unidades log respecto al resto de tratamientos cálcicos. Al incorporar propionato cálcico, Buta *et al.* (1999) consiguieron prolongar la vida útil de manzanas por inhibir el colapso fisiológico (Scott y Wils, 1979) y por disminuir el crecimiento microbiológico (Freese *et al.*, 1973).

A pesar de las diferencias encontradas en los recuentos microbianos, todos los tratamientos cálcicos permitieron conseguir una vida comercial de 8 días.

#### 6.4. CONCLUSIONES.

La aplicación de baños con sales como  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ , propionato y lactato cálcico, todas con una riqueza en  $\text{Ca}^{++}$  igual a la del  $\text{CaCl}_2$  al 0,5% influyeron de forma distinta en las propiedades sensoriales y fisico-químicas del melón procesado. Cada una presentó una serie de ventajas y desventajas que deben ser contempladas al decidir si se añade al melón procesado en fresco. La baja solubilidad del  $\text{CaCO}_3$  tanto en el agua de inmersión como posteriormente en el tejido impidió la completa difusión del  $\text{Ca}^{++}$ , con lo que el calcio fijado fue menor que con el resto de sales cálcicas y, el ablandamiento sufrido fue similar al del testigo. Sin embargo, proporcionó una pulpa blanca que los panelistas asociaron con una mayor “limpieza” del producto mejorando la apariencia del mismo.

El  $\text{CaCl}_2$  junto con el propionato y lactato cálcico aumentaron en un 50% el calcio fijado y el ablandamiento sufrido fue mínimo. La aplicación de lactato cálcico dotó al procesado de un color amarillento que se asoció con un exceso de madurez del melón. El propionato cálcico redujo de forma significativa la actividad metabólica y de forma muy importante la contaminación microbiana, fue el que más redujo el ablandamiento y, además como el  $\text{CaCO}_3$  proporcionó al melón un color blanco que mejoró la apariencia. Ésta sal se presenta como alternativa para alargar la vida útil del melón procesado. No obstante, transmitió al producto un ligero sabor extraño que en futuros ensayos podría evitarse utilizando concentraciones más bajas o enmascararse con la adición de ácido cítrico. A las dosis probadas ningún tratamiento proporcionó un sabor salado. Todos los tratamientos cálcicos permitieron conseguir una vida comercial de 8 días.

Según todo lo expuesto el  $\text{CaCl}_2$  al 5% aplicado en baños a 60°C continúa siendo una de las sales idóneas, aunque no es insustituible ya que el lactato y especialmente el propionato, son posibles alternativas.

## Capítulo 7. INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LAVADOS CON AGUA OZONIZADA SOBRE LA CALIDAD DE MELÓN PROCESADO EN FRESCO

### 7.1. INTRODUCCIÓN.

La industria agroalimentaria busca tratamientos desinfectantes efectivos en los productos procesados en fresco dado el aumento de enfermedades y el desarrollo de nuevos patógenos (Kim *et al.*, 1999b). El lavado de frutas y hortalizas enteras con agua ozonizada mejora la seguridad alimentaria del producto para controlar los patógenos en la superficie (Hampson y Fiori, 1997; Smilanick *et al.*, 1999). Son muchos los autores que lograron mejorar la calidad sensorial de algunas frutas y hortalizas enteras (Kue *et al.*, 1995; Lewis *et al.*, 1996; Morell *et al.* (1993), al disminuir el consumo de O<sub>2</sub>, la actividad catalasa y peroxidasa, y el crecimiento superficial de microorganismos (Kim *et al.*, 1999a). El ozono ralentiza los procesos de maduración debido a una menor intensidad respiratoria y emisión de etileno, permitiendo extender la vida útil como se ha demostrado en plátanos y manzanas (Dickson *et al.*, 1992; Heagle, 1973; Kuprianoff, 1953; Rice *et al.*, 1982), tomates y mandarinas (Jin *et al.*, 1989), zarcamoras (Barth *et al.*, 1995) fresas, frambuesas, uvas (Ewell, 1940) y lechugas (García *et al.*, 2001).

Se ha demostrado la eficacia del ozono cuando los microorganismos son suspendidos y tratados en agua pura (con baja demanda de ozono) que en los sistemas complejos como los alimentos (Khadre *et al.*, 2001). Rego *et al.* (2002) inocularon 5 unidades log de *Xanthomonas campestris* CECT97 y tras 2 min y medio de exposición en agua ozonizada la cepa se eliminó totalmente. Sin embargo, si los tratamientos con agua ozonizada se realizan en productos vivos las reducciones son mucho menos importantes como observaron Kim *et al.* (1999a) a una dosis de 1,3 mM (62,4 ppm) durante 3 y 5 min ó Singh *et al.* (2002) a una concentración de 10 ppm durante 5 min en lechugas ó Beltrán *et al.* (2003) en bastones de patata y rodajas de zanahoria con 3,7 ppm de ozono en agua durante 7,5 ó 15 min. Normalmente, la inactivación aumenta con el tiempo de exposición.

Así mismo, Smilanick *et al.*, (1999) lograron mermar con 10 ppm de O<sub>3</sub> en agua durante 1 a 4 min la colonización de *Botrytis cinerea* en un 50% en uva de mesa aunque la efectividad fue irregular. De forma similar, la incidencia de podredumbre agria en naranjas y uvas inoculadas con *Geotrichum citriaurantium* tratadas durante 5 min con ozono 12 ppm O<sub>3</sub> fue del 78%. Resultados similares fueron obtenidos con limones, incluso cuando el tiempo de contacto con el agua ozonizada era de 20 min. Según estos autores, y como observaron Spott y Cervantes (1992) en peras y Ogawa *et al.* (1990) en tomates, el testigo de patógenos inoculados en heridas

de frutas fracasa incluso después de un prolongado tratamiento con elevadas concentraciones de ozono en agua. Estos autores concluyeron que el O<sub>3</sub> reacciona con el tejido de la planta y con lugares extracelulares de la herida (inoculación) fracasando la inactivación de los microorganismos.

También el O<sub>3</sub> es capaz de dañar numerosos compuestos celulares como proteínas, lípidos insaturados, enzimas, ácidos nucleicos, así como a las proteínas y peptidoglicanos de esporas y virus (Khadre, *et al.*, 2001) aunque su modo de actuación todavía se desconoce. La superficie del alimento puede resultar oxidada de forma excesiva por el uso del ozono (Rice *et al.*, 1982), al oxidar compuestos orgánicos, particularmente aquellos con anillos fenólicos o enlaces insaturados en su estructura (Razumovski y Zaikov, 1984). Puede cambiar el color superficial de melocotones, zanahorias (Liew y Prange 1994) y brócoli (Zhuang *et al.*, 1996). Estos autores demostraron que el ozono disminuye el contenido en ácido ascórbico en brócoli. Sin embargo, existen pocas informaciones científicas de su aplicación en productos procesados en fresco salvo las que reportados por Kim *et al.* (1999a, 1999b), García *et al.* (2001) y Beltrán *et al.* (2003) en lechuga, patata y zanahoria pero ninguna en melón procesado en fresco.

Por ello, el objetivo del presente trabajo fue estudiar la influencia del O<sub>3</sub>, aplicado mediante lavados con agua ozonizada durante distintos tiempos, en la calidad sensorial y microbiológica, así como, en los parámetros físico-químicos de melón "Amarillo" procesado en fresco y conservado a 5°C en atmósfera modificada.

## 7.2. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 7.2.1. Material vegetal.

El material vegetal fueron melones Amarillo de la variedad "Solaris", cultivados en Albacete y recolectados en agosto. Los frutos se seleccionaron en función de su tamaño y coloración externa, descartándose aquellos que presentaban lesiones por golpes y/o rozaduras o alteraciones. De la selección se tomó al azar una muestra de 20 melones a los que se determinó el peso, los diámetros ecuatorial y polar y el color en la epidermis (Tabla 7.1).

**Tabla 7.1.** Caracterización (peso, calibres y color de epidermis) del melón Amarillo "Solaris".

Peso (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)	Color epidermis		
			L*	°H	Croma
1439 <sup>z</sup> ± 16,3	12,3 ± 0,1	16,4 ± 0,2	80,5 ± 0,3	94,3 ± 0,9	58,6 ± 1,4

<sup>z</sup>Media (n = 20) ± error estándar.

### 7.2.2. Preparación de la muestra.

El procesado en secciones trapezoidales se efectuó como se ha descrito en el Capítulo 1 (Sección 1.2.2). Las dimensiones de las secciones trapezoidales fueron (media  $\pm$  error estándar),  $4,9 \pm 0,1 \times 2,2 \pm 0,1 \times 2,5 \pm 0,1$  cm.

Todo este procesado se dividió en lotes según el tratamiento a recibir. A un recipiente de plástico de 200 L se vertieron 40 L de agua potable a  $10^{\circ}\text{C}$  y  $\text{pH} = 7$ , se cerró y se ozonizó durante 15 min hasta conseguir 6,8 ppm (MOCA, Ozone). Una vez el agua estuvo ozonizada, se procedió a sumergir uno de los lotes de melón (5 Kg de procesado) en una bolsa tipo malla para facilitar el contacto entre el melón y el agua.

Transcurrido 1 min se extraía la bolsa colocándose el melón en bandejas de plástico con papel de filtro para absorber el exceso de agua. Posteriormente, unos 300g de este melón procesado y lavado, según las condiciones de tratamiento, se envasó en cestas de PP de 0,75 L, se termosellaron con PPO de 35  $\mu\text{m}$  de espesor (Danisco Flexible, Tipo 260, Bristol, Reino Unido) con tratamiento antivaho. Se selecciono este plástico para evitar la acumulación de  $\text{CO}_2$  y poder estudiar la efectividad de los baños con  $\text{O}_3$ . Se dispusieron 5 repeticiones por tratamiento. Tras el envasado, las muestras se trasladaron a una cámara a  $5^{\circ}\text{C}$ .

Efectuado el primer tratamiento, se descartó el agua utilizada y se procedió de la misma forma, volviendo a llenar el tanque y ozonizando durante 15 min hasta conseguir la concentración deseada. Se introdujo el segundo lote lavándolo durante 3 min. Posteriormente, se depositó en una bandeja de plástico con papel de filtro, se envasó y trasladó a la cámara frigorífica. De la misma forma, se preparó el tratamiento ozonizado de 5 min y los testigos (sin aplicar  $\text{O}_3$  al tanque).

Las concentración elegida de  $\text{O}_3$  en agua fue de 6,5 ppm, valor medio entre los 10 y los 3,7 ppm de los utilizados por distintos autores expuestos en la Introducción de este Capítulo.

Los tiempos de aplicación ensayados son los típicos encontrados en la Bibliografía, evitando el riesgo de oxidar compuestos de constitución del propio melón. El generador industrial de ozono utilizado fue AMBICON (Ambiente Biológico y Control, Murcia, España) con una producción de  $2 \text{ g } \text{O}_3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Todas las muestras se almacenaron durante 10 días a  $5^{\circ}\text{C}$  y 95% HR. Se realizaron tres tomas de muestras, al inicio del experimento y los días 5 y 10.

### 7.2.3. Determinaciones.

Para evaluar la eficacia de los tratamientos de lavado, así como el tiempo de conservación se realizaron las siguientes determinaciones, detalladas todas en ellas en el apartado de Materiales y Métodos (Sección 2).

Diariamente se determinó la tasa respiratoria del melón procesado (200 g) colocado en frascos de vidrio de 0,75 L a 5°C, durante 10 días, por el sistema estático. Además, se determinaron por CG las concentraciones de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en el interior de las tarrinas.

En cada salida se realizó un:

- Evaluación sensorial y firmeza
- Color
- Análisis microbiológico

En el zumo obtenido a partir del melón procesado, además, se evaluaron:

- Color
- SST y azúcares
- PH, AT y ácidos orgánicos.

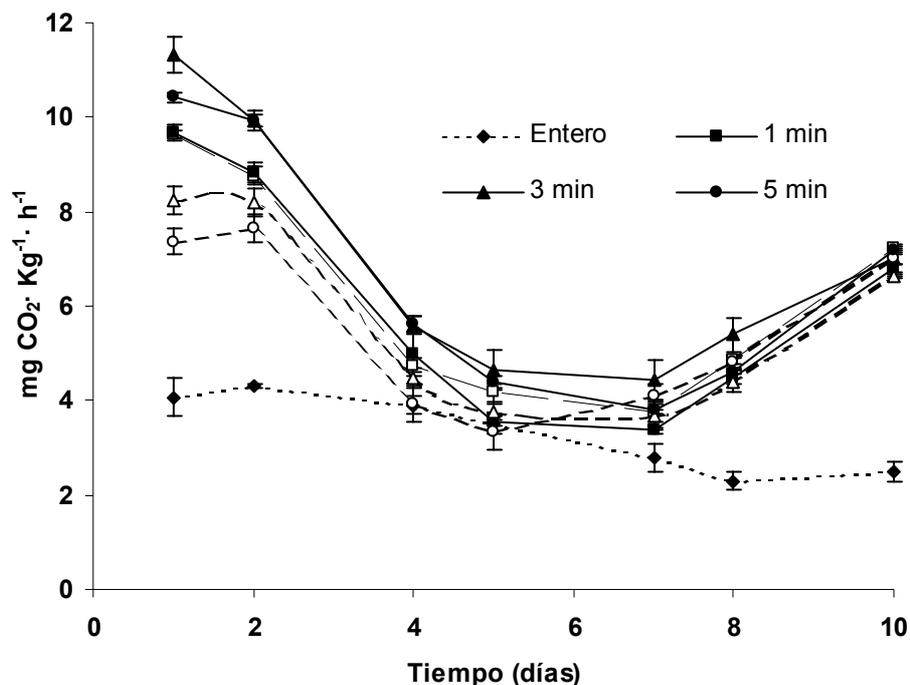
En todas las determinaciones se evaluaron 5 repeticiones por tratamiento salvo para la firmeza y color en pulpa donde la media está compuesta por 30 valores, es decir, se evaluaron 6 piezas de cada réplica.

Dado que el objetivo de este ensayo fue estudiar la eficacia del baño ozonizado frente al testigo, así como el efecto del tiempo de conservación a 5°C, se optó por realizar un ANDEVA bifactorial (tiempo de conservación x tipo de lavado). Cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos se utilizó la prueba LSD.

## 7.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 7.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno.

En todos los tratamientos de melón procesado se observó un aumento instantáneo de CO<sub>2</sub> provocado por el habitual estrés del corte durante el procesado. Este aumento de CO<sub>2</sub> se prolongó hasta el día 4 (Figura 1). Durante este periodo, el procesado lavado con agua ozonizada durante 3 y 5 min mostró una mayor emisión de CO<sub>2</sub> (10,4-11,3 mg CO<sub>2</sub> ·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) que el lavado sólo con agua (8,2-7,3 mg CO<sub>2</sub> ·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>). Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los lavados de 1 min con o sin O<sub>3</sub>. A partir del día 4, no se apreciaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos de lavado y tampoco en la duración de los mismos.

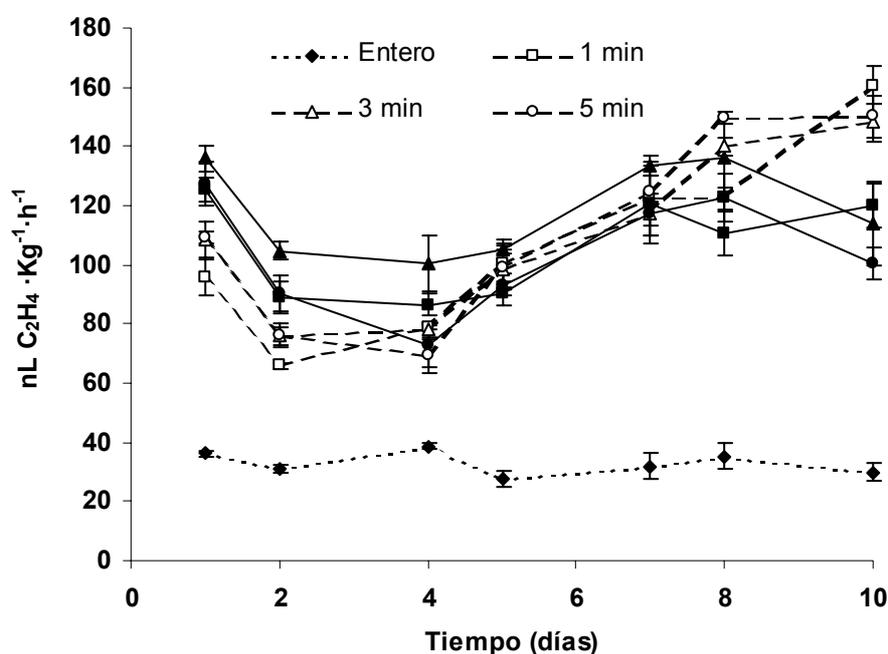


**Figura 7.1.** Tasa respiratoria de melón Amarillo lavado en agua con o sin ozono durante 1, 3 ó 5 min y conservado durante 10 días a 5°C. Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar. Líneas continuas y marcador sólido: Melón procesado en fresco lavado con agua ozonizada. Líneas discontinuas y marcador transparente: Melón procesado en fresco lavado con agua sin ozonar. Línea punteada: Melón entero sin tratamientos de lavado.

El comportamiento del  $C_2H_4$  fue similar al de la tasa respiratoria, con un aumento inmediato durante los dos primeros días. De nuevo, durante este corto periodo de tiempo, se observó una ligera mayor emisión de  $C_2H_4$  en los tratamientos lavados con agua ozonizada ( $127-147 \text{ nL } C_2H_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) frente a los testigo ( $95-108 \text{ nL } C_2H_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) (Figura 7.2). A partir del cuarto día, todos los tratamientos aumentaron de forma progresiva la síntesis de  $C_2H_4$  y, curiosamente, a partir del octavo día, el procesado lavado en agua sin ozonizar aumentó la emisión de  $C_2H_4$  superando a los tratamientos ozonizados. El  $O_3$  redujo el crecimiento fúngico, en 1,5 unidades log frente al testigo (Tabla 7.10), y por tanto, se redujo la emisión de  $C_2H_4$ , que suele observarse entre el sexto (Luna-Guzmán y Barret, 2000), séptimo (Bai *et al.*, 2001), octavo (Madrid y Cantwell, 1993) ó noveno día (Capítulo 3, Sección 3.1.) en melón procesado y conservado a 5°C.

Según los resultados expuestos, probablemente tiempos “prolongados” en contacto con agua ozonizada a concentraciones de 6,5 ppm provocan un ligero estrés inicial que se traduce en un ligero aumento en la emisión de  $CO_2$  y  $C_2H_4$  pero contribuyen a reducir la emisión de  $C_2H_4$  durante los últimos días de conservación por controlar el crecimiento fúngico. Beltrán *et al.* (2003) sometieron bastones de patata y rodajas de zanahoria a un tratamiento con agua

ozonizada (3,7 ppm) durante 7,5 ó 15 min y las almacenaron durante 7 días a 8°C. Coincidiendo con nuestros resultados, estos tratamientos, y en particular el aplicado durante 7,5 min ( $18 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) incrementaron ligeramente la tasa respiratoria de la zanahoria procesada durante los dos primeros días (estrés del corte) frente al testigo ( $13 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ), sin diferencias en los últimos días de conservación. En cambio, en los bastones de patata no hubo diferencias significativas entre testigo y el lavado con ozono durante 7,5 min ( $14 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Sin embargo, en este producto, la prolongada ozonización (15 min) proporcionó una menor y más estable tasa respiratoria ( $10\text{-}12 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) en particular en los últimos días de conservación.



**Figura 7.2.** Emisión de  $\text{C}_2\text{H}_4$  de melón Amarillo lavado en agua con o sin ozono durante 1, 3 o 5 min y conservado durante 10 días a 5°C. Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar. Líneas discontinuas y marcador transparente: Melón procesado en fresco lavado con agua sin ozonar. Líneas continuas y marcador sólido: Melón procesado en fresco lavado con agua ozonizada. Línea punteada: Melón entero sin tratamientos de lavado.

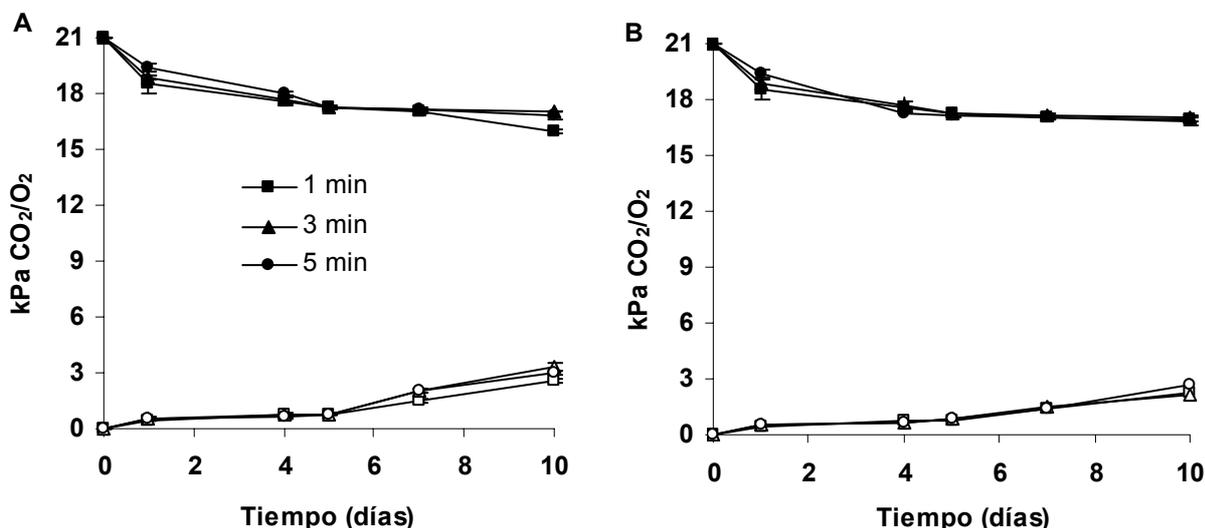
Así mismo, Liew y Prange (1994) tras inocular distintos patógenos fúngicos en zanahoria y exponerlas a ozono gaseoso 8 horas al día durante 28 días a 2, 8 y 16°C observaron que la tasa respiratoria aumentó ligeramente con los tratamientos ozonizados. Según estos autores, este ligero incremento reflejó un metabolismo anormal o daño causado por el ozono en zanahoria que causaron unas depresiones de color blanco en la superficie de la zanahoria que se intensificaron cuando aumentó la concentración de  $\text{O}_3$ . En este trabajo, no se detectaron daños en el melón procesado. La tasa respiratoria y emisión de  $\text{C}_2\text{H}_4$  en melocotones “O’Henry” no fue afectada

por el gas ozono (0,3 ppm v/v durante 4 semanas a 5°C y 90% HR). En ninguno de los productos ensayados detectaron daños fitotóxicos (Palou *et al.*, 2002). A pesar de que en este estudio el ozono utilizado es únicamente a través del baño, se observó que los tratamientos ozonizados no incrementaron la emisión de etileno en los últimos días de conservación permitiendo extender la vida útil, como encontró Beuchat (1999) en manzanas, uvas, naranjas, peras, zarzamoras y fresas al reducir la población microbiana, oxidar el  $C_2H_4$  y, por tanto, retardar la madurez. De los resultados expuestos, se deduce que el comportamiento metabólico de un producto frente al ozono depende del producto estudiado, de la concentración de  $O_3$  utilizada y de la forma en la que se suministra (lavado o tratamiento gaseoso).

Como era de esperar, la tasa respiratoria y emisión de  $C_2H_4$  del melón entero fue inferior a la del producto procesado. La emisión de  $C_2H_4$  ( $40 \text{ nL } C_2H_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) fue mayor que la hallada en el Capítulo 1 ( $0,2 \text{ nL } C_2H_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) para este mismo tipo varietal y variedad. Posiblemente, la diferencia se deba a los distintos sistemas de determinación de tasa de etileno.

### 7.3.2. Composición gaseosa de las tarrinas.

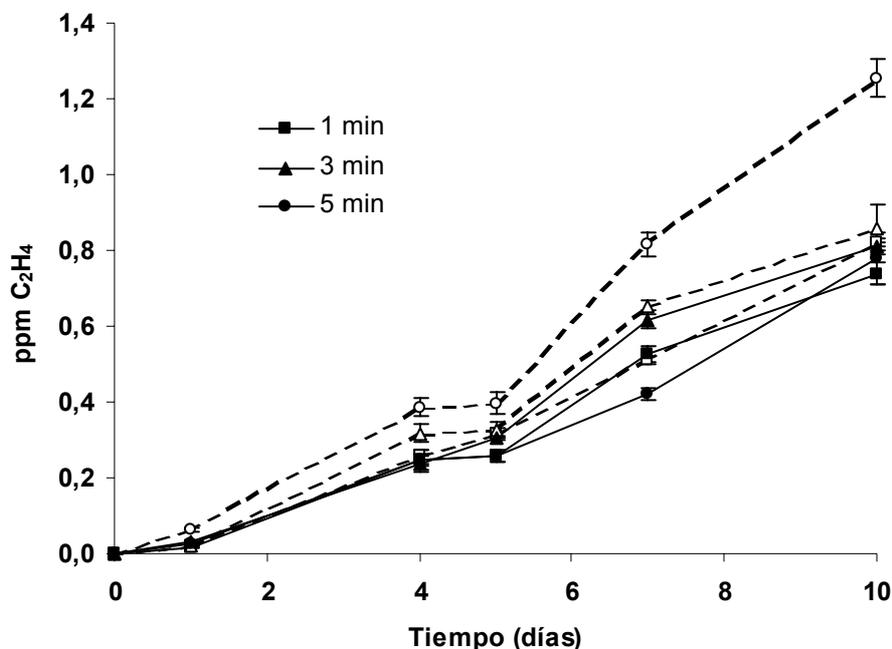
El plástico microperforado evitó la reducción en la concentración de  $O_2$  así como la acumulación de  $CO_2$ , como deseábamos. Debido a la similitud en las tasas respiratorias por ambos tratamientos de lavado, las concentraciones gaseosas fueron similares (Figura 7.3), sobre 17 kPa  $O_2$  y 3 kPa  $CO_2$ .



**Figura 7.3.** Evolución gaseosa de melón Amarillo procesado en fresco, lavado en agua con o sin ozono durante 1, 3 ó 5 min y conservado en atmósfera modificada durante 10 días a 5°C. Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar. **A:** lavado con agua sin ozonizar. **B:** lavado con agua ozonizada.

Marcador sólido: kPa  $O_2$ , marcador transparente: kPa  $CO_2$ .

Sin embargo, al final de la conservación, la concentración de  $C_2H_4$  alcanzada en el interior de los envases fue ligeramente mayor en testigo que en los tratamientos lavados con agua ozonizada (Figura 7.4), probablemente debido a la contaminación fúngica de los últimos días que provocó una síntesis extra de  $C_2H_4$ , como se ha comentado en el apartado 7.3.1.



**Figura 7.4.** Concentración de  $C_2H_4$  de melón Amarillo procesado en fresco, lavado en agua con o sin ozono durante 1, 3 ó 5 min y conservado en atmósfera modificada durante 10 días a 5°C. Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar. Líneas discontinuas y marcador transparente: Lavado con agua sin ozonar. Líneas continuas y marcador sólido: Lavado con agua ozonizada.

### 7.3.3. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos.

#### 7.3.3.1. Evaluación sensorial y firmeza.

Sólo el tiempo de conservación influyó de forma significativa en todos los parámetros sensoriales (Tabla 7.2). La apariencia y aroma disminuyeron con respecto los valores iniciales pero se mantuvieron desde el quinto día hasta final de la conservación (Tabla 7.3).

En el sabor y la calidad global influyó el tipo de lavado, así como la interacción tiempo x tipo de lavado. (Tabla 7.4). Éstos se mantuvieron hasta el día 5 sin diferencias significativas pero en el día 10 cayeron en los lavados con agua sin ozonizar por debajo del límite de comercialización (Tablas 7.2 y 7.4).

**Tabla 7.2.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos de lavado en los parámetros sensoriales de melón Amarillo procesado en fresco durante 10 días a 5°C.

<b>Tiempo de conservación</b>	<b>Lavado</b>	<b>Apariencia (1 – 9)</b>	<b>Sabor (1 – 9)</b>	<b>Aroma (1 – 9)</b>	<b>Textura (1 – 9)</b>	<b>CG (1 – 9)</b>
<b>Inicial</b>		7,7 <sup>z</sup>	7,0	6,5	7,8	7,3
<b>5 días</b>	<b>Agua 1'</b>	6,5	6,5	6,3	6,5	6,8
	<b>Agua 3'</b>	6,8	7,0	6,0	6,8	7,0
	<b>Agua 5'</b>	6,0	6,5	6,5	6,8	7,0
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	6,3	7,0	6,0	6,8	7,2
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	6,0	6,5	6,0	6,8	7,0
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	6,8	7,0	6,5	6,5	7,0
<b>10 días</b>	<b>Agua 1'</b>	6,0	3,7	5,7	6,0	4,7
	<b>Agua 3'</b>	6,0	3,7	5,7	6,0	4,7
	<b>Agua 5'</b>	6,0	3,7	5,3	6,0	4,7
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	6,0	5,3	6,0	6,0	6,0
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	6,0	5,3	6,0	6,0	6,0
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	6,0	5,3	6,0	6,0	6,0
<b>Tiempo conservación</b>		(0,5) <sup>a</sup>	(0,5) <sup>c</sup>	(0,5) <sup>c</sup>	(0,7) <sup>c</sup>	(0,2) <sup>c</sup>
<b>Lavado</b>		NS	(0,7) <sup>c</sup>	NS	NS	(0,3) <sup>c</sup>
<b>Tiempo x lavado</b>		NS	(1,1) <sup>b</sup>	NS	NS	(0,5) <sup>c</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. CG: calidad global.

**Tabla 7.3.** Separación de medias en la apariencia, aroma, textura y firmeza de melón Amarillo procesado en fresco durante 10 días a 5°C cuando el factor tiempo fue significativo.

	<b>Apariencia (1 – 9)</b>	<b>Aroma (1 – 9)</b>	<b>Textura (1 – 9)</b>	<b>Firmeza (N)</b>
<b>Inicial</b>	7,7 <sup>z</sup> a	6,5 a	7,8 a	11,9 a
<b>5 días</b>	6,4 b	6,2 ab	6,7 b	7,6 b
<b>10 días</b>	6,0 b	5,8 b	6 b	6,2 b

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tablas 7.2, 7.5 y 7.7) por la prueba de LSD. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente.

No hubo diferencias significativas entre los tiempos de lavado en los lavados con o sin agua ozonizada. Los lavados con agua ozonizada redujeron el crecimiento fúngico (Tabla 7.10) y, posterior sabor a “moho” permitiendo conseguir un adecuado sabor y calidad sensorial y una vida útil de 10 días.

**Tabla 7.4.** Interacción (tiempo conservación x lavado) en el sabor, calidad global y L\* de melón Amarillo procesado en fresco tras 10 días a 5°C.

<b>Sabor (1 – 9)</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>5d</b>	<b>10 d</b>
<b>Agua 1'</b>	7,0 <sup>z</sup> Aa	6,5 Aa	3,7 Bb
<b>Agua 3'</b>	7,0 Aa	7,0 Aa	3,7 Bb
<b>Agua 5'</b>	7,0 Aa	6,5 Aa	3,7 Bb
<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	7,0 Aa	7,0 Aa	5,3 Ba
<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	7,0 Aa	6,5 Aa	5,3 Ba
<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	7,0 Aa	7,0 Aa	5,3 Ba
<b>Calidad global (1 – 9)</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>5d</b>	<b>10d</b>
<b>Agua 1'</b>	7,3 Aa	6,8 Aa	4,7 Bb
<b>Agua 3'</b>	7,3 Aa	7,0 Aa	4,7 Bb
<b>Agua 5'</b>	7,3 Aa	7,0 Aa	4,7 Bb
<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	7,3 Aa	7,2 Aa	6,0 Ba
<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	7,3 Aa	7,0 Aa	6,0 Ba
<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	7,3 Aa	7,0 Aa	6,0 Ba
<b>L* pulpa</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>5d</b>	<b>10d</b>
<b>Agua 1'</b>	76,4 Aa	72,8 Ba	62,2 Cc
<b>Agua 3'</b>	76,4 Aa	73,2 Aa	62,1Bc
<b>Agua 5'</b>	76,4 Aa	71,9 Ba	61,2 Cc
<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	76,4 Aa	74,1 Aa	72,2 Ba
<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	76,4 Aa	74,5 Aa	67,8 Bb
<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	76,4 Aa	72,6 Ba	68,7 Bab

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 7.2 y 7.5) por la prueba de LSD.

Morell *et al.* (1993) en champiñón y Beltrán *et al.* (2003) en bastones de patata y rodajas de zanahoria lograron mejorar la calidad sensorial con agua ozonizada. También, García *et al.* (2001) quienes inocularon 7 unidades log en lechuga procesada con una mezcla de microflora natural obtuvieron una mejor calidad sensorial con la combinaciones de tratamiento clorados (100, 150 ó 200 ppm) y ozono (2,5, 5 ó 7,5 ppm) prolongando la vida comercial a 23 días frente a los 18 con agua ozonizada y los 16 del tratamiento con cloro, todos ellos conservados a 10°C. Tiene un efecto negativo en la calidad sensorial de cereales debido a la oxidación lipídica. Por lo tanto, las alteraciones en los atributos sensoriales dependen de la composición química del alimento, dosis de ozono y condiciones del tratamiento (Kim *et al.*, 1999a).

La textura determinada de forma subjetiva por el panel sensorial respondió de la misma forma que la firmeza obtenida con la prensa. La textura y firmeza sólo dependieron del tiempo de conservación (Tablas 7.2 y 7.5). Escriche *et al.* (2001) observaron que el efecto del ozono (100 mg·h<sup>-1</sup> durante 15 ó 30 min antes del envasado) en champiñón no resultó significativo respecto a las características texturales.

No obstante, Morell *et al.* (1993) tras la inmersión de champiñones en agua ozonizada (no especifica la dosis) a 4°C durante 48 h incrementó la textura frente al testigo. No hubo diferencias significativas entre las salidas 5 y 10 (Tabla 7.3), lo cual corrobora que la pérdida de firmeza es un proceso que se produce de forma rápida durante los primeros 5 días. El ablandamiento encontrado fue de un 36% en el día 5 y de un 47% durante el día 10.

### 7.3.3.2. Color.

Los cambios en los parámetros °H medido en pulpa y zumo e IB en zumo no fueron significativos para ninguno de los factores estudiados, ni para la interacción de los mismos. El valor medio para el °H en pulpa fue de 110, en zumo de 126, 3 y el IB en zumo de 32,9.

Sin embargo, tanto el tiempo de conservación, como los lavados como la interacción de ambos factores influyeron en L\* e IB en pulpa. Croma en zumo y pulpa solo dependieron del tiempo de conservación (Tabla 7.5). Todos ellos mermaron con la conservación. Croma en pulpa y en zumo disminuyó en el día 5 y se mantuvo sin diferencias durante los 5 restantes días. Esto indica que la reducción en la saturación del color ocurrió de forma rápida durante los primeros días. Liew y Prange (1994) utilizando 28 ppm de O<sub>3</sub> en aire aumentó la L\* y disminuyó el croma en la superficie de las zanahorias tratadas.

Tras la conservación, el procesado lavado con agua ozonizada obtuvo un mayor L\* e IB que los lavados con agua sola. Las diferencias en L\* e IB entre los tratamientos indicaron una translucencia moderada en los lavados con agua sola y no en los lavados con O<sub>3</sub>. Morell *et al.*

(1993) y Beltrán *et al.* (2003) retardaron el pardeamiento en champiñones y bastones respectivamente, con el agua ozonizada. El tratamiento con ozono ( $100 \text{ mg}\cdot\text{h}^{-1}$ ) de champiñón durante 15 ó 30 min antes del envasado produjo durante el almacenamiento un incremento en el pardeamiento externo pero una disminución en el interno (Escriche *et al.*, 2001).

El ozono puede cambiar el color superficial de melocotones, zanahorias (Liew y Prange 1994) y brócoli (Zhuang *et al.*, 1996). En este trabajo, no hubo diferencias entre los tiempos de lavado en los tratamientos con agua sola, sin embargo, en los lavados con ozono de 1 min resultaron en un mayor  $L^*$  e IB que con 3 min, probablemente debido a una ligera mayor tasa respiratoria en este tratamiento (Figura 7.1).

**Tabla 7.5.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos de lavado en la firmeza y color de melón Amarillo procesado en fresco durante 10 días a  $5^\circ\text{C}$ .

Tiempo de conservación	Lavado	Firmeza (N)	$L^*$ pulpa	IB pulpa	Croma pulpa	Croma zumo
Inicial		11,9 <sup>z</sup>	76,4	70,4	17,8	4,1
5 días	Agua 1'	7,4	72,8	67,3	17,9	3,9
	Agua 3'	7,3	73,2	67,9	17,6	5,1
	Agua 5'	7,5	71,9	67,8	15,8	4,2
	Agua + O <sub>3</sub> 1'	7,2	74,1	69,3	16,3	3,5
	Agua + O <sub>3</sub> 3'	8,3	74,5	69,5	16,6	3,5
	Agua + O <sub>3</sub> 5'	7,4	75,6	67,9	16,7	3,8
10 días	Agua 1'	6,3	62,2	58,9	18,3	3,3
	Agua 3'	6,0	62,1	58,6	16,1	3,6
	Agua 5'	6,1	61,2	58,2	14,8	3,5
	Agua + O <sub>3</sub> 1'	6,1	72,2	67,8	16,0	3,4
	Agua + O <sub>3</sub> 3'	6,3	67,8	64,0	15,4	3,4
	Agua + O <sub>3</sub> 5'	6,2	68,7	64,8	15,8	3,3
<b>Tiempo conservación</b>		(1,4) <sup>c</sup>	(2,0) <sup>c</sup>	(1,3) <sup>c</sup>	(0,9) <sup>c</sup>	(0,5) <sup>a</sup>
<b>Lavado</b>		NS	(1,9) <sup>c</sup>	(1,9) <sup>c</sup>	NS	NS
<b>Tiempo x lavado</b>		NS	(3,5) <sup>c</sup>	(3,3) <sup>c</sup>	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5, excepto para el color pulpa y firmeza n = 30); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis.

<sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001.

**Tabla 7.6.** Separación de medias en el croma de pulpa y zumo, fructosa, sacarosa, pH y AT de melón procesado en fresco durante 10 días a 5°C cuando el factor tiempo fue significativo.

	<b>Croma pulpa</b>	<b>Croma zumo</b>	<b>Fructosa</b>	<b>Sacarosa</b>	<b>pH</b>	<b>AT</b>
<b>Inicial</b>	17,8 <sup>z</sup> a	4,1 a	23,64 b	42,00 a	5,61 a	0,12 b
<b>5 días</b>	16,8 b	4,0 b	24,96 ab	40,04 b	5,54 a	0,11 b
<b>10 días</b>	16,1 b	3,4 b	25,42 a	39,85 b	5,26 b	0,15 a

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tablas 7.5 y 7.7) por la prueba de LSD. Fructosa, sacarosa (gL<sup>-1</sup>). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

### 7.3.3.3. Azúcares.

La fructosa y sacarosa dependieron del tiempo y tipo de lavado mientras que la glucosa y los SST estuvieron también influenciados por la interacción de ambos factores (Tabla 7.7).

**Tabla 7.7.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos de lavado en los SST y azúcares de melón Amarillo procesado en fresco durante 10 días a 5°C.

<b>Tiempo de conservación</b>	<b>Lavado</b>	<b>SST</b>	<b>Fructosa</b>	<b>Glucosa</b>	<b>Sacarosa</b>
<b>Inicial</b>		9,6 <sup>z</sup>	23,64	22,74	42,00
<b>5 días</b>	<b>Agua 1'</b>	9,0	22,86	20,42	39,65
	<b>Agua 3'</b>	9,3	24,64	23,60	39,59
	<b>Agua 5'</b>	9,1	24,85	23,41	37,59
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	9,8	25,40	24,49	42,57
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	9,7	25,29	23,86	42,91
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	9,7	26,70	23,56	41,34
<b>10 días</b>	<b>Agua 1'</b>	8,7	24,87	19,51	37,58
	<b>Agua 3'</b>	8,6	24,70	18,67	37,91
	<b>Agua 5'</b>	8,1	22,93	16,89	36,80
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	9,4	25,9	20,96	41,80
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	9,6	27,21	22,83	41,26
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	9,4	26,92	22,47	40,39
<b>Tiempo conservación</b>		NS	(1,36) <sup>b</sup>	(1,34) <sup>b</sup>	(1,83) <sup>b</sup>
<b>Lavado</b>		(0,5) <sup>b</sup>	(1,44) <sup>a</sup>	(1,90) <sup>b</sup>	(2,10) <sup>b</sup>
<b>Tiempo x lavado</b>		(0,6) <sup>b</sup>	NS	(4,33) <sup>c</sup>	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: contenido en sólidos solubles (°Brix). Fructosa, glucosa, sacarosa (gL<sup>-1</sup>).

La concentración de fructosa aumentó con el tiempo de conservación mientras que la sacarosa disminuía de forma significativa en el día 5, manteniéndose hasta el final de la conservación (Tabla 7.6).

Los tratamientos de melón en agua ozonizada mostraron un mayor aumento o una disminución del consumo de fructosa y una menor reducción en sacarosa, sin diferencias entre la duración del lavado, respecto a los de agua sin ozonizar (Tabla 7.8).

**Tabla 7.8.** Separación de medias en el Croma de pulpa y zumo, SST y contenido de fructosa y sacarosa de melón Amarillo procesado en fresco tras 10 días a 5°C cuando el lavado fue significativo.

	<b>Fructosa</b>	<b>Sacarosa</b>
<b>Agua 1'</b>	23,87 <sup>z</sup> c	38,62 b
<b>Agua 3'</b>	24,67 bc	38,75 b
<b>Agua 5'</b>	23,89 c	37,20 b
<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	25,65 ab	42,19 a
<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	26,25 a	42,09 a
<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	26,81 a	40,87 a

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tablas 7.5 y 7.7) por la prueba de LSD. Fructosa, glucosa, sacarosa (gL<sup>-1</sup>).

En general, la concentración de glucosa aumentó en el día 5, para disminuir tras la conservación (Tabla 7.9), en especial durante los últimos días y en el testigo. La relación glucosa/fructosa pasó de 0,96 en el inicio a 0,93 en el día 5 para ambos tipos de lavado; tras la conservación esta relación fue de 0,76 en el testigo y de 0,83 en los lavados con agua ozonizada. El cociente para un melón recién cortado tras 10 días en aire fue similar (0,85) al encontrado en los tratamientos ozonados.

De acuerdo con los resultados comentados, de nuevo, como se observó en la Sección 1.3.3.6. de del Capítulo 1 y en el 2.3.2.5. del Capítulo 2, se detectó un aumento de los monosacáridos conforme avanza la conservación acompañado de una disminución en la sacarosa. La invertasa hidrolizaría la sacarosa en glucosa y fructosa incrementando o manteniendo, en ocasiones, los niveles de glucosa y fructosa durante la conservación. Posiblemente, la presencia de fosfoglucosa isomerasa isomezaría la glucosa a fructosa, lo que explica porqué la disminución de la glucosa es más notable e incluso va acompañada de un aumento de fructosa.

**Tabla 7.9.** Interacción (tiempo conservación x lavado) en el IB en pulpa, SST y glucosa de melón Amarillo procesado en fresco durante 10 días a 5°C.

<b>IB pulpa</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>5d</b>	<b>10 d</b>
<b>Agua 1'</b>	70,4 <sup>z</sup> Aa	67,3 Aba	58,9 Bc
<b>Agua 3'</b>	70,4 Aa	67,9 Aa	58,6 Bc
<b>Agua 5'</b>	70,4 Aa	67,8 Aa	58,2 Bc
<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	70,4 Aa	69,3 Aa	67,8 Aa
<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	70,4 Aa	69,5 Aa	64,0 Bb
<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	70,4 Aa	67,9 ABa	64,8 Bab
<b>SST</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>5d</b>	<b>10d</b>
<b>Agua 1'</b>	9,6 Aa	9,0 Abc	8,7 Bb
<b>Agua 3'</b>	9,6 Aa	9,3 ABbc	8,6 Bb
<b>Agua 5'</b>	9,6 Aa	9,1 Abc	8,1 Bb
<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	9,6 Aa	9,8 Aa	9,4 Aa
<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	9,6 Aa	9,7 Aab	9,6 Aa
<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	9,6 Aa	9,7 Aab	9,4 Aa
<b>Glucosa</b>			
	<b>Inicial</b>	<b>5d</b>	<b>10d</b>
<b>Agua 1'</b>	22,74 Aa	20,42 Aa	19,51Aab
<b>Agua 3'</b>	22,74 ABa	23,60 Aa	18,67 Bab
<b>Agua 5'</b>	22,74 Aa	23,41 Aa	16,89 Bb
<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	22,74 Aa	24,49 Aa	20,96 Aab
<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	22,74 Aa	23,86 Aa	22,83 Aab
<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	22,74 Aa	23,56 Aa	22,47 Aa

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tablas 7.5 y 7.7) por la prueba de LSD. Glucosa (gL<sup>-1</sup>).

El O<sub>3</sub> promovió un aumento en la fructosa y una menor reducción en la concentración de glucosa, sacarosa y SST, es decir, un menor consumo de azúcares acompañado de una menor actividad de la enzima invertasa e isomerasa. Este fenómeno podría justificarse por el efecto del O<sub>3</sub> en reducir el metabolismo (Barth *et al.*, 1995; Dickson *et al.*, 1992; Ewell, 1940; García *et al.*, 2001; Heagle, 1973; Jin *et al.*, 1989; Kuprianoff, 1953; Rice *et al.*, 1982) y, por tanto, el

consumo de azúcares y la hidrólisis de sacarosa aunque, según la emisión de CO<sub>2</sub> fue similar en todos los tratamientos.

#### 7.3.3.4. pH, AT y ácidos orgánicos.

El tiempo de conservación influyó en la AT y el pH, de tal forma, que tras la conservación, la AT aumentó acompañada de un descenso en el pH (Tabla 7.10). Probablemente, este incremento fue consecuencia de la contaminación por bacterias acidolácticas (Lamikanra *et al.*, 2000) dado que el incremento en ácido cítrico no fue significativo (Tabla 7.10).

El contenido en cítrico de un melón conservado durante 10 días a 5°C fue de 0,14 g · 100 mL<sup>-1</sup>, cantidad ligeramente superior, a la encontrada en el procesado debido al consumo de éste al tener un metabolismo más activo.

**Tabla 7.10.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos de lavado en el pH, AT y contenido en ácido cítrico de melón Amarillo procesado en fresco durante 10 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Lavado	pH	AT	Cítrico
<b>Inicial</b>		5,61	0,12	0,12
<b>5 días</b>	<b>Agua 1'</b>	5,59	0,11	0,12
	<b>Agua 3'</b>	5,56	0,10	0,12
	<b>Agua 5'</b>	5,54	0,10	0,12
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	5,58	0,11	0,12
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	5,42	0,12	0,12
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	5,57	0,10	0,12
<b>10 días</b>	<b>Agua 1'</b>	5,23	0,15	0,13
	<b>Agua 3'</b>	5,24	0,15	0,13
	<b>Agua 5'</b>	5,23	0,14	0,13
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	5,38	0,15	0,13
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	5,20	0,16	0,12
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	5,25	0,16	0,12
<b>Tiempo conservación</b>		(0,07) <sup>a</sup>	(0,01) <sup>c</sup>	NS
<b>Lavado</b>		NS	NS	NS
<b>Tiempo x lavado</b>		NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>). Cítrico (g · 100 mL<sup>-1</sup>).

Como sucedió en el Capítulo 5 y 6 (Secciones 3.3.5), el málico osciló entre 0,03 y 0,04 g·100 mL<sup>-1</sup> sin mostrar cambios significativos. El contenido en ácido ascórbico fue ligeramente inferior (3,70 y 2,21 mg ·100 mL<sup>-1</sup>), pero la técnica utilizada para determinar este ácido tan lábil no es la adecuada, aunque suficiente para obtener valores aproximados.

#### 7.3.4. Análisis microbiológico.

El O<sub>3</sub> posee un efecto bactericida al reducir en 1,1 unidades el crecimiento bacteriano del melón procesado con un baño de 3 min aunque cuando la duración de éste se prolongó a 5 min su efecto se limitó a reducir sólo 0,2 unidades (Tabla 7.10).

Así mismo, Kim *et al.* (1999b) redujeron entre 1,5 a 5 unidades log de *Escherichia coli* O157:H7, *Pseudomonas fluorescens*, *Leuconostoc mesenteroides* y *Listeria monocytogenes* con 1,5 ppm de ozono (pH = 6 y 25°C) durante 15 s. Rego *et al.* (2002) inocularon diferentes microorganismos obteniendo suspensiones de 5 unidades log. Tras la exposición a estas suspensiones en agua ozonizada (no se especifica la dosis), la cepa *Xanthomonas campestris* CECT97 se eliminó totalmente a los 2 min y medio. En, *Pseudomonas marginalis* CECT229, *Pseudomonas cichorii* CECT4471 y *Erwinia carotovora* CECT314 se obtuvo una disminución de una unidad decimal al medio minuto, tercer o tercer minuto y medio, respectivamente. Ninguna de estas cepas fue completamente eliminada a los 5 min. Según estos autores, en muchos casos el O<sub>3</sub> no elimina completamente un hongo o bacteria pero causa un descenso en sus niveles. Broadwater *et al.* (1973) publicó que el umbral letal para *Bacillus cereus* era de 0,12 ppm mientras que para *E. coli* y *B. megaterium* fue de 0,19 ppm. El umbral de concentración letal para esporas de *B. cereus* y *B. megaterium* era de 2,3 ppm. Restaino *et al.* (1995) destruyeron instantáneamente más de 4,5 unidades log de *Candida albicans* y *Zygosaccharomyces bailii* con 5 min de exposición en agua ozonizada (0,19 ppm). Farooq y Akhlaque (1983) comprobaron que la población de *Candida parapsilosis* decrecía en 2 unidades log cuando las levaduras se exponían a 0,26 ppm de O<sub>3</sub> durante 1,7 min. De la misma forma, *C. tropicalis* disminuyó en 2 unidades log con 0,02 ppm O<sub>3</sub> durante 20 s ó 1 ppm durante 5 s (Kawamura *et al.*, 1986).

El O<sub>3</sub> es un potente agente antimicrobiano capaz de destruir bacterias, esporas, protozoos, levaduras y virus a relativamente bajas concentraciones y en un tiempo corto de exposición cuando se aplica a suspensiones celulares puras (Giese y Christensen, 1954; Kim *et al.*, 1999a; Scott y Leshner, 1963). Pero la presencia de materia orgánica, es decir, cuando se desea inactivar los microorganismos presentes en un alimento se requieren mayores dosis de O<sub>3</sub>

para eliminarlos, ya que los constituyentes orgánicos del alimento reaccionan fácilmente con el  $O_3$  reduciendo su capacidad desinfectante.

Cuando Kim *et al.* (1999b) lavaron lechuga cortada inyectando 1,3 mM (62,4 ppm) de  $O_3$  a 25°C y un flujo de  $0,5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  en una mezcla de agua en lechuga de (1:20 p/p) bajo elevada agitación durante 3 min, obtuvo una reducción de la flora natural de 1,2 log en los mesófilos y 1,8 log en psicrotrofos. La inactivación aumentó con el tiempo de exposición, tras 5 min las reducciones fueron de 3,9 y 4,6  $\text{ufc} \cdot \text{g}^{-1}$  para mesófilos y psicrotrofos respectivamente. Kondo *et al.* (1989) obtuvieron una reducción del 90% en el recuento total por este método en coles chinas.

Aún así, estos resultados son muy optimistas aunque la concentración de  $O_3$  es elevada. En este trabajo y tras 5 días de conservación, la reducción en los mesófilos, psicrotrofos y levaduras con respecto al testigo fue de 0,5, 0,4 y 0,2 unidades log cuando la ozonización duró 1 min. Si ésta se prolongaba a 3 min, las diferencias comparadas con su mismo testigo fueron de 0,2, 0,3 y 0,2 y si la duración del baño alcanzaba los 5 min la reducción era de 0,3, 0,2 y 0,7 unidades log para mesófilos, psicrotrofos y levaduras respectivamente. Estos valores son más cercanos a los encontrados por Singh *et al.* (2002b) en lechuga y zanahoria. Los tratamientos con agua ozonizada (5,2 ppm) no redujeron de forma significativa la población bacteriana inoculada de *E. coli* ( $8 \text{ log ufc} \cdot \text{g}^{-1}$ ) tras 1,5, 10 ó 15 min de lavado. Sin embargo, la disminución en zanahoria tras 10 ó 15 min de exposición fue de 0,43 unidades log. A elevadas concentraciones y prolongados tiempos de exposición (16,5 ppm durante 15 min) se obtuvo una reducción de 0,49 en lechuga y 0,57 en zanahorias frente al testigo. Según estos autores, la reducida eficacia del agua ozonizada en lechuga, probablemente se debió a la mayor demanda de  $O_3$  del material orgánico del medio, ya que según Restaino *et al.* (1995) el tipo de material orgánico presente durante la ozonización es más importante que la cantidad presente. Singh *et al.* (2002a) redujeron  $1,47 \pm 0,05$  unidades log de *E. coli* con el lavado de lechuga en agua ozonizada (10 ppm durante 5 min) una población inicial de  $7,82 \pm 0,08$  y en  $1,63 \pm 0,08$  unidades log cuando la población inicial era más baja  $3,71 \pm 0,05$  log.

Estos autores comprobaron que la efectividad de un determinado desinfectante ( $\text{ClO}_2$ ,  $O_3$  o aceite de timol) depende del método y tiempo de inoculación, tamaño de la población y números de lavados.

A estas observaciones y resultados debe añadirse que pocos investigadores estudian la reducción de la población microbiana tras un periodo de conservación, donde las diferencias con el testigo pueden ser todavía más estrechas. Así mismo, Beltrán *et al.* (2003) sometieron bastones de patata y rodajas de zanahoria a un tratamiento con agua ozonizada (3,7 ppm) durante

7,5 ó 15 min. Tras una semana de conservación a 8°C, el ozono (7,5 min) redujo los mesófilos aerobios totales en 0,61 unidades log en patata y 1 unidad log en zanahoria. Con 15 min de aplicación se logró una disminución de 0,47 y 0,3 unidades log en las bacterias acidolácticas de patata y zanahoria respectivamente.

Según los datos de este ensayo, el O<sub>3</sub> no permitió que el melón procesado en fresco alcanzara una vida útil de 10 días a 5°C, según la legislación española (RD 3484/2000, 2001), dado que en todos los tratamientos sobrepasaron los límites permitidos por la legislación. No obstante, a pesar del prolongado tiempo de conservación se observó un ligero efecto del O<sub>3</sub>.

**Tabla 7.10.** Recuentos microbiológicos (log ufc·g<sup>-1</sup>) de melón “Amarillo” procesado en fresco bañado en agua normal (testigo) u ozonizada (6,5 ppm) durante 1, 3 ó 5 min y conservado en atmósfera modificada durante 10 días a 5°C.

		Tratamiento	Mesófilos	Psicrotrofos	Levaduras	Mohos
INICIAL	Agua	Agua*	1,8 <sup>z</sup> ± 0,1	<1	<1,7	<1,7
		3'	2,1 ± 0,1	<1	<1,7	<1,7
		5'	1,9 ± 0,1	<1	<1,7	<1,7
	Agua + O <sub>3</sub>	1'	1,6 ± 0,2	<1	<1,7	<1,7
		3'	1,2 ± 0,3	<1	<1,7	<1,7
		5'	1,7 ± 0,2	<1	<1,7	<1,7
DÍA 5	Agua	1'	4,8 ± 0,2	4,7 ± 0,2	2,6 ± 0,2	<1,7
		3'	4,5 ± 0,3	4,7 ± 0,2	2,2 ± 0,3	<1,7
		5'	4,6 ± 0,3	4,7 ± 0,1	2,7 ± 0,4	<1,7
	Agua + O <sub>3</sub>	1'	4,3 ± 0,4	4,3 ± 0,4	2,4 ± 0,1	<1,7
		3'	4,3 ± 0,1	4,4 ± 0,2	2,4 ± 0,3	<1,7
		5'	4,3 ± 0,4	4,5 ± 0,4	2,0 ± 0,4	<1,7
DÍA 10	Agua	1'	8,1 ± 0,6	9,2 ± 0,2	4,9 ± 0,3	3,7 ± 0,1
		3'	8,0 ± 0,1	8,7 ± 0,4	5,1 ± 0,3	3,7 ± 0,3
		5'	6,8 ± 0,4	8,9 ± 0,1	4,9 ± 0,4	3,7 ± 0,1
	Agua + O <sub>3</sub>	1'	7,5 ± 0,4	9,1 ± 0,1	4,9 ± 0,2	2,3 ± 0,6
		3'	6,8 ± 0,4	8,5 ± 0,4	4,7 ± 0,3	2,2 ± 0,6
		5'	7,5 ± 0,4	8,1 ± 0,1	4,5 ± 0,5	2,2 ± 0,6

<sup>z</sup> Media (n = 5) ± desviación estándar. \* Análisis microbiológico del agua antes del baño del melón procesado.

Al final de la conservación, las reducciones comparadas con los testigos de su mismo tiempo fueron, para los baños de un min 0,6; 0,1; 0 y 1,4 unidades log para mesófilos, psicrotrofos, levaduras y mohos respectivamente. Cuando la duración del lavado es de 3 min la reducción fue de 1,2; 0,2; 0,4 y 1,5 unidades y con un prolongado lavado fue de 0,8; 0,4 y 1,5 unidades para psicrotrofos, levaduras y mohos respectivamente. Este tratamiento incluso incrementó la población de mesófilos en 0,7 unidades frente al testigo.

El O<sub>3</sub> tuvo un efecto significativo en la inhibición de mohos sin diferencias significativas entre su duración (Tabla 7.10), actuando como fungistático pero no como fungicida como observó Liew y Prange (1994) en zanahoria. Pero el ozono es generalmente más efectivo contra las bacterias celulares vegetativas que frente esporas de bacterias y hongos (Kim *et al.*, 1999a). Restaino *et al.* (1995) observaron que las levaduras son más sensibles que los mohos al O<sub>3</sub>, como se ha expuesto antes más de 4,5 log de *C. albicans* y *Zygosaccharomyces bailii* se destruyeron instantáneamente frente a una sola unidad log de esporas de *Aspergillus niger* tras 5 min de exposición en agua ozonizada (0,2 ppm). Así mismo, Ogawa *et al.* (1990) reportaron que esporas de *Botrytis cinerea* en la superficie de tomate dañado eran inactivadas con la exposición a 3,8 ppm durante 10 min pero si estas esporas se situaban en el interior de las heridas muchas de ellas escapaban al O<sub>3</sub>.

Efectos similares observaron Spotts y Cervantes (1992) al inocular *Penicillium expansum* en peras tratadas con 5,5 ppm de O<sub>3</sub> durante 5 min, concluyeron que el O<sub>3</sub> reacciona con el tejido de la planta y con lugares extracelulares de la herida fracasando en inactivar los microbios unidos y/o embebidos en el tejido. No obstante, a dosis de 1,9; 1,4 y 0,8 ppm durante 5 min lograban inhibir el crecimiento de esporas en agua de *Botrytis cinerea*, *Mucor piriformis* y *Penicillium expansum*, respectivamente.

La inmersión en 10 ppm de O<sub>3</sub> en agua durante 1 a 4 min redujo el moho gris en un 50% en uva de mesa, pero la efectividad del ozono fue irregular y dependió de las condiciones de la baya. El rajado en la epidermis de las bayas o incisiones alrededor del pedúnculo del grano puede proteger a las esporas del ataque de ozono (Smilanick *et al.*, 1999). Según estos autores, el testigo de patógenos inoculados en heridas de frutas fracasa incluso después de prolongado tratamiento con elevadas concentraciones de ozono en agua aunque las esporas son destruidas rápidamente. La incapacidad tanto del O<sub>3</sub> gaseoso como aplicado en agua ozonizada para controlar patógenos inoculados o bajo la superficie de la fruta (infecciones de campo) ha sido observado en uva de mesa (Shimizu *et al.*, 1982), peras (Spott y Cervantes, 1992), cítricos (Smilanick *et al.*, 1999) y tomate (Ogawa *et al.*, 1990). Aparentemente, las estructuras fúngicas en heridas inoculadas quedan protegidas del efecto oxidante del O<sub>3</sub> por la reducida penetración

del mismo, una interacción del O<sub>3</sub> con el tejido de la fruta o componentes superficiales reducen la efectividad de la concentración de ozono y/o presencia de antioxidantes (Palou *et al.*, 2002). Luego, efectivamente el O<sub>3</sub> puede ser menos efectivo frente a los mohos cuando éstos son inoculados o se encuentran refugiados en heridas ya que la aplicación de ozono puede reducir significativamente la flora microbiana actuando principalmente en la superficie de los alimentos (Achen, 2000).

El O<sub>3</sub> se descompone rápidamente en la fase acuosa del alimento y por ello, su acción antimicrobiana tendrá lugar principalmente en la superficie (Hampson y Fiori, 1997; Kaess y Weidemann, 1968; Smilanick *et al.*, 1999). Nuestro producto, al estar procesado en secciones trapezoidales ofrece una superficie homogénea exenta de epidermis o lugares en los que puedan refugiarse los mohos, por ello, el efecto del O<sub>3</sub> resultó más eficaz que en la inhibición O<sub>3</sub> de bacterias y levaduras. Además, los mohos son microorganismos que se desarrollan principalmente en la superficie del producto, lugar idóneo de actuación del ozono.

La reducción en la eficacia del O<sub>3</sub> con la conservación podría explicarse por la posterior multiplicación de la flora tras realizar el lavado. El O<sub>3</sub> fue efectivo en mermar la población microbiana inicial pero al no inhibirla totalmente estas colonias continúan multiplicándose durante la conservación, momento en el que la efectividad del O<sub>3</sub> es inexistente ya que la vida media del O<sub>3</sub> en agua puede de solo segundos (aguas contaminadas) u horas (agua limpia) (Graham, 1997). Kim *et al.* (1999a) mostraron que los microorganismos no poseen una substancial resistencia intrínseca al ozono, por ello, es evidente que los supervivientes encontrados en un producto tratado no hubiesen estado en contacto con el ozono durante el tratamiento y son los que continuarán multiplicándose. Por ello, según nuestros resultados el tratamiento idóneo sería aquel que inmediatamente después del lavado, redujera de forma más importante la población microbiana, en nuestro caso, el lavado de 3 min. Probablemente, el lavado de 5 min no fue tan efectivo ya que esta duración más “prolongada” permitió al O<sub>3</sub> reaccionar con otros componentes del tejido del melón mermando su acción antimicrobiana.

De los resultados obtenidos en este trabajo y los de distintos autores, podemos decir que a las dosis y tiempos estudiados, el O<sub>3</sub> aplicado en baño ozonizado no fue lo suficientemente eficaz para reducir las bacterias y levaduras en un producto procesado en fresco sometido a un periodo de conservación. No obstante, empleando O<sub>3</sub> junto con otros tratamientos como bajas dosis de cloro (García *et al.*, 2001), pulsos eléctricos (Unal *et al.*, 2001) o utilizar ozono gaseoso combinado con disoluciones acuosas de O<sub>3</sub> (Matsunaga *et al.*, 1995), actuarían de forma sinérgica bajo el concepto de obstáculos limitando el crecimiento de microorganismos con varios tratamientos subinhibitorios (Scott, 1989).

Al comparar resultados hay que tener en cuenta que la susceptibilidad de los microorganismos al O<sub>3</sub> varía según el tipo y número de microorganismos, diseño de la reacción (burbujeo, turbulencias, etc), el pH del medio, temperatura, humedad, la presencia de aditivos (ácidos, surfactantes, azúcares), calidad del agua y cantidad de materia orgánica alrededor de la célula, fisiología del producto (Kim *et al.*, 1999a; 1999b) número y duración de lavados y si se inocula, el método, tiempo de inoculación y tamaño de la población, (Singh *et al.*, 2002a). A esto hay que añadir el tipo del producto, la presentación del mismo (entero o procesado) y si sufre o no una posterior conservación frigorífica.

#### 7.4. CONCLUSIONES.

Los lavados con de 3 y 5 min de agua ozonizada, promovieron un ligero aumento en la emisión de CO<sub>2</sub> durante el estrés del corte aunque evitaron el incremento en los niveles de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> a partir del octavo día tal y como le sucedió al testigo.

A pesar de que el O<sub>3</sub> mantuvo el sabor y la calidad global por encima del límite de comercialización, los lavados con agua ozonizada a 6,5 ppm, en melón Amarillo procesado en secciones trapezoidales, no permitieron alcanzar una vida útil de 10 días ya que los recuentos microbianos superaban a los permitidos por la legislación, pero mermaron de forma significativa la población microbiana inicial, en especial cuando la duración del lavado era de 3 min. Además, tras la conservación redujeron en 1,5 unidades el crecimiento fúngico.

Ningún tratamiento frenó el ablandamiento con respecto al testigo. No obstante, tras la conservación, el procesado lavado con agua ozonizada obtuvo un mayor L\* e IB y lograron una menor reducción en el contenido de fructosa, glucosa y sacarosa. En ningún momento el O<sub>3</sub> causó daños visibles en los trapecios de melón ni transmitió sabores o aromas extraños o desagradables.

En general, no hubo diferencias notables debidas a la duración de los lavados O<sub>3</sub>, salvo la comentada con la tasa respiratoria, microbiología inicial y una ligera reducción en L\* e IB en los lavados durante 5 min frente a los de 1 min. Por ello, convendría en futuros trabajos aplicar concentraciones mayores a 6,5 ppm de O<sub>3</sub> y tiempos “cortos” entre 1 y 3 min.

**TOMATE**

## **Capítulo 8. INFLUENCIA DE LA ATMÓSFERA CONTROLADA EN EL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO Y EN LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE TOMATE PROCESADO EN FRESCO**

### **8.1. INTRODUCCIÓN.**

Uno de los principales problemas de la conservación de rodajas de tomate es el rápido deterioro en su calidad tras el procesado, en comparación con otros productos que reducen su vida comercial (Gil *et al.*, 2002; Hong y Gross, 2001), a pesar de utilizar variedades de larga duración (Artés *et al.*, 1999). Aunque la vida útil puede ser prolongada por la refrigeración, el tomate es sensible al daño por frío, que se manifiesta con incapacidad para madurar, picado, aumento en la susceptibilidad de la infección fúngica, pérdida de aroma, así como desarrollo de zonas embebidas en agua (“water soaking”) (Hobson, 1987; Morris, 1982).

Para prolongar la vida útil a 10 días, los atributos de calidad de rodajas “Durinta” eran mejor preservados a 0°C frente a 5°C pero aquella temperatura causaba algunos daños por frío, mostrando menos intensidad del color rojo y zonas embebidas en agua (Gil *et al.*, 2002).

Hakim *et al.* (2000) lograron una vida útil de tomate procesado en fresco de 10 días en AC (2 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub>) a 1°C. Bajo estas condiciones, se evitó la decoloración de las semillas, se frenó la pérdida de aroma y sabor, ablandamiento y actividad metabólica. Las recomendaciones de Gorny (1997; 2001b) para rodajas de tomate son 3 kPa de O<sub>2</sub> y 3 kPa de CO<sub>2</sub> entre 0 y 5°C. Kader (1980; 2002a) recomienda para tomate entero maduro unos niveles de O<sub>2</sub> de 3-5 kPa y 3-5 kPa CO<sub>2</sub>.

Con el objetivo de alcanzar hasta 14 días de vida útil en tomate procesado en fresco se diseñó un ensayo en el que se conservó tomate “Calibra” en AC, a 0 y 5°C. Se estudiaron dos AC, ambas de bajo O<sub>2</sub> y dos concentraciones de CO<sub>2</sub>, una de 5 kPa (según recomendaciones mencionadas) y otra de 10 kPa. Con ésta última, se pretendía estudiar el beneficio de alto CO<sub>2</sub> en un tomate procesado en fresco, dado que al carecer de cutícula, puede tolerar niveles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> más extremos que un producto entero (Watada y Qi, 1999).

Además, se investigó la posible repercusión de dos tipos de corte, rodajas y cascos, en la calidad tanto sensorial como microbiológica.

### **8.2. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **8.2.1. Material vegetal.**

El material vegetal fueron tomates (*Lycopersicon esculentum* L.) de la variedad “Calibra”, cultivados en invernaderos de Mazarrón (Murcia) y recolectados en marzo, en estado

8-9 según la carta de colores “Kleur-stadia” (Holanda). Los frutos se seleccionaron por su tamaño, descartándose los que presentaban lesiones por golpes y/o rozaduras o alteraciones. De la selección se tomó al azar una muestra de 20 tomates a los que se determinó el peso, los diámetros ecuatorial y polar y el color de la epidermis (Tabla 8.1).

**Tabla 8.1.** Caracterización inicial (peso, calibres y color de epidermis) de tomate “Calibra”,

Peso (g)	Diámetro ecuatorial	Diámetro polar	Color epidermis
	(cm)	(cm)	°H
114,0 <sup>z</sup> ± 1,8	6,2 ± 0,1	5,7 ± 0,1	74,9 ± 0,4

<sup>z</sup>Media (n = 20) ± error estándar.

### 8.2.2. Preparación de la muestra.

En una cámara frigorífica higienizada y mantenida a 10°C, se formaron lotes homogéneos al azar de tomates enteros que se sumergieron durante 1 min en agua clorada a 5°C (100 mg·L<sup>-1</sup> NaOCl, pH = 7,5). Posteriormente, se secaron con papel absorbente, se colocaron en bandejas, se despeduncularon y se procesaron en dos tipos de corte:

- 1) Rodajas, con una máquina automática (Halde RG-100, Suecia) que loncheó los tomates en rodajas de 0,8 cm de espesor (perpendicular al eje polar del tomate),
- 2) Cascos, con una máquina manual que seccionaba los tomates en ocho cascos (paralelo al eje polar del tomate).

Tanto ambas máquinas como las herramientas utilizadas se desinfectaron previamente con 100 mg · L<sup>-1</sup> de NaClO. Los operarios utilizaron guantes de látex, desechándose en cada tratamiento.

Una vez procesados se escurrieron y se pesaron 185-200 g de rodajas o cascos y se colocaron en frascos de vidrio (0,5 L). Éstos se trasladaron a una cámara frigorífica a 0 ó 5°C donde se les hizo pasar, a través de un sistema mezclador de gases, distintos flujos gaseosos, administrados por botellas comerciales. Éstos se abastecen a través de cilindros comerciales (Air Liquid, S.A., Madrid, España). Los tratamientos fueron:

- ◆ Bajo O<sub>2</sub> y medio CO<sub>2</sub> ⇒ 4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub>,
- ◆ Bajo O<sub>2</sub> y alto CO<sub>2</sub> ⇒ 4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>
- ◆ Alto O<sub>2</sub> y bajo CO<sub>2</sub> ⇒ Aire ⇒ 21 kPa O<sub>2</sub> + 0 kPa CO<sub>2</sub> ⇒ Testigo.

El flujo de las distintas mezclas fue de 0,1 a 0,3 L·h<sup>-1</sup> y un 95-100% HR. Se realizó una única salida al finalizar la conservación. Se prepararon 5 repeticiones por tratamiento. Todos los frascos (rodajas o cascos) se conservaron a 0°C y 5°C durante 14 días.

### 8.2.3. Determinaciones.

Se realizaron las siguientes determinaciones, detalladas en Materiales y Métodos (Sección 2). Regularmente, a través de un sistema continuo se determinó la tasa respiratoria y emisión de etileno del tomate procesado y entero. Sólo al inicio y final del ensayo se determinaron:

- Análisis sensorial. Para valorar la apariencia y calidad global se utilizó una escala hedónica de 9 puntos, y para el sabor, aroma y textura, se utilizó una escala de 5 puntos.
- Volumen de exudación
- Pérdidas de peso
- Análisis microbiológico

En el zumo obtenido a partir del tomate procesado se evaluaron:

- Color. El parámetro a\* es un buen indicador del color rojo y por tanto, del grado de madurez en tomate, mientras que b\* refleja la decoloración amarilla debido a los posibles daños por frío (Artés *et al.*, 1999), por ello, el color en zumo se expresó mediante los °H.
- SST, azúcares.
- AT y pH.
- Volátiles.
- Daños por frío, análisis subjetivo, donde 1 = sin daños, 2 = leve, 3 = moderado, 4 = severo y 5 = extremo. Se consideró rechazable el tomate cuando el daño por frío era severo o moderado.

En todas las determinaciones se evaluaron 5 repeticiones por tratamiento.

En el presente trabajo disponemos de 4 factores, tiempo, temperatura, tipo de corte y tipo de atmósfera. Para no complicar el estudio estadístico, se optó por seleccionar tres factores. Como se ha comprobado en los Capítulos de melón, el tiempo es un factor que influye en la mayoría de los parámetros, además sólo se realizó una salida, sin evaluarse a lo largo del tiempo, con lo que este factor sería altamente significativo en todos los parámetros. Por ello, se decidió realizar el diseño estadístico aislando la temperatura, tipo de corte y tipo de AC con los datos obtenidos tras la conservación. Con ello, se observaría la influencia de estos factores en los parámetros estudiados. Se realizó un ANDEVA trifactorial y cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos se utilizó la prueba LSD.

### 8.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 8.3.1. Tasa respiratoria en aire.

El procesado del tomate mostró una pauta similar al melón procesado en fresco (Capítulos 1 y 2, Secciones 3.1.). Para ambas temperaturas, el efecto del cortado resultó en un incremento en el CO<sub>2</sub>, como respuesta a la herida sufrida, que no se observó en el tomate entero (Figura 8.1). Este mismo comportamiento, ya se advirtió en melón y se discutió ampliamente en los Capítulos mencionados.

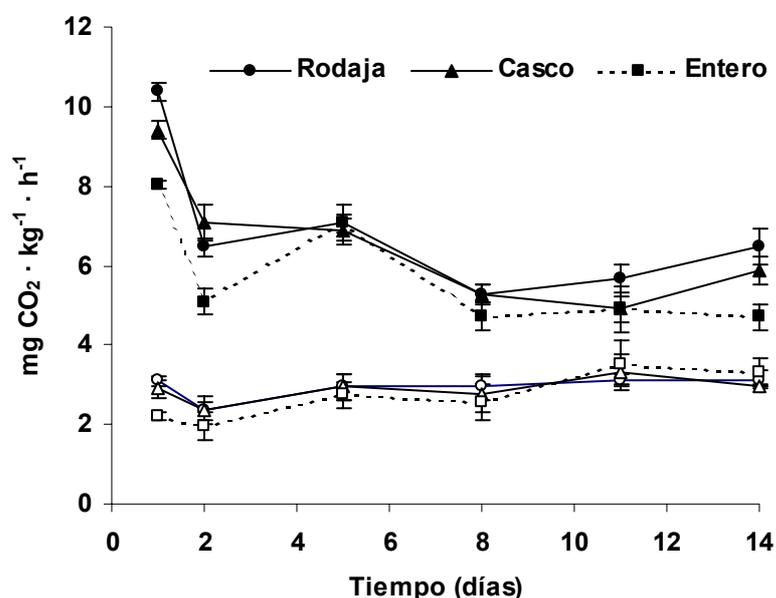
Durante el primer día a 5°C, las rodajas exhibieron una emisión de CO<sub>2</sub> ligeramente mayor que los cascos. Estas diferencias entre cascos y rodajas no se detectaron a 0°C, debido a que las bajas temperaturas minimizan las diferencias entre los procesados (Luna-Guzmán *et al.*, 1999; Madrid y Cantwell, 1993).

La duración del mencionado estrés se prolongó hasta el día 3 a 5°C mientras que no alcanzó el segundo día a 0°C, además con esta temperatura se redujo la intensidad del mismo. Una vez superado el estrés de la herida y para cada temperatura, no se observaron diferencias entre los distintos procesados y el entero. Únicamente, a 5°C, a partir del día 11 se detectó en el procesado un ligero incremento en el CO<sub>2</sub> consecuencia del deterioro y crecimiento fúngico, que como notaron Marrero y Kader (2001) en piña procesada, el final de la vida útil está marcada por un agudo incremento en la respiración seguido de un aumento en la producción de etileno. Una pauta semejante observaron Hong y Gross (1998; 2000) en rodajas de tomate rojos a 5°C, un inicial y agudo incremento de la respiración y producción de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> como respuesta a la herida durante los 2 primeros días, seguido de una ligera disminución o estado de equilibrio para después de 10-11 días, debido al deterioro y crecimiento microbiano, incrementar la producción de estos gases hasta el final de la conservación.

Mencarelli y Saltveit (1988) observaron dos picos tanto en la producción de CO<sub>2</sub> como de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, el primero se asoció a la herida del corte mientras que el segundo fue asociado a la madurez del tomate. Este segundo pico de CO<sub>2</sub> aparece tras 35 horas después del corte prolongándose 5 horas mientras que el del C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> surgió después de 18 horas prolongándose 32 horas más. Estos autores trabajaron con tomates verdes a 20°C. Así mismo, Campbell *et al.* (1990) también observaron en discos de tomate dos picos transitorios en la producción de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, uno inmediatamente después del corte (2 horas) y un segundo pico que se correspondió con el cambio de color. Estos autores también realizaron el ensayo a 20°C y con tomates verdes.

No obstante, en nuestro caso, el pico de CO<sub>2</sub> en el quinto día (Figura 1), tanto en el procesado como en el tomate entero a 5°C, podría ser consecuencia de la evolución hacia un estado más maduro del tomate.

La tasa respiratoria a 5°C fue entre 2 y 2,4 veces mayor que a 0°C. En el Capítulo 2 de melón procesado esta relación fue entre 1,5 a 2 veces.



**Figura 8.1.** Tasa respiratoria de rodajas y cascos de tomate “Calibra” conservados en aire durante 14 días a 0 ó 5°C. Media (n = 5) ± error estándar. Marcador transparente = 0°C y marcador sólido = 5°C.

Artés *et al.* (1999) también obtuvieron unos valores similares para tomate “Durinta” de larga duración, alrededor de 7,9 mg CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup> durante el estrés del corte y unos 3,8 tras la estabilización en el segundo día a 2°C. Hakim *et al.* (2000) obtuvieron valores de entre 36-51 mg CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup> en tomate procesado a 1°C.

### 8.3.2. Emisión de etileno.

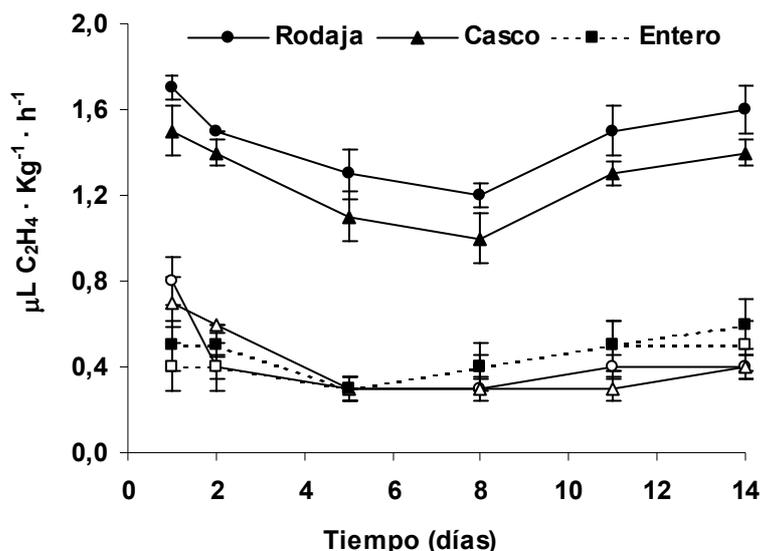
#### 8.3.2.1. En aire.

De forma similar a como se detalló en el apartado anterior, el estrés del corte fue acompañado, en ambos procesados, por un incremento en la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (Figura 8.2). Como sucedió con la tasa respiratoria, a 0°C, se redujo la intensidad, duración del estrés de herida y la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> a lo largo de la conservación. A 5°C, la producción de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> de los procesados fue entre 3,7 (rodajas) y 3,2 (cascos) veces mayor que a 0°C. En esta ocasión, el tomate entero, no expresó estas diferencias tan acusadas entre temperaturas, mostrando un comportamiento similar a 0 y 5°C. Este comportamiento en el producto entero a 5°C no se observó en melón (Capítulo 1).

Tras el estrés del corte, rodajas y cascos a 5°C, redujeron suavemente los niveles de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> para, poco a poco, incrementarlos con el avance de la conservación. El día 11, se acentuó la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> acompañada como se ha mencionado antes por un aumento en el CO<sub>2</sub>, debido al deterioro y crecimiento microbiano (Hong y Gross, 1998; 2000).

A 0°C, no se observó diferencias entre el procesado y el tomate entero, mientras que a 5°C las rodajas mostraron una emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ligeramente superior que los cascos. Artés *et al.* (1999) encontraron 0,8  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  a 2°C en rodajas de “Durinta”. Estos autores observaron un comportamiento muy similar entre entero y procesado, e incluso, el tomate entero llegó a superar ligeramente la actividad metabólica del procesado cuando la conservación era a 2°C pero a 10°C, la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> del procesado fue cinco veces mayor que la del entero.

Hakim *et al.* (2000) obtuvieron una emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> de 6-7  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  en tomate procesado y conservado en aire a 1°C. Estos valores junto con los de la tasa respiratoria son muy altos con respecto a los nuestros, probablemente por no tratarse de un tomate de larga duración.



**Figura 8.2.** Emisión de etileno de rodajas y cascos de tomate “Calibra” conservados en aire durante 14 días a 0 ó 5°C. Marcador transparente = 0°C y marcador sólido = 5°C. Media (n = 5) ± error estándar.

### 8.3.2.2. En AC.

La emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> obtenida en ambas temperaturas, cortes y tipo de AC osciló entre 0,1 y 0,4  $\mu\text{L} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , sin apenas diferencias entre tratamientos. Ambas AC disminuyeron la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> con respecto al aire y, en especial, a 5°C. En las Tablas 8.2 y 8.3, exponemos estas reducciones expresadas como cociente entre el aire y la AC.

**Tabla 8.2.** Relación entre la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (μL Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) de tomate “Calibra” en aire y AC (4 kPa O<sub>2</sub> y 5 kPa CO<sub>2</sub>) durante 14 días a 0 ó 5°C.

Día	0°C			5°C		
	Rodaja	Casco	Entero	Rodaja	Casco	Entero
1	2,7 <sup>z</sup>	3,5	1,3	4,3	5,0	1,3
2	2,0	3,0	1,3	5,0	4,7	1,3
5	1,5	1,0	1,0	4,3	3,7	1,0
8	1,5	1,5	2,0	6,0	5,0	2,0
11	2,0	1,0	1,7	5,0	4,3	2,5
14	1,3	1,3	1,7	5,3	4,7	2,0
<b>Media</b>	<b>1,8 ± 0,3</b>	<b>1,9 ± 0,6</b>	<b>1,5 ± 0,2</b>	<b>5,0 ± 0,4</b>	<b>4,6 ± 0,3</b>	<b>1,7 ± 0,3</b>
	<b>± E.S</b>					

<sup>z</sup>Media (n = 5) ± error estándar.

El efecto de ambas AC en reducir la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> es mayor en tomate procesado que en entero, y, mucho más importante a 5°C que a 0°C. Hakim *et al.* (2000), obtuvieron una relación de 2 (reducción del 50%) en la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> de tomate procesado en fresco conservadas en aire y 2 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub> a 1°C. Estos resultados son muy similares a la relación de 1,8 encontrada por nosotros.

Si comparamos entre ambas AC (Tabla 8.s 2 y 3) advertiremos que a igualdad de concentración de O<sub>2</sub>, el incremento del CO<sub>2</sub> de 5 a 10 kPa redujo de forma significativa los niveles de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, salvo en las rodajas a 5°C, donde no hubo diferencias entre ambas AC. Mencarelli y Saltveit (1988) también obtuvieron una significativa reducción en la producción de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> con atmósferas de 3 kPa CO<sub>2</sub> en aire, 3 kPa O<sub>2</sub> ó 3 kPa CO<sub>2</sub> + 3 kPa O<sub>2</sub> retrasando la maduración e inhibiéndose la germinación de semillas de rodajas de tomate a 20°C. Además, la síntesis de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> fue más restringida con reducidas concentraciones de O<sub>2</sub> que por elevados CO<sub>2</sub>. Klieber *et al.* (1996) suprimió la respiración y producción de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> con AC de bajo O<sub>2</sub> (1 kPa) y alto CO<sub>2</sub> (80 kPa) en tomate entero conservado a 22°C. Burg y Burg (1967) demostraron que el CO<sub>2</sub> es un inhibidor competitivo de la acción del C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> al desplazarlo del centro activo. Estos autores también observaron que se requiere O<sub>2</sub> para la acción del C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ya que a bajas concentraciones de O<sub>2</sub> (por debajo de 8%) también se impide la unión del C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> al centro activo.

Los resultados y discusiones respecto al efecto de las AC en la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> se recogen en el Capítulo 2, Sección 3.3.1., que para no repetir obviamos en este apartado.

Si observamos la reducción de estas atmósferas, a lo largo de la conservación, notaremos que tienen su principal efecto en el estrés del corte del procesado a 0°C mientras que a 5°C, coincidiendo con los resultados de melón del Capítulo 2 (Sección 3.3.1.), el efecto principal se sitúa en los últimos días de conservación, es decir, cuando el producto se deteriora. Las AC utilizadas en melón procesado a 5°C lograron una reducción en la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> del 90-95%, en el caso del tomate procesado y conservado a la mencionada temperatura la reducción fue entre un 78 y un 84%.

No obstante, los niveles de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en aire y en AC son bastante bajos.

**Tabla 8.3.** Relación entre la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ( $\mu\text{L Kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) de tomate “Calibra” en aire y AC (4 kPa O<sub>2</sub> y 10 kPa CO<sub>2</sub>) durante 14 días a 0 ó 5°C.

Día	0°C			5°C		
	Rodaja	Casco	Entero	Rodaja	Casco	Entero
1	4,0 <sup>z</sup>	3,5	1,3	4,3	5,0	1,3
2	2,0	3,0	1,3	3,8	4,7	2,5
5	1,5	1,5	1,0	4,3	5,5	1,0
8	3,0	1,5	1,3	6,0	10,0	1,3
11	4,0	1,0	2,5	5,0	13,0	5,0
14	4,0	2,0	2,5	5,3	7,0	3,0
<b>Media ± E.S</b>	<b>3,1 ± 0,6</b>	<b>2,1 ± 0,6</b>	<b>1,7 ± 0,4</b>	<b>4,8 ± 0,5</b>	<b>7,5 ± 1,9</b>	<b>2,3 ± 0,9</b>

<sup>z</sup>Media (n = 5) ± error estándar.

### 8.3.3. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos.

#### 8.3.3.1. Evaluación sensorial.

Todos los factores estudiados, así como algunas interacciones, influyeron en la evaluación de los parámetros sensoriales (Tabla 8.4). En general, a 0°C se consigue una mejor valoración frente a 5°C, se prefieren las rodajas a los cascos y ambas AC logran una mejor

calidad sensorial frente al testigo (aire). Después de esta idea global, pasamos a estudiar la interacción obtenida para cada parámetro.

**Tabla 8.4.** Influencia del tipo de la temperatura, tipo de corte y AC en los parámetros sensoriales de tomate “Calibra” durante 14 días de conservación.

Temperatura (T)	Corte	Tipo AC	Apariencia (1-9)	Sabor (1-5)	Aroma (1-5)	Textura (1-5)	CG (1-9)
<b>Inicial</b>	<b>Rodaja</b>		8,0 <sup>z</sup>	4,3	4,0	5,0	7,5
	<b>Casco</b>		7,5	4,3	4,0	5,0	7,0
<b>0°C</b>	<b>Rodaja</b>	<b>Testigo</b>	6,0	1,5	2,0	3,3	4,5
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub></b>	7,0	3,0	3,5	3,5	6,5
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub></b>	5,8	3,3	3,3	3,7	6,5
	<b>Casco</b>	<b>Testigo</b>	5,5	2,0	1,0	2,0	3,0
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub></b>	6,5	3,0	3,0	3,0	6,0
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub></b>	5,3	3,0	3,0	3,2	6,0
<b>5°C</b>	<b>Rodaja</b>	<b>Testigo</b>	1,3	1,0	1,0	1,0	2,0
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub></b>	6,5	2,8	3,0	3,0	6,0
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub></b>	5,5	2,8	3,0	3,2	6,5
	<b>Casco</b>	<b>Testigo</b>	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub></b>	6,0	2,7	3,0	2,5	5,7
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub></b>	5,0	2,7	3,0	2,5	5,3
<b>T</b>			(0,6) <sup>c</sup>	(0,4) <sup>c</sup>	(0,3) <sup>c</sup>	(0,4) <sup>c</sup>	NS
<b>Corte</b>			(0,4) <sup>b</sup>	NS	NS	(0,4) <sup>c</sup>	(0,5) <sup>b</sup>
<b>AC</b>			(0,7) <sup>c</sup>	(0,4) <sup>c</sup>	(0,3) <sup>c</sup>	(0,5) <sup>c</sup>	(0,8) <sup>c</sup>
<b>T x corte</b>			NS	NS	NS	NS	(0,7) <sup>b</sup>
<b>T x AC</b>			(1,0) <sup>c</sup>	NS	NS	(0,7) <sup>c</sup>	(1,2) <sup>c</sup>
<b>Corte x AC</b>			NS	NS	NS	NS	NS
<b>T x corte x AC</b>			NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica (1 a 9) para apariencia y CG, donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. Escala hedónica (1 a 5) para sabor, aroma y textura, donde 1 = inaceptable, 3 = aceptable (límite de comercialización) y 5 = excelente. CG: calidad global.

Aroma y sabor sólo estuvieron influenciados por las condiciones de conservación, es decir, temperatura y atmósfera. Como sucedió con el melón en AC (Capítulo 2), se consigue un mejor sabor y aroma a 0°C que a 5°C y el uso de ambas AC, sin diferencias entre ellas, lo mejoran frente al aire.

El tipo de corte x la temperatura afectó a la calidad global. Las rodajas poseen una mejor calidad global frente a los cascos a 0°C pero sin diferencias a 5°C. Así mismo, es significativa la temperatura de conservación en rodajas de tomate pero no en los cascos (Tabla 8.5), a pesar de que a 5°C, no es posible una vida útil de 14 días en ninguno de los procesados realizados.

**Tabla 8.5.** Interacción (temperatura x tipo de corte) en la calidad global de tomate “Calibra” tras 14 días de conservación.

Calidad global (1-9)		
	Rodaja	Casco
0°C	5,8 <sup>z</sup> Aa	5,0 Ba
5°C	4,8 Ab	4,3 Aa

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 8.4) por la prueba de LSD.

Del estudio de la interacción de la temperatura con la atmósfera (Tabla 8.6), se observa que ambas AC mantuvieron la apariencia por encima del límite de comercialización tanto a 0 como a 5°C, en comparación con el testigo, pero a 0°C, también el procesado en aire consiguió una apariencia por encima de 5. En estas condiciones se prefiere 4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub> ó aire frente a alto CO<sub>2</sub>, dado que ésta causó un enrojecimiento en la matriz del procesado. Según Kader (2002a), exposiciones a O<sub>2</sub> inferiores a 2 kPa o concentraciones de CO<sub>2</sub> superior a 5 kPa durante 2 a 4 semanas pueden causar maduraciones irregulares en frutas como en el tomate entero. Según nuestros resultados, el tomate procesado en fresco toleró perfectamente concentraciones de CO<sub>2</sub> de 5 kPa pero si éstas se incrementaban a 10 kPa la pulpa presentaba un enrojecimiento inusual, como se comprobará en el apartado siguiente con la reducción en el zumo de los °H.

El tipo de corte también repercutió en la apariencia, las rodajas, presentaron una matriz más unida al pericarpio que los cascos, proporcionando un corte más compacto. Probablemente, este defecto se podría evitar seleccionando una variedad con una pulpa más compacta y firme, así como, recolectando en un estado de madurez menos avanzado.

**Tabla 8.6.** Interacción (temperatura x tipo de AC) en la apariencia y textura de tomate “Calibra” procesado en fresco tras 14 días de conservación.

<b>Apariencia (1-9)</b>			
	<b>Testigo</b>	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub></b>	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub></b>
<b>0°C</b>	5,8 ABa <sup>z</sup>	6,8 Aa	5,6 Ba
<b>5°C</b>	1,2 Bb	6,3 Aa	5,3 Aa
<b>Textura (1-9)</b>			
	<b>Testigo</b>	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub></b>	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub></b>
<b>0°C</b>	2,7 Aa	3,3 Aa	3,4 Aa
<b>5°C</b>	<b>1 Bb</b>	2,8 Aa	2,8 Aa
<b>Calidad global (1-9)</b>			
	<b>Testigo</b>	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub></b>	<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub></b>
<b>0°C</b>	3,8 Ba	6,3 Aa	6,5 Aa
<b>5°C</b>	2,3 Bb	6,1 Aa	5,9 Aa

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 8.4) por la prueba de LSD.

Como sucedió con la apariencia, las AC frenan el ablandamiento a 5°C frente al testigo, pero no es significativo a 0°C. Artés *et al.* (1999) también obtuvieron una firmeza en rodajas de “Durinta” a 10°C significativamente inferior frente a 2°C y ambas disminuyeron con el tiempo de conservación. No obstante, en nuestro caso, sólo con la combinación de AC y a 0°C es posible una textura por encima del límite de comercialización. Grierson y Tucker (1983) comprobaron que la herida del etileno causada por el procesado en rodajas, indujo un aumento en la respiración y estimuló la actividad PG, resultando en un ablandamiento prematuro. Según Campbell *et al.* (1990), los ácidos poliurónidos de la pared celular, disminuyen durante la maduración. Además, el propio loncheado o procesado causa un ablandamiento (Artés *et al.*, 1999; Gorny *et al.*, 1998; Mencarelli y Saltveit, 1988; Varoquaux *et al.*, 1990).

Coincidiendo con estos autores, minimizando los efectos del estrés del C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> y reduciendo otras reacciones químicas con la aplicación de AC y bajas temperaturas, se puede frenar la pérdida de textura y extender la vida útil.

En esta ocasión, como se comprobó en melón bajo AC, no se observaron diferencias significativas entre las AC, probablemente porque las dos atmósferas utilizadas combinan reducido O<sub>2</sub> con “elevado” CO<sub>2</sub> que fue la más eficaz en retardar el ablandamiento.

También la calidad global, requirió tanto la aplicación de AC como 0°C para conseguir una calidad apta dado que el testigo disminuyó de forma significativa.

Aunque no se consideró el tiempo de conservación en el estudio estadístico, al comparar los valores iniciales y los obtenidos tras 14 días, advertimos de la importante reducción de los parámetros sensoriales, en particular, a 5°C y en aire.

Estudiadas las influencias de los distintos factores en la calidad sensorial podemos concluir este apartado indicando que no es posible alcanzar una vida útil de 14 días en tomate procesado en fresco cuando la temperatura es 5°C, debido al ablandamiento y al sabor insípido de rodajas y cascos. En cambio, la utilización de ambas AC junto con la conservación a 0°C, permitió alcanzar esta prolongada vida comercial. Hakim *et al.* (2000) también lograron obtener una vida útil de 10 días con AC a 1°C, reduciendo la pérdida de sabor, aroma y textura frente al aire.

A 0°C, el sabor y aroma de rodajas y cascos junto con el ablandamiento y pérdida de calidad global de los cascos impidieron que el testigo alcanzara una conservación adecuada. Una vez más, como se viene demostrando en los distintos Capítulos, el sabor y aroma es uno de los parámetros más lábiles en la conservación, en especial, en los productos procesados en fresco.

### **8.3.3.2. Color zumo, pérdidas de peso y volumen de exudación.**

En la Tabla 8.7, se exponen los distintos resultados para cada tratamiento y los factores que han sido significativos según el parámetro estudiado.

De los datos del tono en el zumo (°H), se desprende que el testigo a 0°C experimentó un incremento en los °H, es decir, su tendencia fue hacia el color naranja. Este comportamiento indica que a esta temperatura y en aire, el procesado tuvo una ligera incapacidad de madurar, mostrando un rojo menos intenso, síntomas típicos del daño por frío, como observaron a esta misma temperatura Gil *et al.* (2002) en rodajas de “Durinta” donde los °H pasaron de 78,3 a 81°H.

En cambio, a esta temperatura con la utilización de ambas AC, se redujo el incremento en los °H, es decir, el posible daño por frío o bien, debido a que las concentraciones de CO<sub>2</sub> con tendencia a enrojecer la pulpa, contrarrestaron el anaranjado.

**Tabla 8.7.** Influencia del tipo de la temperatura, tipo de corte y AC en el color, volumen de exudación y pérdidas de tomate “Calibra” durante 14 días de conservación.

Temperatura (T)	Corte	Tipo de AC	°H	Volumen exudación	Pérdidas peso
<b>Inicial</b>	<b>Rodaja</b>		71,2 <sup>z</sup>	0	0
	<b>Casco</b>		71,2	0	0
<b>0°C</b>	<b>Rodaja</b>	<b>Testigo</b>	76,3	2,4	0,06
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub></b>	70,6	2,2	0,05
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub></b>	69,5	2,0	0,05
	<b>Casco</b>	<b>Testigo</b>	73,7	2,2	0,05
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub></b>	67,7	2,3	0,05
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub></b>	68,2	2,3	0,05
<b>5°C</b>	<b>Rodaja</b>	<b>Testigo</b>	72,7	3,0	0,14
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub></b>	68,6	2,3	0,07
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub></b>	66,4	2,8	0,07
	<b>Casco</b>	<b>Testigo</b>	69,3	3,1	0,12
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub></b>	69,9	2,4	0,05
		<b>4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub></b>	67,9	3,0	0,05
<b>T</b>			(1,8) <sup>b</sup>	(0,51) <sup>b</sup>	(0,02) <sup>c</sup>
<b>Corte</b>			NS	NS	(0,11) <sup>a</sup>
<b>AC</b>			(3,0) <sup>c</sup>	NS	(0,04) <sup>c</sup>
<b>T x Corte</b>			NS	NS	NS
<b>T x AC</b>			(2,3) <sup>a</sup>	NS	(0,05) <sup>c</sup>
<b>Corte x AC</b>			NS	NS	NS
<b>T x Corte x AC</b>			NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Volumen exudación (mL · 100g<sup>-1</sup>). Pérdidas de peso (%).

Además, a 0°C se observó una leve translucencia (zonas embebidas en agua), especialmente en el testigo. Reducido O<sub>2</sub> y elevado CO<sub>2</sub> (10-20 kPa) pueden reducir los daños por frío en pimiento picantes, aunque según Kader y Morris (1977) el reducido O<sub>2</sub> tiene poco o ningún efecto en reducir los daños por frío en tomate entero. Según nuestros datos este reducido O<sub>2</sub> acompañado de alto CO<sub>2</sub> tuvo una ligera eficacia en reducir la translucencia. En ningún tratamiento se observó decoloración ni germinación de semillas, otro síntoma del daño por frío (Hakim *et al.*, 2000).

A 5°C, el testigo presentó un °H muy similar al inicial mientras que ambas AC, y en especial, 4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>, mostraron un color más rojo que el testigo (Tabla 8.8). Este enrojecimiento puede atribuirse, como hemos mencionado antes, al CO<sub>2</sub> más que a una acelerada senescencia. Aunque las atmósferas con bajo O<sub>2</sub> son más efectivas en retrasar la maduración en un estado preclimático, en el cual la producción de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> no se ha iniciado (Kader, 1989), como sucedió en tomate.

**Tabla 8.8.** Interacción (temperatura x tipo de AC) en el color del zumo (°H) y las pérdidas de peso de tomate “Calibra” procesado en fresco durante 14 días de conservación.

°H			
	Testigo	4 kPa O <sub>2</sub> + 5 kPa CO <sub>2</sub>	4 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>
0°C	75,0 <sup>z</sup> Aa	69,2 Ba	68,9 Ba
5°C	71,0 Ab	69,2 ABa	67,2 Ba
Pérdidas de peso			
	Testigo	4 kPa O <sub>2</sub> + 5 kPa CO <sub>2</sub>	4 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>
0°C	0,06 Ab	0,05 Aa	0,05 Aa
5°C	0,13 Aa	0,06 Ba	0,06 Ba

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 8.8) por la prueba de LSD. Pérdidas de peso (%).

El tipo de corte afectó a las pérdidas de peso tras 14 días de conservación. Las rodajas sufrieron pérdidas de peso ligeramente mayores que los cascós, a pesar de que según Roura *et al.* (2000) las mayores pérdidas de peso suceden en las muestras que más área dañada presentaron por unidad de volumen. En nuestro caso, la relación área dañada volumen fue de 2,5 para las rodajas y 8,5 para los cascós.

Para frenar éstas pérdidas, como sucedió con el melón (Capítulo 2, Sección 3.2.4.), fue necesario el uso de AC cuando la temperatura de conservación fue a 5°C, probablemente debido a una mayor pérdida de CO<sub>2</sub> procedente de una respiración en aire más intensa (Izumi *et al.*, 1996). Hakim *et al.* (2000) también lograron frenar las pérdidas de peso con 2 kPa O<sub>2</sub> y 5 kPa CO<sub>2</sub>, acompañado por una reducida pérdida de agua que mejoró la firmeza en tomate procesado en fresco. En cambio, el testigo a 0°C no presentó diferencias con respecto a las atmósferas de bajo O<sub>2</sub> y medio/elevado CO<sub>2</sub>. Con la AC desaparecen las diferencias en las pérdidas de peso a 5°C respecto a 0°C (Tabla 8.8). A esta temperatura además, se redujo el volumen de exudación, que osciló entre 2,2 a 0°C y 2,8 mL · 100g<sup>-1</sup> a 5°C (Tabla 8.7).

### 8.3.3.3. SST, azúcares, pH y AT.

Ni los SST ni la fructosa presentaron cambios para ninguno de los factores estudiados, (Tabla 8.9). En cambio, la concentración de glucosa varió según el tipo de corte y AC. Los cascotes presentaron un mayor contenido en glucosa. Las AC, y en especial la de alto CO<sub>2</sub>, frenaron el consumo de glucosa. La relación glucosa/fructosa se mantuvo entre 0,9 y 1,1, correspondiendo los valores más bajos al testigo. Carlin *et al.* (1989) observaron que el contenido en azúcar se conservaba con respecto al aire, bajo unos niveles de O<sub>2</sub> entre 2-10 kPa y 10-40 kPa de CO<sub>2</sub>.

Los factores simples, temperatura y tipo de corte, influyeron en el pH y AT (Tabla 8.9). A 0°C, las rodajas en aire frenaron la reducción en AT acompañada por el aumento del pH. La justificación de este comportamiento podría deberse a que a 0°C el metabolismo del tomate es menor, con lo que el consumo de los ácidos para producir energía se reduce. Según la actividad metabólica del procesado, tanto rodajas como cascotes, presentaron una tasa respiratoria similar aunque las primeras sufrieron mayor estrés del corte (Figuras 8.1 y 8.2).

El incremento en el pH acompañado de un descenso en la AT de ambos tratamientos en AC coinciden con los resultados encontrados por Hakim *et al.* (2000) en discos y rodajas de tomate en AC a 1°C y con los del Capítulo de AC de melón (Sección 3.3.3.) donde se discuten los resultados de otros investigadores. Buescher y Adams (1983) observaron que el CO<sub>2</sub> provocaba un aumento en el pH, probablemente la disminución de ácido málico.

**Tabla 8.9.** Influencia del tipo de la temperatura, tipo de corte y AC en SST, azúcares, AT y pH de tomate “Calibra” tras 14 días de conservación.

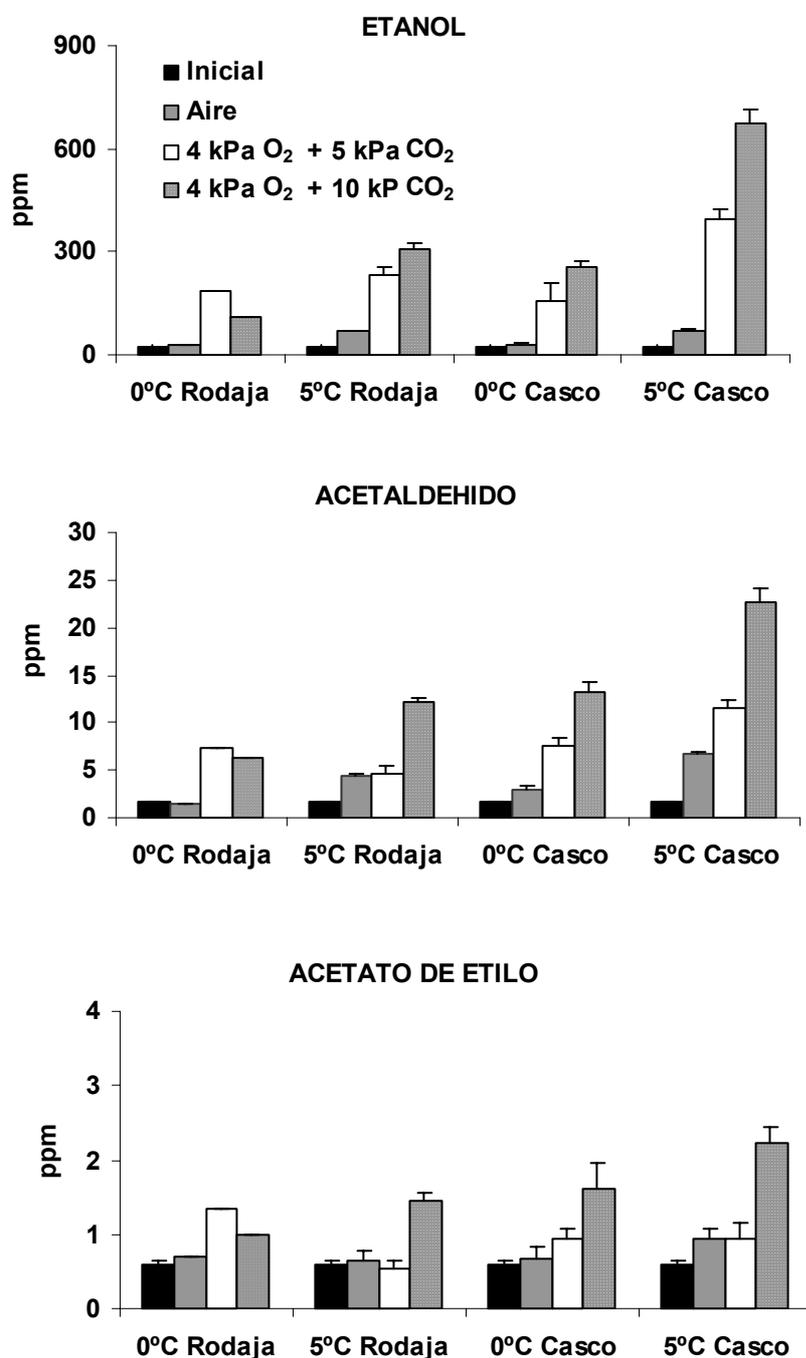
Temperatura (T)	Corte	Tipo de AC	SST	Glucosa	Fructosa	AT	pH
Inicial	Rodaja		5,7 <sup>z</sup>	19,2	19,3	0,48	4,25
	Casco		5,7	19,2	19,3	0,48	4,25
0°C	Rodaja	Testigo	5,2	16,6	19,0	0,46	4,34
		4 kPa O <sub>2</sub> + 5 kPa CO <sub>2</sub>	5,3	19,6	19,7	0,42	4,38
		4 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>	5,9	20,0	20,2	0,42	4,41
	Casco	Testigo	5,7	18,8	19,0	0,52	4,20
		4 kPa O <sub>2</sub> + 5 kPa CO <sub>2</sub>	5,3	19,2	18,4	0,47	4,29
		4 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>	5,7	20,9	19,0	0,46	4,36
5°C	Rodaja	Testigo	5,3	17,2	18,5	0,41	4,43
		4 kPa O <sub>2</sub> + 5 kPa CO <sub>2</sub>	5,4	17,7	18,4	0,36	4,51
		4 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>	6,1	19,5	20,7	0,33	4,42
	Casco	Testigo	5,6	19,7	21,2	0,43	4,32
		4 kPa O <sub>2</sub> + 5 kPa CO <sub>2</sub>	5,8	19,8	19,6	0,39	4,44
		4 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>	5,4	20,0	19,1	0,46	4,36
T			NS	NS	NS	(0,05) <sup>c</sup>	(0,07) <sup>c</sup>
Corte			NS	(1,1) <sup>a</sup>	NS	(0,05) <sup>c</sup>	(0,07) <sup>c</sup>
AC			NS	(1,3) <sup>a</sup>	NS	(0,03) <sup>a</sup>	0,07) <sup>b</sup>
T x Corte			NS	NS	NS	NS	NS
T x AC			NS	NS	NS	NS	NS
Corte x AC			NS	NS	NS	NS	NS
T x Corte x AC			NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: sólidos solubles (°Brix). Fructosa, glucosa (g L<sup>-1</sup>). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

### 3.3.4. Volátiles.

Los niveles de acetaldehído pasaron de 1,7 a 23 y los de etil acetato de 0,6 a 2,2 ppm. (Figura 8.4). En cambio, la concentración de etanol aumentó agudamente bajo AC (de 25 ppm a

675 ppm). Yáñez *et al.* (2001) consideraron que la concentración de etanol podría ser un buen índice de sensibilidad al CO<sub>2</sub> en determinados productos. Estos autores, obtuvieron una relación cuadrática positiva entre los kPa de CO<sub>2</sub> (30 kPa) y la concentración de etanol generada en tomate entero (rápida acumulación inicial seguida de una saturación).



**Figura 8.3.** Concentración de volátiles (etanol, acetaldehído y etil acetato) de rodajas y cascos de tomate “Calibra” conservados en aire y AC durante 14 días a 0 ó 5°C. Media (n = 5) ± error estándar.

El acetaldehído probablemente se acumula a causa de un estado de sobremadurez. Éste es un producto de la respiración anaerobia pero puede ser reducido a etanol y reaccionar además, para formar etil acetato (Larsen y Watkins, 1995).

Ratanachinakorn *et al.* (1997) observaron en tomate que tanto el bajo O<sub>2</sub> (0,5 kPa) como elevados CO<sub>2</sub> (80 kPa) inducían, en tan sólo un día, la síntesis de acetaldehído y etanol. Ambos volátiles, se detectaron en mayores niveles con estados de madurez más avanzados, probablemente, a que en este estado la fruta presente mayores actividades de alcohol deshidrogenasa. Pesis *et al.* (2002) observaron este mismo efecto en los frutos procedentes de recolecciones tardías e incluso dependió del cultivar (Fernández-Trujillo *et al.*, 1999). No obstante, éstos se disipaban rápidamente por volatilización u oxidación del etanol a acetaldehído.

Salvo en las rodajas a 0°C, la AC con mayor contenido en CO<sub>2</sub> (4 kPa + 10 kPa) intensificó la concentración de los volátiles como observaron Gorny *et al.* (1999), Agar *et al.* (1999) y Aquino-Bolaños *et al.* (2000). Además, en general, en ambos cortes y AC, la emisión de volátiles se acentuó a 5°C frente a 0°C (Smyth *et al.*, 1998). El tipo y concentración de volátiles presentes en AC o EAM dependen del tipo de producto, presión parcial de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, temperatura y tiempo de conservación.

En el etanol, el efecto del incremento en la temperatura, para una AC dada, fue mucho mayor que el enriquecimiento de la AC en CO<sub>2</sub>, es decir, pasar de 5 a 10 kPa de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, según nuestros resultados, en el acetaldehído y etil acetato se observó la respuesta contraria.

Gorny *et al.* (1999) obtuvieron en melocotón procesado en fresco conservado a 10°C durante 8 días, 225 ppm de etanol y 14 de acetaldehído bajo 0,25 kPa O<sub>2</sub> y 5 kPa CO<sub>2</sub> y 850 ppm de etanol y 18 cuando el CO<sub>2</sub> pasaba de 5 a 10 kPa. Además, observaron la respuesta sinérgica del bajo O<sub>2</sub> y elevado CO<sub>2</sub> cosa que no observó Agar *et al.* (1999) en kiwi. Estos autores obtuvieron unos valores similares a los nuestros tras 12 días a 0°C, el acetaldehído pasó de 3 ppm a 10 mientras que el etanol de 20 ppm a 1000 ppm bajo 2 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>.

No se detectó una respuesta clara en la emisión de volátiles según el tipo de corte, pero comparando los tratamientos que favorecían la difusión de volátiles (elevadas temperaturas acompañadas de alto CO<sub>2</sub>) los cascos presentaron un mayor contenido de volátiles.

Ke *et al.* (1991) encontraron una fuerte relación entre el desarrollo de aromas extraños y el incremento de etanol y, en menor grado, etil acetato y acetaldehído. Estos autores asociaron concentraciones aproximadas de 19 ppm de acetaldehído al desarrollo de sabores y aromas extraños. En cambio, Larsen y Watkins (1995) sugirieron que el desarrollo de sabores y aromas

extraños podría ser estimado por la concentración de etil acetato, de tal forma que  $5 \mu\text{l}\cdot\text{Kg}^{-1}$  ó  $50 \mu\text{l}\cdot\text{Kg}^{-1}$  equivalen a un débil o medio desarrollo, respectivamente. No obstante, según estos autores el aroma es producido por muchos y diferentes volátiles y aunque el etil acetato es un buen indicador, éste no es el único responsable del desarrollo de aromas extraños. El olfato humano detecta unos niveles de etanol, acetaldehído y etil acetato de 30, 0,2 y  $2,6 \mu\text{l}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente (Smyth *et al.*, 1998).

Siguiendo el criterio de Larsen y Watkins, las concentraciones de etil acetato no alcanzarían a mostrar un débil aroma extraño. En este trabajo, a pesar de los elevados niveles obtenidos en etanol, no se detectaron sabores ni aromas extraños por los panelistas. Coincidimos con Gil *et al.* (1998) para quienes estos metabolitos fermentativos acumulados en rodajas de manzana (1.200 ppm de etanol y 40 ppm de acetaldehído) conservada en AC durante 15 días a  $10^{\circ}\text{C}$ , no tuvieron un efecto significativo en el desarrollo de sabores y aromas extraños, probablemente al ser enmascarados por el elevado contenido en SST (Ke *et al.*, 1991). Soliva-Fortuny *et al.* (2002) tampoco detectaron aromas extraños con la conservación en EAM de rodajas de peras con 100% de  $\text{N}_2$  durante dos meses a  $4^{\circ}\text{C}$ .

Generalmente, la tolerancia al desarrollo de aromas extraños de un producto procesado en fresco es mayor que la del producto entero (Wiley, 1997).

#### 8.3.4. Análisis microbiológico.

Como se expuso en el Capítulo 4 de melón, la temperatura es la herramienta más útil para evitar el crecimiento microbiano. A  $0^{\circ}\text{C}$ , no se detectó crecimiento microbiano ( $<2 \log \text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$ ), en ningún tratamiento, incluyendo al testigo (Tabla 8.10). En cambio, a  $5^{\circ}\text{C}$  los recuentos microbianos oscilaron entre las 5 y  $6 \log \text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$ . Este importante efecto en reducir el crecimiento microbiano, extendiendo la vida útil, se observó en el Capítulo 4 de melón (Sección 4.3.4.) y por los autores mencionados en ese Capítulo, Cacace *et al.* (2002), Barry-Ryan (2000), Bolin *et al.* (1977), Cantwell y Suslow (2002), Gorny *et al.* (1998), Jacxsens *et al.* (2002), Kader *et al.* (1989) y Shewfelt (1986).

No se apreció una respuesta consistente dependiendo del tipo de corte. El efecto de las AC en reducir estos recuentos no fue importante. Ambas AC, evitan el crecimiento fúngico frente al testigo pero no frenan el desarrollo de bacterias y levaduras. No obstante, 4 kPa de  $\text{O}_2$  + 10 kPa  $\text{CO}_2$ , disminuyeron en una unidad log los aerobios totales y en media unidad log el crecimiento de levaduras frente al testigo. Coincidiendo con Rosenfeld *et al.* (1999), la temperatura de conservación fue más importante que la atmósfera generada.

En esta ocasión, las atmósferas enriquecidas en CO<sub>2</sub> combinadas con bajos niveles de O<sub>2</sub> no redujeron de forma importante el crecimiento microbiano, como se observó, en el melón (Capítulo 2, Sección 3.3.) o reportaron investigadores como Carlin y Nguyen-the (1994), Berrang *et al.* (1990), Babic y Watada (1996), Izumi *et al.* (1996), Portela *et al.*, (1997), Qi *et al.* (1999) y Rattanapanone *et al.* (2001). Probablemente, fue debido a un debilitamiento general de la pared celular haciéndose menos resistente y más accesible a microorganismos y enzimas sintetizados por éstos. Este debilitamiento pudo ser causado por la senescencia debido a una prolongada conservación, elección de una variedad poco compacta y en un estado de madurez avanzado, acelerado por el procesado.

**Tabla 8.10.** Recuentos microbiológicos (log ufc·g<sup>-1</sup>) en rodajas y cascos de tomate “Calibra” conservados en AC tras 14 días a 0 y 5°C.

	Inicial	Día 14			
		Rodajas		Cascos	
		0°C	5°C	0°C	5°C
<b>AEROBIOS TOTALES</b>					
<b>Inicial</b>	< 1,0				
<b>Testigo</b>		< 2,0	6,3 ± 0,3	< 2,0	6,1 ± 0,2
<b>4 kPaO<sub>2</sub> + 5 kPaCO<sub>2</sub></b>		< 2,0	5,3 ± 0,4	< 2,0	6,3 ± 0,3
<b>4 kPaO<sub>2</sub> + 10 kPaCO<sub>2</sub></b>		< 2,0	4,7 ± 0,3	< 2,0	5,1 ± 0,3
<b>LEVADURAS</b>					
<b>Inicial</b>	< 1,7				
<b>Testigo</b>		< 2,0	6,1 ± 0,3	< 2,0	5,6 ± 0,1
<b>4 kPaO<sub>2</sub> + 5 kPaCO<sub>2</sub></b>		< 2,0	6,0 ± 0,1	< 2,0	4,8 ± 0,1
<b>4 kPaO<sub>2</sub> + 10 kPaCO<sub>2</sub></b>		< 2,0	5,1 ± 0,3	< 2,0	5,1 ± 0,1
<b>MOHOS</b>					
<b>Inicial</b>	< 1,7				
<b>Testigo</b>		< 2,0	3,2 ± 0,1	< 2,0	3,8 ± 0,1
<b>4 kPaO<sub>2</sub> + 5 kPaCO<sub>2</sub></b>		< 2,0	<3,0	< 2,0	<3,0
<b>4 kPaO<sub>2</sub> + 10 kPaCO<sub>2</sub></b>		< 2,0	<3,0	< 2,0	<3,0

<sup>z</sup> Media (n = 5) ± error estándar.

Según la legislación española, se sobrepasaron los límites establecidos para el crecimiento en levaduras (5 unidades log) tanto en el aire como en las AC a 5°C. Por tanto, no es

posible obtener una vida útil de 14 días en tomate procesado en fresco conservado a 5°C con o sin AC. Probablemente, de acuerdo a Gorny *et al.* (1999) las AC, a pesar de que redujeron la producción de etileno, no fueron capaces de parar completamente la senescencia y el deterioro del tejido porque la maduración ya había sido inducida.

Sin embargo, es posible una vida comercial desde el punto de vista microbiológico, de dos semanas tanto en aire como en AC a 0°C.

#### 8.4. CONCLUSIONES.

El procesado del tomate se tradujo en un suave incremento en el CO<sub>2</sub> consecuencia del estrés del corte con respecto al fruto entero. Superado el estrés de la herida, no se observaron diferencias entre procesados y entero, salvo a 5°C donde los últimos días de conservación experimentan un ligero incremento en CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> como respuesta al crecimiento microbiano. La conservación en AC redujo de forma significativa la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, en especial, en el tomate procesado, a 5°C y durante los últimos días de conservación.

La conservación a 0°C redujo la duración e intensidad del estrés del corte en rodajas y cascós y la actividad metabólica tanto del tomate entero como procesado, las pérdidas de peso, el volumen exudado y la emisión de volátiles. Además, mejoró la apariencia e inhibió el crecimiento microbiano. Fue necesaria la utilización de AC combinadas con esta temperatura para obtener un óptimo sabor y aroma, textura y calidad global. No obstante, esta temperatura, en el testigo, provocó un leve daño por frío, no rechazable, expresado por el incremento en los °H y el desarrollo de una ligera translucencia.

A 5°C, se obtuvo una mayor tasa metabólica, con un incremento en la duración e intensidad del estrés del corte. Se acentuó el volumen de exudación. No se logró inhibir el crecimiento microbiano ni frenar la pérdida de flavor. No obstante, con la combinación de AC se consigue una buena apariencia y textura (rodajas), así como se frenan las pérdidas de peso.

Las AC además de prevenir los efectos citados en cada temperatura, reducen el consumo de glucosa pero incrementan la concentración de volátiles, en especial a 5°C y con 4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>. Esta atmósfera produjo un daño por CO<sub>2</sub> en la matriz del tomate mostrando un enrojecimiento excesivo.

El tipo de corte afectó principalmente a la apariencia; en esta variedad de pulpa poco consistente, los panelistas señalaron las rodajas como un corte más compacto frente a los cascós. No obstante, las rodajas, cuya área de exposición era doble frente a los cascós, presentaron una mayor zona dañada, mostrando un enrojecimiento excesivo, mayores pérdidas de peso y una

ligera reducción en el contenido de glucosa. Probablemente, el estado de madurez de esta variedad era demasiado avanzado, requiriéndose un estado algo más inmaduro para el procesado.

Finalmente, podemos concluir que es posible alcanzar una vida útil de 14 días, tanto en rodajas como cascotes empleando AC (4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub>) combinadas con 0°C donde se reduce tanto el daño ocasionado por el frío (incremento en °H) como por alto CO<sub>2</sub>.

Se ha comprobado en este ensayo que el tomate procesado toleró concentraciones de 5 kPa de CO<sub>2</sub> como se recomienda para el tomate entero (3-5 kPa), pero se desaconseja utilizar concentraciones mayores.

## **Capítulo 9. ESTUDIO DE LA ELECCIÓN DEL TIPO DE PLÁSTICO IDÓNEO Y LA INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN GASEOSA EN LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE TOMATE PROCESADO EN FRESCO A 0 Y 5°C**

### **9. 1. INTRODUCCIÓN**

En el Capítulo anterior se comprobó que atmósferas de alto CO<sub>2</sub> producían en tomate de larga duración procesados en fresco daño por exceso de CO<sub>2</sub>, en cambio, fue adecuada la compuesta por 4 kPa O<sub>2</sub> y 5 kPa CO<sub>2</sub>, similar a las recomendaciones por Gorny (1997; 2001b) y Kader (1980; 2002).

En ese mismo ensayo, se detectó un ligero daño por frío, mostrando translucencia, cuando la conservación era a 0°C. Para prevenir estos daños, Gil *et al.* (2002) aconsejan la utilización de 5°C combinado con un EAM activa (inicial 12 kPa O<sub>2</sub> y 0 kPa CO<sub>2</sub> alcanzando 2 kPa de O<sub>2</sub> y 20 kPa CO<sub>2</sub> en el equilibrio) utilizando un film de baja permeabilidad, extendiendo la vida útil a 10 días y asegurando una buena calidad. Así mismo, Artés *et al.* (1999) mantuvieron la calidad sensorial en rodajas de “Durinta” durante 10 días a 2°C pero sólo si se combinaba con el EAM activa (7,5-5 kPa O<sub>2</sub> y 0-5 kPa CO<sub>2</sub>) o pasiva (15 kPa O<sub>2</sub> y 5 kPa CO<sub>2</sub>).

Hong y Gross (2001) probaron 6 mezclas activas a 5°C (1 ó 20 kPa O<sub>2</sub> con 4, 8 ó 12 kPa CO<sub>2</sub>). Con 1 kPa O<sub>2</sub> y 12 kPa CO<sub>2</sub>, cuyas condiciones de equilibrio fueron de 5 kPa O<sub>2</sub> y 6 kPa CO<sub>2</sub>, consiguieron óptimos resultados y una vida útil de 2 semanas. Como vemos las concentraciones alcanzadas por los distintos autores en EAM son variadas y todas ellas aportan algún beneficio frente al testigo. Además, según estos autores, el aumento de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en las barquetas conlleva una reducción del daño por frío.

El objetivo del presente trabajo se centró en seleccionar un plástico que permita alcanzar unas concentraciones similares a la óptima encontrada en el Capítulo anterior (4-5 kPa O<sub>2</sub> y 4-5 kPa CO<sub>2</sub>). Además, para cerciorarnos de los resultados anteriores, se estudian dos tipos de corte, rodajas y cascos, y se evalúa la vida útil desde el punto de vista sensorial y microbiológica a 0 y 5°C. La duración estimada del ensayo fue de 14 días con una salida intermedia ya que en AC a 5°C no se logró alcanzar esa vida útil tan prolongada.

### **9.2. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **9.2.1. Material vegetal.**

El material vegetal estuvo compuesto por tomates de la variedad “Calibra”, cultivados en invernaderos de Mazarrón (Murcia) y recolectados en marzo, en un estado 8-9 según la carta de colores “Kleur-stadia” (Holanda). Los frutos se seleccionaron por su tamaño, descartándose

aquellos que presentaban lesiones por golpes y/o rozaduras o alteraciones. De la selección se tomó al azar una muestra de 20 tomates a los que se determinó el peso, los diámetros ecuatorial y polar y el color en la epidermis (Tabla 9.1).

**Tabla 9.1.** Caracterización inicial (peso, calibres y color de epidermis) de tomate “Calibra”.

Peso (g)	Diámetro ecuatorial	Diámetro polar	Color epidermis
	(cm)	(cm)	°H
113,9 <sup>z</sup> ± 1,4	6,4 ± 0,1	5,7 ± 0,1	74,80 ± 0,5

<sup>z</sup>Media (n = 20) ± error estándar.

### 9.2.2.2. Envasado en atmósfera modificada.

#### 9.2.2.2.1. Diseño del envase.

Actualmente, el tomate procesado en fresco no se presenta como un producto de venta directa al consumidor. Normalmente, se destina a la venta de catering y restaurantes de comida rápida, especialmente en EEUU.

El diseño que proponemos a continuación difiere del mencionado pero constituye un módulo, es decir, guarda la misma relación peso/área plástica, que el utilizado a gran escala por las empresas dedicadas a los productos procesados en fresco.

Como en el caso del melón, optamos por envasar en una barqueta rígida o semirígida, en lugar de emplear bolsas, dado que aquellas ofrecen una mejor protección al procesado. Además, este producto es muy sensible, al presentar una matriz semisólida poco consistente.

El sistema modular guardará una relación de 1, es decir, 100 g de producto con una superficie de intercambio de 100 cm<sup>2</sup>. Concretamente envasaremos 200 g de tomate en una tarrina cuyas dimensiones son de 17,5 x 12 cm (210 cm<sup>2</sup>). Para intentar conseguir la atmósfera deseada de forma rápida, se seleccionó la tarrina de menor volumen (0,7 L), para mantener una relación entre volumen total y volumen libre de 1 a 3. Además, para conseguir las atmósferas recomendadas (4-5 kPa O<sub>2</sub> + 4-5 kPa CO<sub>2</sub>) se realizará un envasado activo con el plástico seleccionado.

A continuación cuantificamos las incógnitas necesarias en la ecuación básica para obtener la permeabilidad idónea del plástico.

$$J_{O_2 \text{ ó } CO_2 \text{ membrana}} = J_{O_2 \text{ ó } CO_2 \text{ fruto}} \Rightarrow P_{O_2 \text{ ó } CO_2} \cdot A \cdot (p_1 - p_2) = R_{O_2 \text{ ó } CO_2} \cdot W$$

$$A = 0,021 \text{ m}^2$$

TR a 0°C = 1,5 mL CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup> en rodajas y cascos (promedio de la obtenida en el Capítulo anterior bajo aire). No se dispone de la misma en las concentraciones recomendadas ni tampoco por referencias bibliográficas. Es de esperar, que esa atmósfera reduzca algo la respiración, pero dada la baja temperatura la reducción será muy pequeña y no la tendremos en cuenta.

TR a 5°C = 3,5 mL CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup> en rodajas y cascos (promedio de la obtenida en el Capítulo anterior bajo aire). No se dispone de la misma en las concentraciones recomendadas ni tampoco por referencias bibliográficas. Es de esperar, que esa atmósfera reduzca la respiración al menos en un 25%. Consideraremos una TR a 5°C = 2,6 mL CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>.

$$W = 0,2 \text{ Kg}$$

$$p_1 \text{CO}_2 = 0,04 \text{ ó } 0,05 \text{ atm} = 0,04 \text{ ó } 0,05 \text{ kPa CO}_2.$$

$$p_2 \text{CO}_2 = 0,0003 \approx 0$$

$$p_1 \text{O}_2 = 0,04 \text{ ó } 0,05 \text{ atm} = 0,04 \text{ ó } 0,05 \text{ kPa O}_2.$$

$$p_2 \text{O}_2 = 0,21 \text{ atm}.$$

Con los datos mencionados y despejando P en la ecuación 1, pasamos a calcular la permeabilidad del plástico al CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

#### Permeabilidad mínima al CO<sub>2</sub>.

◆ Permeabilidad a 0°C ⇒ TR CO<sub>2</sub> = 1,5 mL CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>.

$$p_1 \text{CO}_2 = 0,05 \text{ atm}$$

$$P_{\text{CO}_2} = R_{\text{CO}_2} \cdot W \cdot A^{-1} \cdot (p_1 - p_2)^{-1} \Rightarrow \text{Sustituyendo y expresándolo en día.}$$

$$P_{\text{CO}_2} = 24 \text{ h} \cdot \text{día}^{-1} \cdot 1,5 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,2 \text{ Kg} \cdot 0,021 \text{ m}^2 \cdot (0,05 - 0) \text{ atm}^{-1}$$

$$P_{\text{CO}_2} = 6.857 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^2 \text{ atm}^{-1} \text{ a } 0^\circ\text{C}.$$

◆ Permeabilidad a 5°C ⇒ TR CO<sub>2</sub> = 2,6 mL CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>.

$$p_1 \text{CO}_2 = 0,04 \text{ atm}$$

$$P_{\text{CO}_2} = 24 \text{ h} \cdot \text{día}^{-1} \cdot 2,6 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,2 \text{ Kg} \cdot 0,021 \text{ m}^2 \cdot (0,04 - 0) \text{ atm}^{-1}$$

$$P_{\text{CO}_2} = 14.857 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^2 \text{ atm}^{-1} \text{ a } 5^\circ\text{C}.$$

Para un rango de temperaturas de 0-5°C  $\Rightarrow P_{CO_2} = 6.857-14.857 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$

De la misma forma, pasamos a calcular la permeabilidad del plástico al O<sub>2</sub>. Dado que no disponemos de la TR en función de absorción de O<sub>2</sub>, asumimos que es igual a la TR en función del CO<sub>2</sub>, es decir, un QR igual a la unidad. Este cociente será uno, si suponemos que los sustratos metabólicos son carbohidratos.

### Permeabilidad al O<sub>2</sub>.

◆ Permeabilidad a 0°C  $\Rightarrow TR_{CO_2} = 1,5 \text{ mL O}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

$$p_{1O_2} = 0,04 \text{ atm}$$

$$P_{O_2} = R_{O_2} \cdot W \cdot A^{-1} \cdot (p_2 - p_1)^{-1} \Rightarrow \text{Sustituyendo y expresándolo en día.}$$

$$P_{O_2} = 24 \text{ h} \cdot \text{día}^{-1} \cdot 1,5 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,2 \text{ Kg} \cdot 0,021 \text{ m}^{-2} \cdot (0,21 - 0,04) \text{ atm}^{-1}$$

$$P_{O_2} = 2.017 \text{ mL O}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$$

◆ Permeabilidad a 5°C  $\Rightarrow TR_{O_2} = 2,6 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

$$p_{1O_2} = 0,05 \text{ atm}$$

$$P_{O_2} = 24 \text{ h} \cdot \text{día}^{-1} \cdot 2,6 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,2 \text{ Kg} \cdot 0,021 \text{ m}^{-2} \cdot (0,21 - 0,05) \text{ atm}^{-1}$$

$$P_{O_2} = 3.714 \text{ mL O}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$$

Para un rango de temperaturas de 0-5°C  $\Rightarrow P_{O_2} = 2.017-3.714 \text{ mL O}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$

El plástico que seleccionemos debe poseer como máximo una  $P_{CO_2} = 6.857-14.857 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$  y una  $P_{O_2} = 2.017-3.714 \text{ mL O}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$ . El coeficiente de selectividad  $\beta$  (CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>) debe oscilar entre 3,3 y 4. Como se puede intuir, conseguir la atmósfera recomendada es muy difícil, dado que normalmente el incremento en CO<sub>2</sub> suele ir acompañado de una disminución en el O<sub>2</sub> y el tomate requiere bajo O<sub>2</sub> y relativamente bajo CO<sub>2</sub>, por ser sensible al daño por CO<sub>2</sub>. Por ello, el tomate procesado en fresco requiere películas plásticas con una selectividad relativamente alta, esto implica que el nivel de CO<sub>2</sub> que puede alcanzarse en el interior del envase está limitado por la concentración de O<sub>2</sub>. De esta forma se permite que se deje salir más CO<sub>2</sub> que entrar O<sub>2</sub> (Kader *et al.*, 1989; Zagory y Kader, 1988).

En la Tabla 10 del apartado 6.2.2.3. de la Introducción general se expone las distintas permeabilidades a 0°C de los plásticos más utilizados en el EAM. Considerando los datos de permeabilidad a ambos gases, así como la selectividad, el polipropileno es uno de los que presentará un comportamiento próximo al deseado para tomate procesado en fresco, conservado a 0 y 5°C. Según esta Tabla 9, el polipropileno tiene una  $P_{CO_2} = 7.920 - 12.000 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$  y  $P_{O_2} = 1.931 - 1.904 \text{ mL O}_2 \cdot \text{día}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$  y un  $\beta = 4,1 - 6,3$ . De entre la amplia gama de PP optaremos por el PPO dado que es más barato y presenta un comportamiento similar al PPB como se describió en el Capítulo 3 de melón.

### 9.2.2. Envasado.

En una cámara frigorífica higienizada y mantenida a 10°C, se formaron lotes homogéneos al azar de tomates enteros que se sumergieron durante 1 minuto en agua clorada a 5°C (100 mg·L<sup>-1</sup> de NaOCl, pH = 7,5). Posteriormente, se secaron con papel absorbente y se colocaron en bandejas limpias. Una vez despedunculados, se procesaron en rodajas y cascos como se mencionó en Materiales y Métodos (Sección 1.2.).

Unos 185-200 g de rodajas o cascos de tomate se envasaron en cestas de PP de 0,75 L de capacidad (CLTP750E 800, Plásticos de Alzira S.A., Valencia, España). Las cestas se termosellaron (Barket, Befor Model, Chassieu, France) en su perímetro superior con PPO de 35 µm de espesor (Plásticos del Segura, S.L., Murcia) con tratamiento antivaho ya que según el apartado 2.2.2.1. de diseño, es suficiente para lograr concentraciones de bajo CO<sub>2</sub> y bajo O<sub>2</sub>. La superficie de intercambio gaseoso de la cesta, fue de 17,5 x 12 cm. Con el objetivo de alcanzar unas rápidas AM en el interior de las barquetas se optó por el EAM activa, reemplazando la atmósfera inicial de aire por una mezcla deseada de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>.

Los tratamientos y mezclas obtenidas quedaron como se expone a continuación:

- 6) Testigo, PP macroperforado, con 9 perforaciones realizadas con una aguja de 22 G ( $\cong 0,7$  mm diámetro).
- 7) EAM pasiva al que denominaremos EAM.
- 8) EAM activa de bajo O<sub>2</sub>, con barrido de N<sub>2</sub>. La mezcla inicial fue de 3 kPa O<sub>2</sub> y resto de N<sub>2</sub>. Lo llamaremos EAM-N<sub>2</sub>.
- 9) EAM activa de bajo O<sub>2</sub> y bajo CO<sub>2</sub> donde la mezcla inicial fue de 3 kPa O<sub>2</sub> y 4 kPa CO<sub>2</sub>, resto de N<sub>2</sub>. Lo denominaremos EAM-N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>.

Se prepararon 5 repeticiones por tratamiento gaseoso, temperatura, tipo de corte y salida. Todas ellas, se conservaron a 0°C y 5°C durante 14 días.

### 9.2.3. Determinaciones.

Para evaluar la eficacia de los tratamientos se realizaron las siguientes determinaciones:

- Evaluación sensorial (apariencia, sabor y aroma, textura y calidad global). Para la valoración de la apariencia y calidad global se utilizó una escala hedónica de 9 puntos. Para el sabor, aroma y la textura, se utilizó una escala de 5 puntos.
- Volumen de exudación y pérdidas de peso
- Análisis microbiológico

En el zumo obtenido a partir del tomate procesado, además, se evaluaron:

- Color (°H), SST, AT y pH.

En todas las determinaciones se evaluaron 5 réplicas por tratamiento. Se realizaron tres determinaciones, inicial y días 7 y 14.

En el presente trabajo disponemos de 4 factores, tiempo, temperatura, tipo de corte y atmósfera. Para no complicar el estudio estadístico se optó por seleccionar dos factores. Como se ha comprobado en los Capítulos de melón y el Capítulo anterior, el tiempo es un factor que influye en la mayoría de los parámetros. La temperatura también suele ser un factor muy significativo. Por ello, se decidió realizar el diseño estadístico aislando el tipo de corte y tipo de EAM para cada tiempo de conservación y temperatura, con el objetivo de observar la influencia de estos factores en los parámetros estudiados.

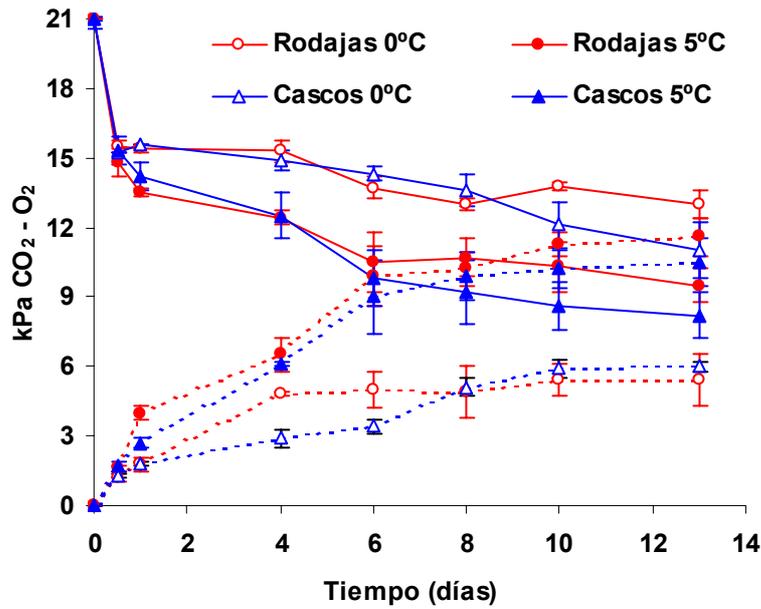
Se realizó un ANDEVA bifactorial y cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos se utilizó la prueba LSD.

## 9.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 9.3.1. Composición gaseosa.

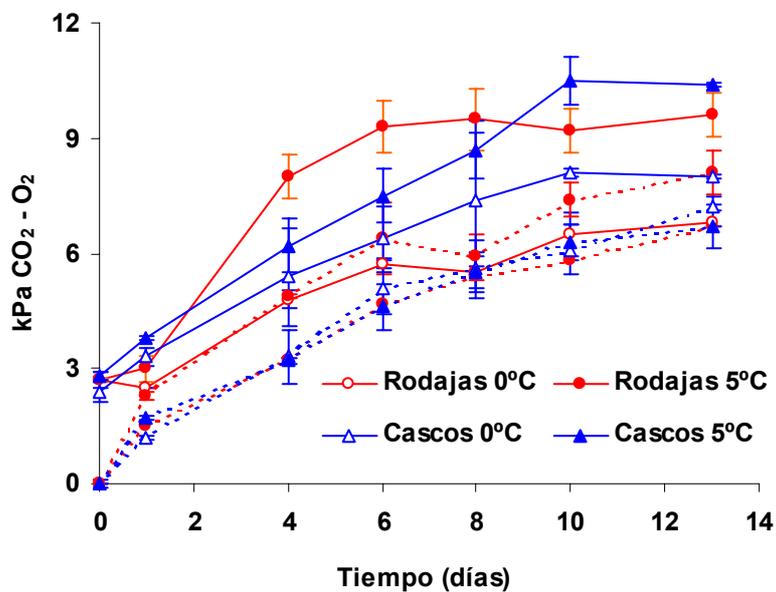
#### 9.3.1.1. Evolución de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

En EAM pasiva, los niveles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> a 0°C fueron 11-13 kPa y 5,5-6 kPa, respectivamente. A 5°C las concentraciones fueron 8-9,5 kPa O<sub>2</sub> y entre 10,5 y 11,5 kPa CO<sub>2</sub> (Figura 9.1). A 0°C, el equilibrio se alcanzó entre los días 6 y 8, mientras que a 5°C se estabilizó a finales de la conservación. En general, los distintos cortes no manifestaron diferencias en la composición gaseosa de sus tarrinas. La temperatura desempeñó un importante efecto, a 5°C se observó casi una doble concentración de CO<sub>2</sub> respecto a 0°C y también una reducción en los kPa de O<sub>2</sub>. Este fenómeno refleja la mayor tasa respiratoria del tomate procesado a 5°C frente a 0°C como se comentó en el Capítulo anterior.



**Figura 9.1.** Evolución gaseosa según el tipo de corte y temperatura de conservación de tomate “Calibra” EAM pasiva durante 14 días a 0 ó 5°C. Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar. Líneas sólidas = kPa O<sub>2</sub>, líneas fragmentadas = kPa CO<sub>2</sub>.

Después del barrido con N<sub>2</sub> realizado en el EAM-N<sub>2</sub>, se observó un continuo y paulatino incremento de O<sub>2</sub>, acompañado del aumento en CO<sub>2</sub> (Figura 9.2).

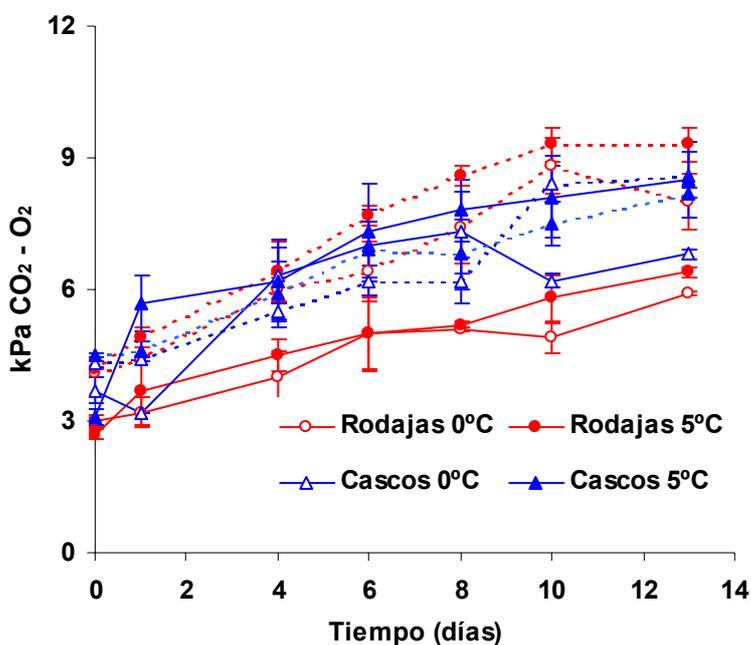


**Figura 9.2.** Evolución gaseosa según el tipo de corte y temperatura de conservación de tomate “Calibra” EAM activa (EAM-N<sub>2</sub>) durante 14 días a 0 ó 5°C. Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar. Líneas sólidas = kPa O<sub>2</sub>, líneas fragmentadas = kPa CO<sub>2</sub>.

A 0°C, se detectaron unas concentraciones más bajas de O<sub>2</sub> en las rodajas (6,8 kPa) que en los cascós (8 kPa) aunque los niveles de CO<sub>2</sub> fueron similares (6,8-7,2 kPa). De la misma forma, a 5°C se observaron similares concentraciones de O<sub>2</sub> en ambos tipos de corte (9,5-10,5 kPa) pero las barquetas con rodajas presentaron una mayor concentración de CO<sub>2</sub>, 8,1 frente a 6,7 kPa.

Tras la conservación, las atmósferas en EAM-N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> fueron entre 6 y 6,8 kPa O<sub>2</sub> y 7-8 kPa CO<sub>2</sub> a 0°C ó 6,4-8,5 kPa O<sub>2</sub> y 8,6-9,3 kPa CO<sub>2</sub> a 5°C. Como se observa en la Figura 9.3, y como sucedió en el EAM-N<sub>2</sub>, la concentración activa inicial de O<sub>2</sub> (3 kPa) aumentó de forma paulatina aunque en menor cantidad que el EAM-N<sub>2</sub>, probablemente porque al ir este envasado (EAM-N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>) acompañado de 4 kPa de CO<sub>2</sub>, la actividad metabólica se ralentiza, demandándose un menor gradiente de O<sub>2</sub> desde el exterior al interior del envase. Además, en este tratamiento, el CO<sub>2</sub> aumentó ligeramente aunque fue inferior al observado en el EAM-N<sub>2</sub>, dado que en aquel partimos de 4 kPa CO<sub>2</sub>.

El EAM-N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> también conllevó a ligeras diferencias en las concentraciones gaseosas según el tipo de corte.



**Figura 9.3.** Evolución gaseosa según el tipo de corte y temperatura de conservación de tomate “Calibra” EAM activa (EAM-N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>). Media (n = 5) ± error estándar. Líneas continuas = kPa O<sub>2</sub>, líneas fragmentadas = kPa CO<sub>2</sub>.

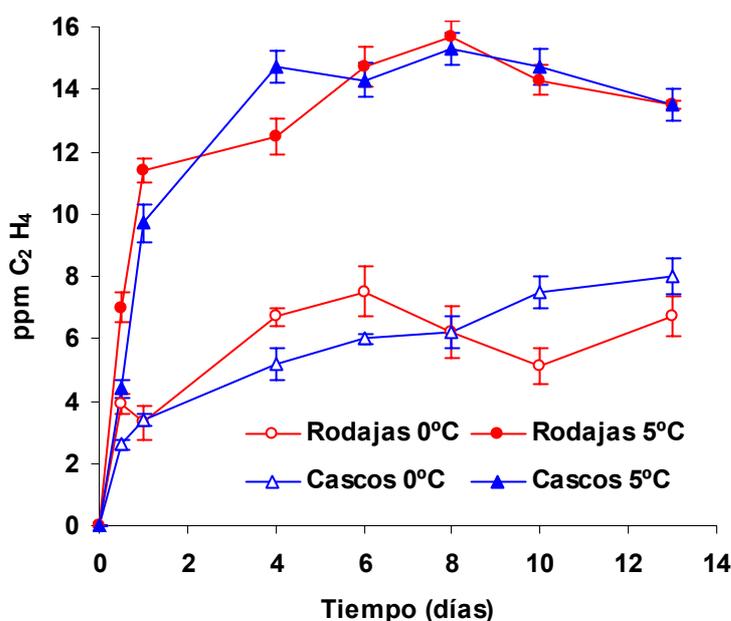
Las diferencias entre ambas temperaturas, observadas en la concentración gaseosa con el EAM pasiva fueron mucho menores que con el EAM activa, señalando que estas atmósferas iniciales reducen la actividad metabólica. No obstante, el total equilibrio gaseoso no logró alcanzarse con este tipo de envasado, lo cual puede revelar la presencia de microperforaciones dado que es complicado realizar un envasado activo en tarrinas y de forma manual. Probablemente, por ello, observemos diferencias entre los tipos de corte cuando en el EAM pasiva no reveló estas diferencias.

Las concentraciones más próximas a las recomendadas de 4-5 kPa O<sub>2</sub> y 4-5 kPa CO<sub>2</sub>, se alcanzarían con el EAM-N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> a 0°C. Con una mezcla similar, (5 kPa de O<sub>2</sub> y 6 kPa de CO<sub>2</sub>) Hong y Gross (2001) también consiguieron una óptima calidad en rodajas de tomate a 5°C.

Como hemos observado, en especial en el EAM pasiva, la temperatura varía la permeabilidad y tasa respiratoria del producto envasado, por ello, un plástico que inicialmente produce una favorable atmósfera a una temperatura óptima de conservación puede causar una acumulación excesiva de CO<sub>2</sub> y/o consumo de O<sub>2</sub> a mayores temperaturas de la recomendada, situación que podría desembocar en desórdenes metabólicos (Beaundry *et al.*, 1993; Cameron *et al.*, 1995; Exama *et al.*, 1993).

### 9.3.1.2. Evolución de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>

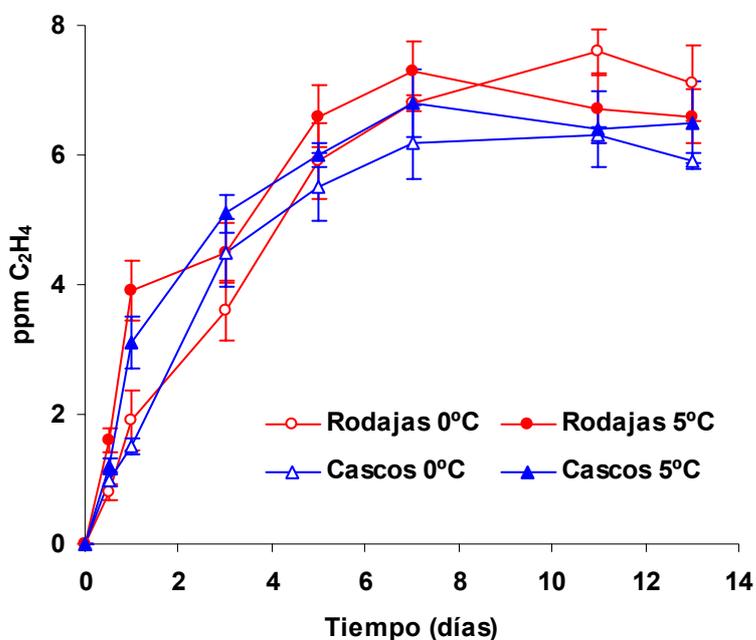
La concentración de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> fue mayor en el EAM pasiva frente al activo (Figuras 9.4 a 9.6).



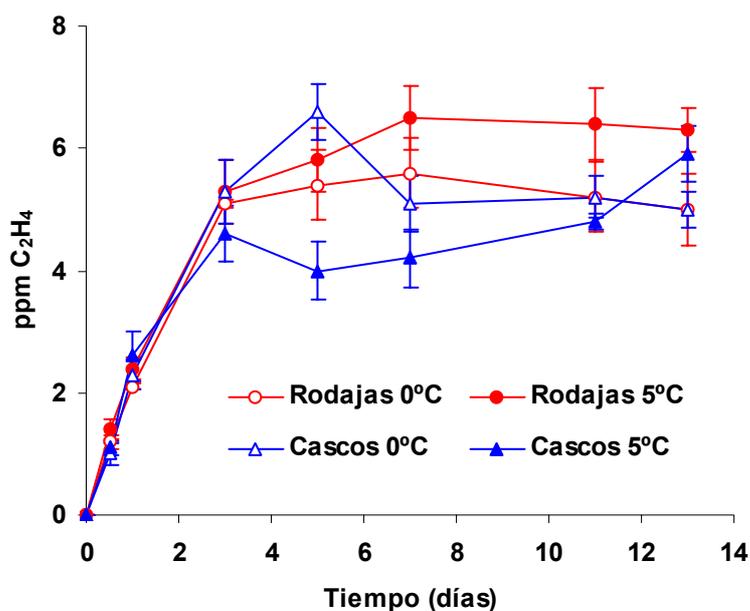
**Figura 9.4.** Concentración de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> según el tipo de corte y temperatura de conservación de tomate “Calibra” EAM pasiva. Media (n = 5) ± error estándar.

A 5°C, se determinaron 14 ppm de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> mientras que en EAM activa éstas llegaron a la mitad. En ningún tratamiento se observó diferencias entre los cortes. El efecto de la temperatura fue especialmente significativo en el EAM pasiva, donde a 0°C las concentraciones de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> fueron similares a las del EAM activa, señalando que bajo esta atmósfera activa, el metabolismo del tomate se reduce. Similares niveles de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> se detectaron en el EAM-N<sub>2</sub> (5,5-7,5 ppm) y EAM-N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> (5-6,5 ppm de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) donde, además, no se observaron diferencias en el incremento de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> con el aumento de la temperatura (Figuras 9.5 y 9.6).

Estos resultados confirman los encontrados en AC en el Capítulo anterior y los mencionados por Kim *et al.* (1999), donde la producción de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> quedó inhibida por el bajo O<sub>2</sub> y elevado CO<sub>2</sub>. Además, tras comparar el EAM pasiva con el EAM activa, hemos comprobado de acuerdo con Mencarelli y Saltveit (1988) que la biosíntesis de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en rodajas de etileno se redujo en mayor grado con bajos niveles de O<sub>2</sub> que por elevados niveles de CO<sub>2</sub>, tal y como se comprobó en el Capítulo anterior donde la relación entre aire/AC fue mucho mayor que entre las AC (4 kPa O<sub>2</sub> + 5 ó 10 kPa CO<sub>2</sub>). Esto mismo fue observado por Hong y Gross (2001) quienes encontraron menos niveles de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en barquetas cuya concentración inicial de O<sub>2</sub> fue de 1 kPa que en aquellos con concentración de 20 kPa O<sub>2</sub> + 4 kPa CO<sub>2</sub>. Desde el punto de vista de reducir la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, tuvo el mismo efecto un EAM activa que un EAM pasiva a 0°C. El efecto de la temperatura se inhibió en los EAM activas.



**Figura 9.5.** Concentración de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> según el tipo de corte y temperatura de conservación de tomate “Calibra” EAM activa (EAM-N<sub>2</sub>). Media (n = 5) ± error estándar.



**Figura 9.6.** Concentración de  $C_2H_4$  según el tipo de corte y temperatura de conservación de tomate “Calibra” EAM activa (EAM- $N_2+CO_2$ ). Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar.

### 9.3.3. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos.

#### 9.3.3.1. Evaluación sensorial.

Los valores sensoriales iniciales para ambos tipos de corte fueron de 4,3; 4 y 5 para el sabor, aroma y textura, respectivamente. Sin embargo, debido a la influencia del corte en la apariencia, las rodajas fueron calificadas con un 7,5 frente a 7 de los cascos, con una calidad global similar.

Como sucedió en el Capítulo anterior, y al tratarse de la misma variedad, en la evaluación inicial, los panelistas prefirieron las rodajas frente a los cascos por mantener la placenta más unida al pericarpio. Esta desigualdad en la apariencia y CG se mantuvo tras 7 días a  $0^\circ C$ ). En esta fecha, el tipo de EAM influyó en el sabor donde el EAM pasiva y el EAM- $N_2$  lograron una mejor sensación sávida frente al testigo. El tipo de EAM y corte no tuvieron ninguna influencia en el aroma y la textura (Tabla 9.2).

Después de 7 días de almacenamiento a  $5^\circ C$ , se observó que los cascos mostraban una significativa reducción en la apariencia pero sólo al envasarse en aire (testigo). En esta ocasión, el EAM activa compensó las diferencias entre los tipos de corte debido a una reducción en la apariencia a  $5^\circ C$  que no se observó a  $0^\circ C$ . Como se puede observar en la Tabla 9.3, el EAM activo logró una mejor textura y CG frente al testigo. El EAM pasivo mostró un comportamiento intermedio.

**Tabla 9.2.** Influencia del tipo de corte y EAM en los parámetros sensoriales de tomate “Calibra” en el día 7 a 0°C.

Tipo EAM	Corte	Apariencia	Sabor	Aroma	Textura	CG
		(1 – 9)	(1 – 5)	(1 – 5)	(1 – 5)	(1 – 9)
<b>Testigo</b>	<b>Rodajas</b>	8,0 <sup>z</sup>	3,2	3,3	3,5	6,0
	<b>Cascos</b>	6,3	3,2	3,5	3,3	5,2
<b>EAM</b>	<b>Rodajas</b>	8,3	4,0	3,5	4,0	6,3
	<b>Cascos</b>	6,5	4,2	3,7	3,7	5,7
<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	<b>Rodajas</b>	7,7	3,7	3,3	4,0	6,5
	<b>Cascos</b>	6,8	3,8	3,8	3,7	6,2
<b>EAM- N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub></b>	<b>Rodajas</b>	7,3	3,7	3,7	3,0	6,5
	<b>Cascos</b>	6,7	3,3	3,5	3,0	5,7
<b>EAM</b>		NS	(0,5) <sup>a</sup>	NS	NS	NS
<b>Corte</b>		(1,2) <sup>c</sup>	NS	NS	NS	(0,6) <sup>b</sup>
<b>EAM x Corte</b>		NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica (1 a 9) para apariencia y CG. Escala hedónica (1 a 5) para sabor, aroma y textura. CG: calidad global.

**Tabla 9.3.** Influencia del tipo de corte y EAM en los parámetros sensoriales de tomate “Calibra” en el día 7 a 5°C.

Tipo EAM	Corte	Apariencia	Sabor	Aroma	Textura	CG
		(1 – 9)	(1 – 5)	(1 – 5)	(1 – 5)	(1 – 9)
<b>Testigo</b>	<b>Rodajas</b>	6,3 <sup>z</sup>	3,3	3,3	3,3	5,3
	<b>Cascos</b>	5,0	3,0	3,0	3,0	5,0
<b>EAM</b>	<b>Rodajas</b>	6,3	3,7	3,3	3,7	5,7
	<b>Cascos</b>	5,7	3,5	3,0	3,2	5,3
<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	<b>Rodajas</b>	6,5	3,2	3,3	4,0	5,8
	<b>Cascos</b>	6,7	3,8	3,5	3,7	6,2
<b>EAM- N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub></b>	<b>Rodajas</b>	5,8	3,3	3,3	3,7	5,5
	<b>Cascos</b>	6,5	3,0	3,7	3,7	6,2
<b>EAM</b>		NS	NS	NS	(0,5) <sup>a</sup>	(0,6) <sup>a</sup>
<b>Corte</b>		NS	NS	NS	NS	NS
<b>EAM x Corte</b>		(1,0) <sup>a</sup>	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica (1 a 9) para apariencia y CG. Escala hedónica (1 a 5) para sabor, aroma y textura. CG: calidad global.

Al comparar las Tablas 9.2 y 9.4, se observa que cuando pasa de 7 a 14 días la conservación a 0°C, el efecto del tipo de envasado se convierte en un factor significativo. Un EAM pasiva o activa sin diferencias entre los mismos logró frenar el deterioro en sabor, aroma, textura y CG, frente a un testigo donde no superó el límite de comercialización (Tabla 9.4). De nuevo, la apariencia a esta temperatura estuvo influenciada por el tipo corte donde las rodajas fueron mejor calificadas.

**Tabla 9.4.** Influencia del tipo de corte y EAM en los parámetros sensoriales de tomate “Calibra” en el día 14 a 0°C.

<b>Tipo EAM</b>	<b>Corte</b>	<b>Apariencia</b> (1 – 9)	<b>Sabor</b> (1 – 5)	<b>Aroma</b> (1 – 5)	<b>Textura</b> (1 – 5)	<b>CG</b> (1 – 9)
<b>Testigo</b>	<b>Rodajas</b>	6,0 <sup>z</sup>	2,2	2,5	2,3	4,6
	<b>Cascos</b>	4,5	2,7	2,5	2,5	4,3
<b>EAM</b>	<b>Rodajas</b>	6,8	3,0	3,3	3,0	6,3
	<b>Cascos</b>	5,5	3,3	3,5	3,5	5,8
<b>EAM-N2</b>	<b>Rodajas</b>	5,5	3,0	3,3	3,2	5,8
	<b>Cascos</b>	5,5	3,7	3,7	3,5	5,2
<b>EAM- N2+CO2</b>	<b>Rodajas</b>	6,0	3,7	3,2	3,5	6,2
	<b>Cascos</b>	5,0	3,0	3,3	3,2	5,3
<b>EAM</b>		NS	(0,7) <sup>a</sup>	(0,5) <sup>a</sup>	(0,6) <sup>a</sup>	(0,9) <sup>b</sup>
<b>Corte</b>		(0,7) <sup>b</sup>	NS	NS	NS	NS
<b>EAM x Corte</b>		NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica (1 a 9) para apariencia y CG, donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. Escala hedónica (1 a 5) para sabor, aroma y textura, donde 1 = inaceptable, 3 = aceptable (límite de comercialización) y 5 = excelente. CG: calidad global.

A 5°C, con un EAM se consiguió una mejor apariencia (Tabla 9.5) y una textura por encima del límite de comercialización en las rodajas, pero no en los cascos. Gil *et al.* (2002) demostraron que la pérdida de firmeza en tomate va ligada al estado de maduración del tomate entero pero el efecto del cortado (loncheado) también causa un significativo ablandamiento (Artés *et al.*, 1999; Gorny *et al.*, 1999; Varoquaux *et al.*, 1990). Según nuestros resultados, los tipos de corte que adolecen de mantener una pulpa compacta agudizarán el ablandamiento como sucedió con los cascos.

A pesar de los beneficios del EAM activa como pasiva, el sabor y el aroma dejan de ser aceptables impidiendo alcanzar una vida útil de 14 días a 5°C. Como se observa en la Tabla 9.5, el EAM tanto pasiva como activa frenó la reducción en la CG pero bajo unas condiciones que ya no son aceptables.

Hong y Gross (2001) consiguieron una vida útil de 14 días con una mezcla de 5 kPa O<sub>2</sub> y 6 kPa CO<sub>2</sub> a 5°C. En nuestra opinión, esta prolongada vida comercial se debe a que no realizó un análisis sensorial donde probablemente encontraría un pobre sabor y aroma, como sucedió en este ensayo. Artés *et al.* (1999) mantuvieron la calidad sensorial en rodajas de “Durinta” durante 10 días a 2°C cuando se combinaba con el EAM activa o pasiva, pero la testigo sufrió una pérdida de aroma por debajo del límite de comercialización. Curiosamente, en resultados posteriores Gil *et al.* (2002) lograron mantener estos parámetros sensoriales, y en especial, el aroma, hasta el día 10 a 5°C tanto en la testigo como en el EAM activa en rodajas de tomate de la misma variedad. No obstante, la variedad “Durinta” es más aromática y con un mejor sabor. Por ello, es de gran importancia seleccionar variedades con una óptimo sabor y aroma, dado que éste posee un comportamiento muy lábil en conservación frigorífica. En ningún tratamiento estudiado se detectó sabores ni aromas extraños.

**Tabla 9.5.** Influencia del tipo de corte y EAM en los parámetros sensoriales de tomate “Calibra” en el día 14 a 5°C.

<b>Tipo EAM</b>	<b>Corte</b>	<b>Apariencia (1 – 9)</b>	<b>Sabor (1 – 5)</b>	<b>Aroma (1 – 5)</b>	<b>Textura (1 – 5)</b>	<b>CG (1 – 9)</b>
<b>Testigo</b>	<b>Rodajas</b>	4,2 <sup>z</sup>	2,0	2,8	2,0	3,3
	<b>Cascos</b>	3,3	2,5	2,3	2,0	3,8
<b>EAM</b>	<b>Rodajas</b>	5,0	2,8	3,2	3,0	4,7
	<b>Cascos</b>	4,5	2,5	2,7	2,2	4,5
<b>EAM-N2</b>	<b>Rodajas</b>	5,3	2,3	2,5	3,0	4,8
	<b>Cascos</b>	5,5	2,2	3,2	2,3	4,5
<b>EAM- N2+CO2</b>	<b>Rodajas</b>	5,0	2,3	2,8	3,0	4,8
	<b>Cascos</b>	5,3	2,2	2,0	2,2	4,5
<b>EAM</b>		(1,4) <sup>c</sup>	NS	NS	NS	(0,7) <sup>a</sup>
<b>Corte</b>		NS	NS	NS	NS	NS
<b>EAM x Corte</b>		NS	NS	NS	(0,6)	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica (1 a 9) para apariencia y CG. Escala hedónica (1 a 5) para sabor, aroma y textura. CG: calidad global.

Desde el punto de vista de la calidad sensorial, podemos concluir que durante la primera semana de conservación, todos los tratamientos, incluido la testigo, se valoraron por encima del límite de comercialización. La prolongación de la vida útil a 14 días sólo es posible a 0°C acompañada de un EAM pasivo o activo.

La reducción en el sabor y aroma impide alcanzar esa vida comercial a 5°C. No obstante, según Mencarelli y Saltveit (1988) un tomate posee una elevada calidad cuando contiene más de 0,32% AT y un 3% SST, y una relación SST y AT superior a 10, ratios inferiores conllevan a un sabor insípido. En este ensayo, valores de SST, AT y relación entre ellos, se mantienen en todos los tratamientos.

El tipo de corte influyó en la apariencia y, en especial a 0°C, mostrando las rodajas mejor apariencia. El incremento en la temperatura redujo las diferencias entre el tipo de corte.

Como era de esperar, a 0°C se obtuvo una mejor evaluación sensorial aunque el EAM activa consigue reducir estas diferencias durante la primera semana de conservación.

Según los datos iniciales de evaluación sensorial y tras 7 ó 14 días de conservación se observa que, a pesar de no haber evaluado la influencia del factor tiempo, éste tuvo gran efecto en la merma de la calidad sensorial.

Todas estas conclusiones también se cumplieron en el Capítulo anterior de tomate en AC, donde se necesitaron recurrir a éstas para conseguir un adecuado sabor y aroma, CG y textura a 0°C, mientras que a 5°C, el sabor y aroma cayó impidiendo alcanzar una vida útil de 14 días aunque éstas mejoraron la apariencia y textura (rodajas).

### **3.3.2. Color zumo, SST, AT y pH.**

Los valores iniciales obtenidos en los parámetros mencionados fueron de 73,5 °H, 5,7 °Brix, 0,47 g cítrico ·100 ml<sup>-1</sup> y un pH de 4,33, durante la primera semana y a 0°C, ninguno de estos parámetros varió como consecuencia del tipo de EAM o tipo de corte (Tabla 9.6).

Cuando la temperatura de conservación se incrementó a 5°C, se observó un incremento en la AT de las rodajas acompañado de una reducción en el pH (Tabla 9.7).

**Tabla 9.6.** Influencia del tipo de corte y EAM en el color, SST, AT y pH de tomate “Calibra” en el día 7 a 0°C.

Tipo EAM	Corte	°H	SST	AT	pH
<b>Testigo</b>	<b>Rodajas</b>	72,5 <sup>z</sup>	5,4	0,50	4,26
	<b>Cascos</b>	71,4	5,7	0,51	4,25
<b>EAM</b>	<b>Rodajas</b>	71,9	5,4	0,49	4,27
	<b>Cascos</b>	70,3	5,3	0,46	4,24
<b>EAM-N2</b>	<b>Rodajas</b>	71,0	5,3	0,51	4,25
	<b>Cascos</b>	71,5	5,6	0,45	4,22
<b>EAM- N2+CO2</b>	<b>Rodajas</b>	69,3	5,1	0,49	4,28
	<b>Cascos</b>	73,1	5,4	0,50	4,19
<b>EAM</b>		NS	NS	NS	NS
<b>Corte</b>		NS	NS	NS	NS
<b>EAM x Corte</b>		NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: sólidos solubles totales (°Brix). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

**Tabla 9.7.** Influencia del tipo de corte y EAM en el color, SST, AT y pH de tomate “Calibra” en el día 7 a 5°C.

Tipo EAM	Corte	°H	SST	AT	pH
<b>Testigo</b>	<b>Rodajas</b>	72,4 <sup>z</sup>	5,5	0,52	4,19
	<b>Cascos</b>	70,6	5,9	0,43	4,46
<b>EAM</b>	<b>Rodajas</b>	69,0	5,5	0,37	4,51
	<b>Cascos</b>	70,6	5,1	0,40	4,39
<b>EAM-N2</b>	<b>Rodajas</b>	71,5	5,9	0,55	4,31
	<b>Cascos</b>	71,1	5,0	0,41	4,34
<b>EAM- N2+CO2</b>	<b>Rodajas</b>	68,7	5,2	0,47	4,28
	<b>Cascos</b>	71,2	5,4	0,30	4,43
<b>EAM</b>		NS	NS	NS	NS
<b>Corte</b>		NS	NS	(0,06) <sup>a</sup>	(0,08) <sup>a</sup>
<b>EAM x Corte</b>		NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: sólidos solubles totales (°Brix). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

En general, los °H disminuyeron con la conservación prolongada, más importante en las rodajas que en los cascos, y en especial, cuando la conservación era a 5°C (Tabla 9.9) frente a 0°C (Tabla 9.8). Gil *et al.* (2002) también observaron un aumento en el color rojo del zumo (disminución en °H) en rodajas de “Durinta” a 5°C EAM y Artés *et al.* (1999) notaron que las rodajas a 2°C, de esta misma variedad, mantenían un color similar al inicial pero a 10°C reducían el tono en 10 °H.

**Tabla 9.8.** Influencia del tipo de corte y EAM en el color, SST, AT, pH, volumen de exudación y pérdidas de peso de tomate “Calibra” en el día 14 a 0°C.

Tipo EAM	Corte	°H	SST	AT	pH	Volumen exudación	Pérdidas de peso
<b>Testigo</b>	<b>Rodajas</b>	75,9	5,7	0,54	4,16	2,42	0,24
	<b>Cascos</b>	71,8	5,1	0,42	4,42	4,34	0,11
<b>EAM</b>	<b>Rodajas</b>	75,7	4,8	0,49	4,14	2,78	0,02
	<b>Cascos</b>	72,7	5,5	0,46	4,35	3,77	0,04
<b>EAM-N<sub>2</sub></b>	<b>Rodajas</b>	70,3	5,1	0,47	4,20	2,88	0,04
	<b>Cascos</b>	72,4	5,5	0,51	4,30	3,21	0,04
<b>EAM- N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub></b>	<b>Rodajas</b>	70,3	4,8	0,49	4,17	2,53	0,03
	<b>Cascos</b>	72,0	5,5	0,40	4,36	4,14	0,06
<b>EAM</b>		(2,2) <sup>a</sup>	NS	NS	NS	NS	(0,07) <sup>c</sup>
<b>Corte</b>		NS	NS	NS	(0,11) <sup>a</sup>	(0,9)	NS
<b>EAM x Corte</b>		(4,3) <sup>b</sup>	NS	(0,08) <sup>a</sup>	NS	NS	(0,10) <sup>c</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: sólidos solubles totales (°Brix). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>). Volumen exudación (mL · 100g<sup>-1</sup>). Pérdidas de peso (%).

A 5°C, sólo el tipo de corte tuvo una influencia significativa, donde las rodajas, con una mayor área expuesta, sufrieron un mayor deterioro y senescencia, fenómeno que se tradujo en un enrojecimiento de la matriz y que se transmitió posteriormente al zumo. En cambio, la cantidad de matriz presente en un casco a igualdad de masa es mucho menor, presentando, por tanto, una menor zona enrojecida. A esta temperatura no se observó daño por CO<sub>2</sub> como en el Capítulo anterior, dado que las concentraciones alcanzadas por el EAM fueron menores que aquella que dañó la matriz (4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>).

Como sucedió en el Capítulo anterior y detectó Gil *et al.* (2002), a 0°C se detectó un posible daño por frío, entendiendo éste como un incremento en los °H por incapacidad de

madurar a esta temperatura. Este leve daño, no rechazable, sólo fue significativo en las rodajas testigo y EAM pasiva, posiblemente porque la presencia de CO<sub>2</sub> en el EAM activas contrarrestó el efecto, ya que la tendencia de este gas es a enrojecer la pulpa. También en el Capítulo anterior, sólo se detectó ese incremento en °H en aire y a 0°C. Luego, tanto AC como EAM inhiben suaves incrementos en el tono. Las rodajas fueron más sensibles a padecer coloraciones o decoloraciones en su matriz al presentar mayor cantidad de área expuesta acompañada de más cantidad de pulpa sensible a los cambios mencionados.

En general, los SST disminuyeron con la conservación prolongada, especialmente en las rodajas, pero como sucedió en el Capítulo anterior estos cambios no fueron significativos.

A esta temperatura y después de dos semanas de conservación, se determinó una reducción en la AT en los cascós de tomate en aire ó EAM-N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> (Tabla 9.8). Un aumento en el pH se observó también en este tipo de corte. En general, como se comprobó en el Capítulo anterior (Sección 3.3.3.) a 0°C se frenó la reducción en la AT acompañada por el aumento en el pH debido a un menor metabolismo que reduce el consumo de los ácidos.

**Tabla 9.9.** Influencia del tipo de corte y EAM en el color, SST, AT, pH, volumen de exudación y pérdidas de peso de tomate “Calibra” en el día 14 a 5°C.

Tipo EAM	Corte	°H	SST	AT	pH	Volumen exudación	Pérdidas de peso
<b>Testigo</b>	<b>Rodajas</b>	72,1	4,9	0,51	4,17	2,11	0,33
	<b>Cascos</b>	71,6	5,4	0,45	4,36	2,41	0,28
<b>EAM</b>	<b>Rodajas</b>	69,1	5,1	0,41	4,46	0,99	0,04
	<b>Cascos</b>	72,2	5,3	0,43	4,42	2,00	0,06
<b>EAM-N2</b>	<b>Rodajas</b>	69,7	5,3	0,45	4,31	4,62	0,06
	<b>Cascos</b>	72,6	4,9	0,42	4,32	2,29	0,06
<b>EAM- N2+CO2</b>	<b>Rodajas</b>	70,4	5,1	0,45	4,22	4,03	0,06
	<b>Cascos</b>	71,4	5,4	0,46	4,30	2,72	0,06
<b>EAM</b>		NS	NS	NS	NS	(1,78) <sup>a</sup>	(0,05) <sup>c</sup>
<b>Corte</b>		(2,4) <sup>a</sup>	NS	NS	NS	NS	NS
<b>EAM x Corte</b>		NS	NS	NS	NS	(1,83) <sup>b</sup>	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: sólidos solubles totales (°Brix). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>). Volumen exudación (mL ·100g<sup>-1</sup>). Pérdidas de peso (%).

### 9.3.3.2. Volumen de exudación y pérdidas de peso.

Debido a una matriz más desligada del pericarpio en los cascos que en las rodajas, el volumen de exudación fue mayor en los cascos conservados a de 0°C (Tabla 9.8). En cambio, a 5°C, el volumen de exudación fue mayor en las rodajas conservadas en EAM activa (Tabla 9.9), probablemente, debido a que estos dos tratamientos sufrieron un mayor deterioro y senescencia, como se observó con la reducción del tono del zumo, repercutiendo en una mayor descompartimentación del tejido y, por tanto, un mayor volumen de exudación. No obstante, el valor más alto registrado fue de 4,14 mL de zumo por 100 g de tomate procesado. Gil *et al.* (2002) obtuvieron un menor volumen de exudación al conseguir una atmósfera saturada de vapor de agua.

Este volumen exudado en las barquetas afecta negativamente a la apariencia, así como, al desarrollo de mohos y levaduras. Para evitarlo se debe seleccionar, como se comentó en el Capítulo anterior, una variedad de tomate con suficiente compacidad de placenta y un óptimo estado de madurez (estado 6 de la carta Kleur-Stadia).

Además, convendría colocar un papel absorbente de celulosa en el interior de los envases para evitar la acumulación de jugo (Mencarelli *et al.*, 1989; Gil *et al.*, 2002).

Las mayores pérdidas de peso se registraron en la testigo y las menores bajo EAM pasiva y activa. Además, a 0°C las rodajas del testigo presentaron un incremento en comparación a los cascos, 0,24 % frente a 0,11% (Tabla 9.7). Si comparamos entre ambas temperaturas, como en el Capítulo anterior, las mayores temperaturas, 5 frente a 0°C, aumentan las pérdidas de peso.

### 9.3.4. Análisis microbiológico.

La temperatura fue más eficaz en reducir el crecimiento microbiano (Tabla 9.10) que los distintos tratamientos en EAM (Gil *et al.*, 2002; Rosenfeld *et al.*, 1999) como también se observó en el Capítulo 4 de melón y el Capítulo anterior de AC (secciones 8.3.4.) junto con numerosos investigadores ya mencionados.

Después de dos semanas a 0°C, los recuentos en aerobios totales fueron particularmente bajos, sin diferencias significativas entre los tratamientos de EAM en ambos tipos de corte. Las diferencias entre los cortes fueron dispares, a 0°C las rodajas presentaron mayor carga microbiana que los cascos mientras que a 5°C ocurrió al revés. Tampoco en el Capítulo anterior se observó una tendencia clara según el tipo de corte.

El desarrollo fúngico sólo se detectó en la testigo y a 5°C. El EAM redujo el crecimiento microbiano, en especial a 5°C, en ambos tipos de corte. Según la legislación española (RD 3484/2000, 2001) todos los tratamientos EAM pasiva o activa, procesados en rodajas o cascos y

conservados a 0 ó 5°C mantuvieron la calidad microbiológica, excepto la testigo a 5°C. Desde el punto de vista de la seguridad microbiana, es posible una vida útil de 14 días a 0 y 5°C en tomate procesado en fresco EAM frente a los 10 días establecidos por Gil *et al.* (2002). Hong y Gross (2001) evitó el crecimiento fúngico con una mezcla activa inicial de 1 kPa de O<sub>2</sub> y 12 kPa de CO<sub>2</sub> cuya atmósfera de equilibrio fue 5 kPa O<sub>2</sub> y 6 kPa CO<sub>2</sub> mientras que siempre observó desarrollo en las restantes ensayadas (1 ó 20 kPa O<sub>2</sub> con 4 ó 8 kPa CO<sub>2</sub>).

**Tabla 9.10.** Recuentos microbiológicos (log ufc·g<sup>-1</sup>) en rodajas y cascos de tomate “Calibra” conservados en aire (testigo) o EAM pasiva o activa tras 14 días a 0 y 5°C.

	Inicial	Día 14			
		Rodajas		Cascos	
		0°C	5°C	0°C	5°C
<b>AEROBIOS TOTALES</b>					
<b>Inicial</b>	< 1				
<b>Testigo</b>		3,8 ± 0,1	7,8 ± 0,4	< 2	6,8 ± 0,1
<b>EAM</b>		2,9 ± 0,3	< 5	< 2	6,4 ± 0,1
<b>EAM-N<sub>2</sub></b>		3,2 ± 0,2	< 5	< 2	5,4 ± 0,1
<b>EAM-N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub></b>		3,4 ± 0,2	< 5	< 2	< 5
<b>LEVADURAS</b>					
<b>Inicial</b>	< 1,7				
<b>Testigo</b>		< 2	4,5 ± 0,4	< 2	5,6 ± 0,3
<b>EAM</b>		< 2	< 2	< 2	< 2
<b>EAM-N<sub>2</sub></b>		< 2	3,0 ± 0,4	< 2	< 2
<b>EAM-N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub></b>		< 2	< 2	< 2	3,2 ± 0,3
<b>MOHOS</b>					
<b>Inicial</b>	< 1,7				
<b>Testigo</b>		< 2	3,1 ± 0,1	< 2	3,2 ± 0,1
<b>EAM</b>		< 2	< 2	< 2	< 2
<b>EAM-N<sub>2</sub></b>		< 2	< 2	< 2	< 2
<b>EAM-N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub></b>		< 2	< 2	< 2	< 2

<sup>z</sup> Media (n = 5) ± error estándar.

Es importante señalar que en el Capítulo anterior, debido al elevado crecimiento de levaduras, no fue posible lograr una vida útil de 14 días a 5°C a pesar de utilizar AC. Según este

trabajo el crecimiento de levaduras bajo EAM fue mucho menor que el registrado en el Capítulo anterior. Probablemente, el hacer pasar un continuo flujo humidificado ó la consecución de esas atmósferas desde el principio potenció el desarrollo de levaduras frente al EAM.

Para resumir los Resultados, se puede indicar que, como sucedió en el Capítulo anterior, la temperatura de 5°C indujo cierta senescencia en el procesado frente a 0°C, acompañado de una reducción en el tono del zumo, menor calidad sensorial y mayor crecimiento microbiano. Asimismo, Gil *et al.* (2002) lograron una óptima calidad extendiendo la vida útil de rodajas de “Durinta” a 0°C aunque estos autores consideran que 5°C es una óptima temperatura para prevenir los daños por frío que observaron a 0°C. Pero esta mayor temperatura de conservación debe combinarse con un EAM activo para lograr una vida útil de 10 días dado que la testigo sobrepasó los límites microbiológicos españoles. No obstante, a 2°C tampoco se detectaron daños por frío (Artés *et al.*, 1999).

Además, en este trabajo, observamos que las rodajas al exhibir el doble de área que las secciones, padecieron un mayor daño acompañadas de un enrojecimiento de la pulpa que se incrementaba a 5°C. No obstante, en esta variedad de matriz poco compacta, este tipo de corte obtuvo una mejor apariencia que los cascos, en especial a 0°C. Por ello, el tomate procesado en fresco, en especial, las rodajas deben conservarse a 0°C. Gil *et al.* (2002) observaron decoloración del parénquima y epidermis, en especial en las rodajas conservadas a 0°C, que nosotros no detectamos. Tan sólo a esta temperatura, se observó un incremento en los °H, en especial en la testigo y EAM pasiva pero que no fue rechazable.

Después de 14 días de conservación y a ambas temperaturas se detectó una leve translucencia, en especial, en la testigo. Este desorden podría ser considerado un daño por frío. Hong y Gross (2000; 2001) observaron una menor incidencia de translucencia en rodajas de tomate EAM a 5°C cuando había una elevada concentración de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (35 ppm) frente aquellas con 1-3 ppm C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. El aumento de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en las barquetas conllevó a una reducción de la incidencia del daño por frío (Hong y Gross, 2001). Las concentraciones alcanzadas en los tratamientos de EAM fueron más bajas pero posiblemente eficaces en disminuir la translucencia. De todas formas, coincidiendo con Watada y Qi (1999) se prefiere una temperatura que pueda causar un ligero daño por frío que una temperatura que cause un rápido deterioro y crecimiento microbiano.

Además, el daño por frío normalmente se desarrolla al transferir la fruta a temperatura ambiente (King y Ludford, 1983; Morris, 1982; Saltveit y Cabrera, 1987) cosa que tanto los evaluadores como el consumidor sólo realiza durante un corto periodo (minutos a horas) dado que en un producto procesado en fresco no se puede romper la cadena de frío. Sin embargo,

Hong y Gross (1998) indicaron que la formación de translucencia puede ocurrir en tomate bajo refrigeración. No obstante, y coincidiendo con Aquino-Bolaños *et al.* (2000) los beneficios que proporciona las bajas temperaturas para controlar el crecimiento microbiano pesan más que los defectos que puedan resultar del posible comienzo de un daño por frío.

Como ya comentamos en otro Capítulo, en opinión de Gil *et al.* (2002) el desarrollo de translucencia está estrechamente relacionado con las bajas temperaturas y avanzada madurez. En opinión de Mencarelli y Saltveit (1988) la madurez se acelera con el cortado posiblemente por la estimulación producida por el C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> de herida.

#### 9.4. CONCLUSIONES.

Para conseguir unas atmósferas idóneas (4-5 kPa O<sub>2</sub> y 4-5 kPa CO<sub>2</sub>) es necesario el EAM activa e incluso la utilización de plásticos de menor permeabilidad a estos gases que el PPO. No obstante, las mezclas gaseosas alcanzadas con los distintos tratamientos fueron eficaces en prolongar la vida útil de 7 a 14 días a 0°C, logrando un mejor sabor y aroma, textura y calidad global. Para este periodo y temperatura no hubo diferencias significativas entre los distintos EAM pasiva o activa. A 5°C, el EAM, en especial activa, retuvo la textura y mejoró la calidad global durante la primera semana frenando las pérdidas de peso tras 14 días de conservación.

Tanto la testigo como EAM a 0 ó 5°C pueden lograr una vida útil de 7 días, pero la extensión de ésta a 14 días, sólo fue posible con un EAM pasiva ó activa a 0°C. A pesar de que el EAM consigue una seguridad microbiológica, apariencia, textura (rodajas) y frena las pérdidas de peso frente al testigo, una importante reducción del sabor y aroma por debajo del límite de comercialización impidió alcanzar una vida comercial de dos semanas a 5°C. La temperatura proporcionó una mayor calidad tanto sensorial como microbiológica que EAM.

El tipo de corte afectó principalmente a la apariencia. Las rodajas presentaron un corte más compacto, pero a 5°C sufrieron un excesivo enrojecimiento. Por todo lo expuesto, es aconsejable la conservación de tomate procesado en fresco a 0°C a pesar de que sufrió un ligero daño por frío traducido como un incremento en los °H y desarrollo de translucencia. No obstante, no fue un daño por frío rechazable y se redujo con el EAM.

Además, se recomienda el estudio de varietal frente a la susceptibilidad al procesado así como la selección de cualquier variedad en un óptimo estado de madurez y con unas excelentes propiedades sensoriales, especialmente, sabor y aroma.

## **Capítulo 10. ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE DIECISEIS VARIEDADES DE TOMATE SOBRE SU APTITUD FRENTE AL PROCESADO EN FRESCO Y POSTERIOR CONSERVACIÓN EN ATMÓSFERA MODIFICADA.**

### **10.1. INTRODUCCIÓN**

La industria de procesado en fresco requiere tomates uniformes en su tamaño, de color rojo y con la suficiente integridad como para ser procesados y conservados de 7 a 10 días entre 0 a 5° C. En el procesado, ya sea en rodajas, cascotes, tiras o cubos, debe obtenerse un corte “limpio”, evitar la separación de la placenta del pericarpio y la rodaja o casco debe constituir una unidad íntegra y con la suficiente compacidad para resistir el transporte y distribución.

Gorny *et al.* (1999) observaron considerables diferencias fenotípicas entre distintos cultivares de melocotones y nectarinas, advirtiendo que se desconocen los cultivares más indicados para el procesado. Por ello, debe investigarse la adaptación de nuestras variedades al procesado y posterior conservación. Además, la calidad inicial del producto entero necesita ser excelente para asegurar la máxima calidad del producto procesado (Watada *et al.*, 1996) de ahí la necesidad de estudiar la bondad de nuestras variedades, seleccionando las mejores e investigando su posibilidad de procesado.

La investigación debe centrarse en la definición de las características deseables de las variedades, su aptitud para el cortado, definición de las condiciones óptimas de envasado, conservación, distribución y duración de la vida comercial. Todo ello, junto con la optimización de las prácticas agronómicas, riego, fertilización rica en potasio y calcio, uso de reguladores del crecimiento, control de plagas y enfermedades y regulación de las condiciones climáticas del invernadero, puede favorecer la producción de tomates de gran textura, coloración y sabor idóneos para el mercado del procesado en fresco, como alternativa al tomate entero tipo “cherry” actualmente presente en las ensaladas listas para consumir.

Por todo lo expuesto, el objetivo del presente trabajo consistió en caracterizar y evaluar las variedades de tomate plantadas en la Región de Murcia, bajo unas mismas condiciones climáticas y nutricionales, seleccionando las más idóneas para el procesado, desde el punto de vista organoléptico como por su aptitud para el procesado en fresco (rodajas y cascotes) y, posterior conservación durante 10 días en EAM a 5°C.

## 10. 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 10. 2.1. Material vegetal.

El material vegetal estuvo compuesto por 16 variedades de tomate de distintas casas comerciales, convencionales y de larga duración, cultivadas bajo unas mismas condiciones, en invernadero de plástico en Águilas (Murcia). Las unidades fertilizantes empleadas en el abonado consistieron en 500 UF de N<sub>2</sub>, 180 UF de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 800 UF de K<sub>2</sub>O, la conductividad del agua de riego fue de 2,5 dS·m<sup>-1</sup>. El marco de plantación fue de 2,50 x 0,60 m, colocándose dos plantas por golpe. La poda fue a dos tallos. Se realizaron dos tratamientos en las tomatas recién transplantadas, con malatión (4%) y endosulfán (2%) en espolvoreo, para evitar ataques de mosca blanca y la transmisión del virus de la cuchara. La polinización fue realizada por abejorros (*Bombus terrestris*).

La recolección se efectuó entre el 11 de febrero y el 31 de mayo. Las variedades convencionales suelen recolectarse en estado pintón, dada su facilidad de ablandamiento, alcanzando la coloración rojiza tras los 3 ó 4 días necesarios en el acondicionamiento, expedición y distribución. En este ensayo todas las variedades, convencionales o no, se recolectaron con similar coloración, estado 7-8 según carta de colores Kleur-Stadia (Holanda). Se transportaron 80 Km hasta el laboratorio, donde se mantuvieron 1 día a 20° C y 80% HR para uniformar el color hasta el comienzo del ensayo. Para cada variedad se descartaron los tomates que presentaban golpes o rozaduras y de los seleccionados se tomó al azar, una muestra de 20 frutos y se procedió a su caracterización (peso, dimensiones, firmeza, color epidermis, análisis físico-químico y sensorial, así como, aptitud para el procesado). Además, se determinó la producción en campo de cada una de ellas.

### 10.2.2. Preparación de la muestra.

Una vez caracterizadas las variedades, se procedió al estudio de las mismas una vez procesadas y conservadas durante 10 días a 5°C.

Se estudiaron los dos tipos de corte más demandados, rodajas (para su utilización en bocadillos) y cascos (para ensaladas). En una cámara frigorífica higienizada y mantenida a 10°C, se formaron lotes homogéneos al azar de tomates enteros que se sumergieron durante 1 min en agua clorada a 5°C (100 mg·L NaOCl, pH = 7,5). Posteriormente, se secaron con papel. A continuación, una vez despedunculados, se procesaron en los dos tipos de corte (Materiales y Métodos, Sección 1.2.).

3) Rodajas de 0,8 cm de espesor (perpendicular al eje polar del tomate).

4) Cascos, procesados paralelos al eje polar del tomate, se obtenían ocho cascos por fruta.

Tanto ambas máquinas como las herramientas utilizadas se desinfectaron previamente con 1,4 mM de hipoclorito sódico.

El procesado se escurrió y se depositó en una bandeja, de ésta se tomaron de 100-110 g de rodajas o cascós de tomate envasándose en cestas de PP de 0,75 litro de capacidad. Las cestas se termosellaron en su perímetro superior con PPO de 35  $\mu\text{m}$  de espesor (Plásticos del Segura, S.L., Murcia) con tratamiento antivaho. Se elaboraron 5 repeticiones por tipo de corte y variedad. Todas las muestras se conservaron durante 10 días en una cámara frigorífica a 5°C.

### 10.2.3. Determinaciones.

Se llevaron a cabo las siguientes determinaciones para caracterizar las variedades y estudiar su comportamiento tanto antes como después de la conservación (Materiales y Métodos, Sección 2).

- Producción por variedad. Se tomaron plantas representativas de cada variedad, recolectando y pesando sus frutos conforme alcanzaban el estado óptimo de madurez. Los resultados se expresaron en  $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-2}$ .
- Peso y diámetros ecuatoriales y longitudinales.
- Firmeza mediante prensa (por compresión de platos).
- Color en la epidermis ( $^{\circ}\text{H}$ ).
- Análisis sensorial (apariencia, sabor y aroma, textura y calidad global). Escala hedónica 1 a 9.
- Aptitud para el procesado. En función de la adaptación al procesado en rodajas o cascós, las variedades fueron clasificadas en las siguientes categorías:
  - a) No se adaptan al corte (-),
  - b) Comportamiento medio (+),
  - c) Se adaptan bien al procesado (++)

En el zumo obtenido a partir del melón procesado, además, se evaluaron:

- Color ( $^{\circ}\text{H}$ ).
- SST, AT, IM y pH.

Se evaluaron 5 repeticiones por tipo de corte y variedad. No se realizó un análisis estadístico dado que debido a la cantidad de variedades, la información que aportaba éste, era difícil de exponer. Se optó por expresar la media acompañada de la desviación estándar.

### 10. 3. RESULTADOS.

#### 10. 3.1. Características comerciales.

En las Tablas 10.1 y 10. 2 se recogen las características comerciales y externas, más comúnmente utilizadas, de las variedades estudiadas.

**Tabla 10.1.** Características comerciales de las variedades de tomate.

<b>Variedad</b>	<b>Proveedor</b>	<b>Larga duración</b>	<b>Ramillete</b>
<b>Castelo</b>	Ramiro Arnedo	NO	NO
<b>Jaguar</b>	Ramiro Arnedo	NO	NO
<b>Goya</b>	Ramiro Arnedo	NO	NO
<b>Celorio</b>	Ramiro Arnedo	NO	NO
<b>AR-155</b>	Ramiro Arnedo	NO	NO
<b>AR-168</b>	Ramiro Arnedo	SI	NO
<b>AR-298</b>	Ramiro Arnedo	SI	SI
<b>Calvi</b>	Gautier Graines	SI	NO
<b>CF-105</b>	Gautier Graines	NO	NO
<b>IS-48</b>	Intersemillas	SI	NO
<b>IS-85</b>	Intersemillas	SI	NO
<b>86</b>	Intersemillas	SI	NO
<b>Salvador</b>	S&G	NO	NO
<b>Thomas</b>	S&G	SI	SI
<b>Sinatra</b>	S&G	SI	NO
<b>Abigail</b>	Hazera	SI	NO

Todas las variedades se encuentran entre calibre grande, grande-mediano ó mediano. En general, las de calibre grande y mediano-grande, se correspondieron con tomates de mayor peso (Tabla 10.2).

Atendiendo a la producción ( $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) se han establecido tres categorías, las más productivas de entre  $12\text{-}15 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , las medianamente productivas ( $9\text{-}12 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) y las de bajo rendimiento, inferior a  $9 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . De acuerdo con los resultados obtenidos, al primer grupo pertenecen “Celorio”, “CF-105”, “Salvador” y “Thomas”. Las variedades menos productivas fueron “AR-155”, “IS-48”, “AR-168”, “Abigail” y “AR-298”, y normalmente serían descartadas por los agricultores salvo que poseyeran cualidades que rentabilizaran su baja producción, como

por ejemplo, el buen sabor y textura que presentan “AR-155”, “AR-168” y “Abigail”, o la resistencia a nematodos de ésta última.

**Tabla 10.2.** Características externas de las variedades de tomate.

<b>Variedad</b>	<b>Producción (Kg·m<sup>-2</sup>)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Ø Polar (mm)</b>	<b>Ø Ecuatorial (mm)</b>	<b>Calibre</b>
<b>Castelo</b>	11,84 <sup>z</sup>	122,5 ± 50,3	51,4 ± 6,2	71,3 ± 10,0	G
<b>Jaguar</b>	10,46	171,1 ± 35,5	65,8 ± 6,9	74,8 ± 6,3	G
<b>Goya</b>	9,48	108,7 ± 31,3	54,6 ± 2,6	65,3 ± 8,9	M-G
<b>Celorio</b>	15,26	142,1 ± 26,5	50,8 ± 2,0	72,0 ± 4,3	G
<b>AR-155</b>	7,8	76,1 ± 12,7	50,7 ± 3,5	57,3 ± 5,3	M
<b>AR-168</b>	7,28	65,5 ± 9,3	48,1 ± 4,9	53,1 ± 5,3	M
<b>AR-298</b>	5,22	144,3 ± 7,9	53,6 ± 2,6	65,6 ± 4,0	M-G
<b>Calvi</b>	9,73	127,7 ± 15,7	53,7 ± 2,8	65,1 ± 3,6	M-G
<b>CF-105</b>	14,74	221,6 ± 98,8	56,9 ± 5,0	76,5 ± 8,9	G
<b>IS-48</b>	7,73	175,4 ± 57,0	58,2 ± 5,4	72,9 ± 8,0	G
<b>IS-85</b>	9,28	129,2 ± 15,1	53,13 ± 1,4	66,0 ± 4,3	M-G
<b>86</b>	10,91	119,4 ± 17,7	53,4 ± 3,8	63,2 ± 2,8	M
<b>Salvador</b>	12,72	134,6 ± 25,8	56,5 ± 3,1	67,7 ± 6,7	G
<b>Thomas</b>	12,14	82,4 ± 16,2	49,1 ± 4,0	58,1 ± 2,9	M
<b>Sinatra</b>	10,40	157,7 ± 32,1	57,8 ± 5,24	71,2 ± 3,8	G
<b>Abigail</b>	5,83	107,4 ± 37,5	53,8 ± 2,7	62,2 ± 1,5	M

<sup>z</sup> Media (n = 15) ± desviación estándar. Calibre, G = grande, M = mediano, P = pequeño.

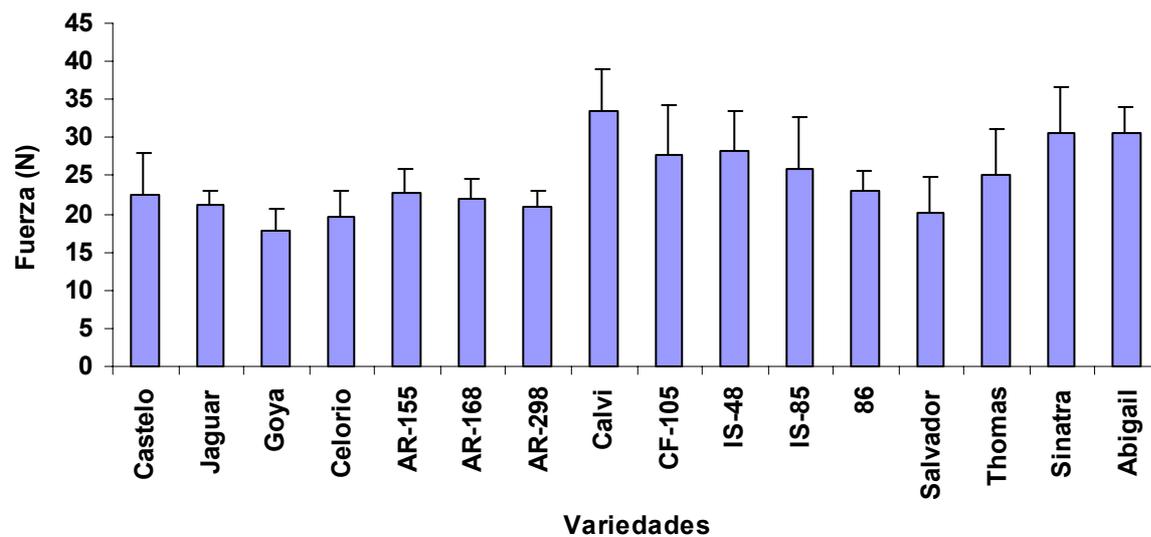
Salvo “Thomas”, las variedades de larga duración se encuentran entre las medianamente y poco productivas. No influyó en la producción el que produjeran o no en ramillete. Así, variedades en ramillete como “Thomas” son muy productivas, pero otras como “AR-298” son muy poco productivas. Tampoco el calibre influyó en la producción, “CF-105” con calibre grande fue muy productiva pero otras como “IS-48” manifestaron un bajo rendimiento.

La variedad “Jaguar” no llegó a “cerrar” bien debido a las bajas temperaturas durante la polinización.

### 10.3.2. FIRMEZA.

Como cabría esperar, las variedades más firmes, con valores superiores a 30 N fueron “Calvi”, “Abigail” y “Sinatra”, todas de larga duración (Figura 10.1). A éstas le suceden “IS-48”, “CF-105”, “IS-85” y “Thomas” con una firmeza entre 25 a 28 N, todas de larga duración salvo “CF-105.” Con una firmeza de entre 20 y 23 N, se encuentran “86”, “AR-155”, “Castelo”, “AR-168”, “Jaguar”, “AR-298” y “Salvador”, variedades tanto de larga duración como convencionales.

Las de menor firmeza “Goya” y “Celorio”, ambas convencionales, no superaron los 20 N. En general, se apreció una tendencia en las variedades de larga duración a presentar una firmeza mayor que las convencionales. Según, Bleeker *et al.* (1988), los mutantes de tomate carecen de lugar de unión para el etileno. Éstos se desarrollan a falta de percepción del etileno previniendo la madurez y todos los cambios fisiológicos que conlleva esta hormona, como el ablandamiento.

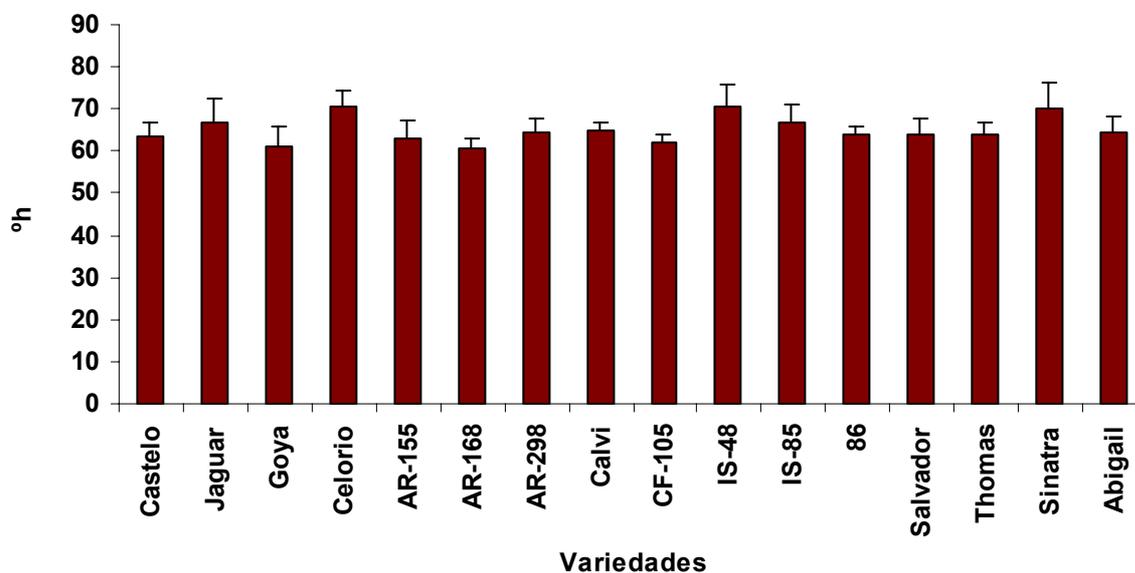


**Figura 10.1.** Firmeza inicial (N) de las distintas variedades de tomate. Media (n = 15)  $\pm$  desviación estándar.

### 10.3.3. Color de la epidermis.

Casi todas las variedades presentaron una tonalidad de entre 60 a 64°H, siendo “AR-168” y “Goya”, las más rojas, es decir, menos °H. “IS-85” y “Jaguar” con 66°H y “IS-48”, “Celorio” y “Sinatra” con 70 °H reunieron una tonalidad roja menos intensa.

No se observó una relación entre coloración y firmeza, así por ejemplo, “Goya” y “Celorio”, presentando ambas los valores más bajos de firmeza, mostraron tonalidades distintas. (Figura 10.2).



**Figura 10.2.** Color inicial (°H) de las distintas variedades de tomate. Media (n = 15)  $\pm$  desviación estándar.

#### 10.3.4. Composición gaseosa en las tarrinas.

La composición gaseosa que se generó en los envases tras 10 días a 5°C fue similar en todas las variedades y se encontró en un rango del  $15 \pm 2$  kPa O<sub>2</sub> y  $5 \pm 1$  kPa CO<sub>2</sub>. Estos resultados son equivalentes a los encontrados en el Capítulo anterior (Sección 3.1.), en el día 10 y con tarrinas de 200 g de tomate procesado EAM con el mismo plástico. La similitud en la concentración gaseosa hace pensar en un metabolismo semejante entre las variedades.

#### 10.3.5. Evaluación sensorial.

Inicialmente, “Goya” y “Jaguar” mostraron un buen aroma, sabor y CG. “Jaguar”, “Thomas”, “Abigail”, “AR-168” y “AR-298” presentaron una textura muy buena. “Calvi” mostró poco aroma y junto a “IS-48” presentaron poco sabor. “Celorio” presentó una textura muy blanda, por debajo del límite de comercialización (Tabla 10.3).

**Tabla 10.3.** Evolución sensorial de distintas variedades de tomate procesadas en fresco y EAM a 5°C durante 10 días.

Variedad	Aroma (1-9)		Textura (1-9)		Sabor (1-9)		CG (1-9)	
	Día 0	Día 10	Día 0	Día 10	Día 0	Día 10	Día 0	Día 10
<b>Castelo</b>	7,8 <sup>z</sup> ± 0,6	6,5 ± 1,1	5,8 ± 1,5	5,0 ± 1,4	6,8 ± 0,6	5,9 ± 0,7	7,3 ± 0,8	5,8 ± 0,4
<b>Jaguar</b>	8,5 ± 0,0	7,0 ± 1,4	7,5 ± 1,0	6,3 ± 0,4	7,5 ± 1,0	6,5 ± 0,7	8,3 ± 1,2	6,3 ± 1,1
<b>Goya</b>	7,5 ± 0,0	6,0 ± 1,4	7,2 ± 1,5	6,5 ± 1,5	8,4 ± 0,9	7,0 ± 1,4	8,3 ± 1,2	6,3 ± 1,1
<b>Celorio</b>	7,2 ± 0,6	6,0 ± 1,4	4,5 ± 1,2	3,5 ± 0,7	6,2 ± 0,6	5,0 ± 0,0	7,0 ± 0,0	4,8 ± 1,1
<b>AR-155</b>	7,8 ± 1,2	6,5 ± 1,0	6,8 ± 1,5	6,3 ± 0,4	6,2 ± 1,5	6,5 ± 0,7	6,7 ± 1,2	5,5 ± 0,7
<b>AR-168</b>	7,8 ± 0,6	6,0 ± 1,4	7,5 ± 0,0	6,0 ± 0,0	7,2 ± 1,2	6,5 ± 0,7	7,9 ± 0,9	6,0 ± 0,0
<b>AR-298</b>	7,5 ± 1,0	5,3 ± 1,8	7,5 ± 0,0	6,3 ± 0,4	7,2 ± 0,6	5,0 ± 0,7	7,7 ± 0,6	6,0 ± 1,1
<b>Calvi</b>	6,5 ± 1,0	5,8 ± 1,8	6,5 ± 1,0	5,5 ± 0,7	5,5 ± 1,7	6,0 ± 0,0	8,0 ± 0,0	6,1 ± 0,4
<b>CF-105</b>	7,2 ± 0,6	6,5 ± 0,7	5,5 ± 1,0	4,5 ± 1,1	6,5 ± 0,0	5,3 ± 0,0	7,0 ± 0,0	4,8 ± 0,7
<b>IS-48</b>	7,2 ± 1,2	6,3 ± 1,1	6,4 ± 0,9	5,0 ± 1,4	5,8 ± 1,2	5,5 ± 0,4	6,8 ± 0,3	5,0 ± 0,0
<b>IS-85</b>	7,5 ± 0,9	6,3 ± 0,4	6,7 ± 0,3	6,0 ± 0,0	6,3 ± 0,3	5,5 ± 0,0	6,7 ± 0,3	5,5 ± 0,0
<b>86</b>	7,5 ± 0,9	6,3 ± 0,4	6,2 ± 1,2	4,0 ± 1,4	6,2 ± 0,6	6,5 ± 0,7	6,8 ± 0,3	4,8 ± 0,7
<b>Salvador</b>	7,5 ± 0,9	6,3 ± 0,4	6,7 ± 0,8	6,0 ± 0,0	7,2 ± 0,6	6,3 ± 0,0	7,3 ± 0,8	5,8 ± 0,4
<b>Thomas</b>	7,2 ± 1,2	6,5 ± 0,7	7,5 ± 0,0	6,9 ± 0,0	7,5 ± 0,0	6,0 ± 0,4	7,5 ± 0,0	6,3 ± 0,0
<b>Sinatra</b>	7,2 ± 1,2	6,5 ± 0,7	7,2 ± 0,8	6,5 ± 0,7	6,5 ± 0,0	5,5 ± 1,1	7,5 ± 0,0	6,1 ± 1,1
<b>Abigail</b>	7,0 ± 0,6	6,3 ± 0,7	7,5 ± 1,0	6,8 ± 0,4	6,8 ± 0,6	6,5 ± 0,7	8,0 ± 1,2	6,0 ± 1,1

<sup>z</sup> Media (n = 5) ± desviación estándar. Escala hedónica (1 a 9) para donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. CG: Calidad global.

Tras la conservación a 5°C, “Jaguar” continuó presentando el mejor aroma y “Goya” el mejor sabor. “Thomas” y “Abigail” siguieron exhibiendo los valores de textura más altos.

Por el contrario, “Celorio”, “CF-105” y “86” sufrieron una gran pérdida de textura tras 10 días de conservación y fueron valoradas por debajo del límite de comercialización. Salvo estas variedades, el resto obtuvo una calidad global por encima de dicho límite.

Como vemos, ninguna variedad ofrece una calidad sensorial idónea en todos los parámetros, deben elegirse aquellas que manifiesten una valoración global adecuada, como ejemplo, “Jaguar”, “Goya” y “Thomas”. Sólo esta última es de larga duración, lo cual hace pensar, que las variedades no convencionales adolecen de una buena calidad sensorial.

### 10.3.6. Color zumo y volumen de exudación.

Variedades con una epidermis menos roja se correlacionaron con un zumo con mayores °H, tal es el caso de “IS-48” y “Sinatra” pero no de “Celorio” que, según los °H determinados en la epidermis no fue acompañado del mismo comportamiento en zumo (Figura 10.2 y Tabla 10.4).

**Tabla 10.4.** Evolución del color del zumo (°H) y volumen de zumo exudado ( $\text{mL}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) de distintas variedades de tomate procesadas en fresco y EAM a 5°C durante 10 días.

Variedad	°H		Volumen zumo exudado		
	Día 0	Día 10		Día 10	
		Rodajas	Cascos	Rodajas	Cascos
<b>Castelo</b>	62,5 <sup>z</sup> ± 0,6	64,9 ± 1,8	63,9 ± 2,4	1,84 ± 0,22	0
<b>Jaguar</b>	64,1 ± 1,5	64,9 ± 0,6	60,6 ± 0,3	0,82 ± 0,20	0,71 ± 0,06
<b>Goya</b>	63,9 ± 6,0	69,2 ± 1,6	67,3 ± 1,6	0,99 ± 0,10	1,31 ± 0,45
<b>Celorio</b>	61,6 ± 1,3	65,2 ± 0,8	65,3 ± 1,6	1,17 ± 0,50	0,26 ± 0,05
<b>AR-155</b>	67,5 ± 1,8	68,4 ± 2,1	66,5 ± 1,7	2,42 ± 0,50	1,61 ± 0,70
<b>AR-168</b>	61,8 ± 1,2	62,6 ± 1,3	64,4 ± 1,6	1,81 ± 0,56	0
<b>AR-298</b>	65,6 ± 0,9	64,6 ± 2,1	67,1 ± 1,0	0,13 ± 0,10	0
<b>Calvi</b>	64,8 ± 0,1	66,9 ± 1,4	64,5 ± 2,6	0,42 ± 0,10	0
<b>CF-105</b>	66,5 ± 0,6	66,0 ± 0,3	64,1 ± 0,1	1,23 ± 0,14	0
<b>IS-48</b>	68,9 ± 1,3	71,3 ± 2,1	68,6 ± 1,1	1,04 ± 0,50	0
<b>IS-85</b>	61,3 ± 3,3	62,5 ± 0,7	64,0 ± 3,2	1,70 ± 0,25	0
<b>86</b>	68,2 ± 0,3	64,8 ± 1,0	66,4 ± 0,9	1,11 ± 0,13	0
<b>Salvador</b>	60,8 ± 0,1	67,7 ± 0,3	66,1 ± 1,8	0,73 ± 0,03	0
<b>Thomas</b>	63,4 ± 1,0	62,4 ± 1,1	63,7 ± 1,4	0	0,62 ± 0,23
<b>Sinatra</b>	66,2 ± 1,9	65,9 ± 0,1	63,9 ± 0,7	0,33 ± 0,10	0
<b>Abigail</b>	63,4 ± 2,4	66,3 ± 0,1	63,7 ± 0,6	0,54 ± 0,10	0

<sup>z</sup> Media (n = 5) ± desviación estándar. Volumen exudación ( $\text{mL}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ).

En general, no se observó una reducción en los °H con la conservación, como comprobamos en el Capítulo anterior (Sección 3.3.2.), probablemente debido a las diferencias en la coloración inicial de la variedad “Calibra” (74,8°H) frente a éstas.

No hubo diferencias en el color del zumo según el tipo de procesado, las rodajas mostraron  $65,8 \pm 2,5$  y los cascos  $65,0 \pm 1,9$  °H (Tabla 10.4).

“AR-155” para ambos cortes, “Castelo” y “AR-168” procesados en rodajas y “Goya” a nivel global fueron las variedades que mayor pérdida de zumo sufrieron. No obstante, el volumen de exudado no fue superior al  $2,5 \text{ mL} \cdot 100\text{g}^{-1}$  para ninguna.

Normalmente, las rodajas alcanzaron una mayor pérdida de líquidos frente a los cascos, debido probablemente a la mayor superficie de corte. En el Capítulo anterior (Sección 3.3.2.), comprobamos que, a  $0^\circ\text{C}$  los cascos presentaban una mayor de exudación pero a  $5^\circ\text{C}$  y EAM activo eran las rodajas las que liberaban más zumo.

Las variedades de larga duración, “AR-298”, “Sinatra”, “Calvi”, “Abigail” y “Thomas” fueron las que menos zumo perdieron tras la conservación. Todas éstas, salvo “AR-298”, poseían una firmeza muy buena (Figura 10.1). Luego, en general, una variedad firme conlleva a menos pérdidas de zumo pero el comportamiento entre variedades medianamente firmes (20-23 N) es arbitrario, como sucede en “AR-155”, “Castelo”, “AR-168” y “AR-298”.

#### 10.3.6. SST, AT, IM y pH.

Inicialmente, las variedades más ácidas fueron “AR-298”, “IS-85” “AR-168” y “AR-155” ( $0,56$  a  $0,41 \text{ mL cítrico} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) y las de menor acidez fueron “CF-105”, “Jaguar”, “IS-48” y “Celorio” ( $0,28$  a  $0,31 \text{ mL cítrico} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ). Con respecto a los sólidos solubles, “Goya”, “Sinatra”, “Thomas”, “Abigail”, “AR-155”, “AR-298” y “AR-168” ( $5,5$  a  $5,0$  °Brix) fueron las que presentaron valores más elevados mientras que “IS-48” y “CF-105” mostraron un menor contenido en sólidos solubles ( $3,7$  a  $3,9$  °Brix).

Según Mencarelli y Saltveit (1988) un tomate posee una elevada calidad cuando contiene más que  $0,32\%$  de AT y un  $3\%$  de SST, y un relación SST:AT superior a 10, ratios inferiores conllevan a un sabor insípido. En nuestro caso, no cumplieron estas condiciones las variedades mencionadas de baja acidez y la “AR-298” tuvo un IM inferior a 10. Recordemos, según los datos del sensorial, que sólo “Calvi” junto con “IS-48” fueron variedades con poco sabor mientras que “Goya” y “Jaguar” mostraron un buen aroma, sabor y CG; ambas corresponden a las que poseen un mayor IM ( $14,5$  a  $14,8$ ). Luego, el panel sensorial valoró mejor los tomate maduros.

Según el color de la epidermis, “Goya” fue de las variedades más rojas ( $61,3$  °H) aunque “Jaguar” con  $66,9^\circ\text{H}$  se clasificó en el grupo intermedio. Luego, el color de la epidermis (°H) no parece relacionarse con el índice de madurez.

En general, la conservación conllevó una reducción en la AT y un incremento del pH. No siempre se observó una disminución en los SST pero como en los Capítulos 8 y 9 (Secciones 3.3.3. y 3.3.2., respectivamente) la variación de los SST no fue significativa.

Tras la conservación, la tendencia de todas las variedades procesadas fue a continuar con su proceso de maduración, como refleja el aumento en el IM, debido principalmente a una disminución en la acidez del producto, sin que se encontrara ninguna relación entre el tipo de corte y el IM (Tabla 10.5). Las variedades convencionales “Castelo”, “Jaguar”, “Goya” y “Celorio” fueron las que sufrieron un mayor aumento en su IM para ambos tipos de corte.

Según los requisitos citados por Mencarelli y Saltveit (1988), “CF-105”, “Jaguar”, “IS-48” y “Celorio” continuarían mostrando una AT baja (inferior a 0,32%). Todas las variedades presentaron unos SST e IM superiores a los citados por estos autores.

Tras la conservación a 5°C, “Goya” presentaba el mejor sabor debido a un alto IM en ambos tipos de corte.

#### **10.3.8. Aptitud para el procesado.**

Inicialmente, las variedades “CF-105”, “IS-48” y “86” (todas medianamente firmes) presentaron un mal comportamiento al procesado en rodajas, mientras que “Jaguar” no se adaptó al procesado en cascós. Normalmente, es más sencilla la adaptación al corte en rodajas que en cascós dado que las rodajas poseen mayor número de puntos de unión entre placenta y pericarpio, presentando un procesado íntegro. Las variedades que mejor se adaptaron a ambos tipos de corte fueron “Sinatra” y “Thomas” (Tabla 10.6), ambas con una muy buena a buena firmeza.

Tras la conservación, las de mayor aptitud para el procesado tanto en rodajas como en cascós, continuaron siendo “Sinatra” y “Thomas”, acompañadas de “Calvi”. Ésta fue otra de las variedades muy firmes (más de 30 N).

Por el contrario, no se adaptaron al corte tras la conservación, “Jaguar”, “AR-155”, “AR-168”, “AR-268”, “CF-105” y “86”. El resto poseen un comportamiento medio con probabilidad para el procesado.

Como se ha comprobado, las variedades con una mayor aptitud para el procesado suelen poseer una mayor firmeza pero no todas las variedades firmes o, por el contrario, poco firmes son o no aptas para el procesado, respectivamente. Tal es el caso de “Goya” y “Celorio”, ambas se adaptan al corte y mostraron valores de firmeza muy bajos. Luego, la aptitud para el procesado está en función de varias variables, una de ellas es la firmeza. Otra característica importante ya mencionada a lo largo de este trabajo, es la compacidad de la matriz del tomate.



Se requieren variedades con una gran cantidad en pulpa, firme y ligada al pericarpio como presentaron “Thomas”, “Calvi” y “Sinatra”.

**Tabla 10.6.** Valoración de la aptitud del procesado según su apariencia e integridad de placenta de las distintas variedades de tomate procesadas en fresco y EAM a 5°C durante 10 días.

Variedades	DÍA 0		DÍA 10		Aptitud para procesado y conservación
	Rodajas	Cascos	Rodajas	Cascos	
<b>Castelo</b>	+	+	+	+	+
<b>Jaguar</b>	++	-	+	-	-
<b>Goya</b>	+	+	+	+	+
<b>Celorio</b>	++	+	+	+	+
<b>AR-155</b>	+	+	-	+	-
<b>AR-168</b>	+	+	-	+	-
<b>AR-298</b>	+	+	-	+	-
<b>Calvi</b>	+	++	++	++	++
<b>CF-105</b>	-	++	-	+	-
<b>IS-48</b>	-	+	+	+	+
<b>IS-85</b>	+	++	+	+	+
<b>86</b>	-	+	-	+	-
<b>Salvador</b>	+	+	+	+	+
<b>Thomas</b>	++	++	++	++	++
<b>Sinatra</b>	++	++	++	++	++
<b>Abigail</b>	++	+	+	++	+

Mal comportamiento = -, Comportamiento medio = +, Buen comportamiento = ++

#### 10. 4. CONCLUSIONES.

No siempre las variedades de mayor calidad organoléptica coincidieron con las de mejor aptitud para el procesado. La variedad “Goya”, muy buena desde el punto de vista organoléptico, ofreció un comportamiento medio respecto a ambos cortes.

Del conjunto de determinaciones y observaciones llevadas a cabo se concluye que las variedades con mejor aptitud para el procesado “Thomas”, “Sinatra” y “Calvi” presentaron junto con “Jaguar” y “Goya” los valores de calidad global más elevados. Además, “Calvi” y “Sinatra” fueron desde el inicio las de mayor firmeza (33,5 y 30,6 N respectivamente).

Además, aquellas variedades con buenos requisitos para el procesado y con una destacada calidad sensorial como “Thomas”, “Sinatra” y “Calvi”, también gozaban de una alta a media producción, de 12 a 15 Kg · m<sup>-2</sup> caso de “Thomas” y entre 9 y 12 Kg · m<sup>-2</sup> para “Sinatra” y “Calvi”. A pesar de que estas tres variedades eran de larga duración, otras no convencionales como “86”, “AR-168” y “AR-298” fueron descartadas. No obstante, las variedades de larga duración presentaron normalmente una mayor firmeza y un menor volumen de exudación, pero no siempre muestran una buena calidad sensorial.

Las variedades convencionales “Goya” y “Salvador” con un comportamiento medio frente al procesado y bastante productivas, recolectadas en estado pintón (más firmes), pueden ser importantes como materia prima para la industria de procesado en fresco de tomate.

Todas las variedades mostraron una ligera translucencia salvo “Castelo”, que presentó un daño por frío más intenso.

## **Capítulo 11. INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LAVADOS OZONIZADOS SOBRE LA CALIDAD Y MICROBIOLOGÍA DE TOMATE PROCESADO EN FRESCO.**

### **11.1. INTRODUCCIÓN.**

De los resultados de los Capítulos anteriores y los encontrados por Artés *et al.* (1999) y Gil *et al.* (2002) se deduce que las temperaturas de 0 y 2°C son suficientes para mantener una buena calidad del tomate procesado en fresco y alcanzar una vida útil de dos semanas. Según la variedad, el tomate puede presentar daño por frío a dichas temperaturas, aumentando la susceptibilidad al crecimiento fúngico. Además, lamentablemente, en los expositores de los supermercados no es muy práctica la aplicación de tan bajas temperaturas (Hong y Gross, 2001).

Por ello, resulta interesante estudiar aquellas técnicas que puedan actuar de forma sinérgica con temperaturas como 5°C, capaces de prolongar la vida útil y reducir el crecimiento microbiano. Una de ellas, estudiada en melón procesado, es la utilización de lavados ozonizados.

Ya se expuso en la Introducción del Capítulo 7 las ventajas e inconvenientes de esta técnica, por lo que no insistiremos más en ello.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la influencia del O<sub>3</sub>, aplicado mediante lavados con agua ozonizada durante distintos tiempos, en la calidad sensorial y microbiológica, así como, en los parámetros físico-químicos de tomate Thomas procesado en fresco y conservado a 5°C bajo EAM.

### **11.2. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **11.2.1. Material vegetal.**

El material vegetal estuvo compuesto por tomates de la variedad “Thomas”, cultivados en invernaderos de Mazarrón (Murcia) y recolectados en junio. Estos tomates no se lavaron en el almacén de exportación como es la práctica habitual antes de pasar por el calibrado. Los frutos se seleccionaron en función de su tamaño y coloración externa, descartándose los que presentaban lesiones por golpes y/o rozaduras o alteraciones. De la selección se tomó al azar una muestra de 20 tomates a los que se determinó el peso, los diámetros ecuatorial y polar y el color en la epidermis (Tabla 11.1).

**Tabla 11.1.** Caracterización inicial (peso, calibres y color de epidermis) de tomate “Thomas”.

Peso (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)	Color epidermis		
			L*	°H	Croma
100,6 <sup>z</sup> ± 1,4	3,0 ± 0,1	4,1 ± 0,1	40,42 ± 0,5	52,14 ± 1,3	35,66 ± 0,8

<sup>z</sup>Media (n = 20) ± error estándar.

### 11.2.2. Preparación de la muestra.

Se formaron 4 lotes al azar con unos 6 Kg de frutos en cada uno. En un tanque de plástico de 200 L se vertieron 40 L de agua potable a temperatura ambiente (26°C y pH = 7). El tanque se cerró y se ozonizó durante 15 min. Cuando el agua estaba ozonizada, se procedió a tomar una muestra para su análisis microbiano. A continuación, con una bolsa tipo malla que facilita el contacto entre el producto y el agua ozonizada, se sumergió uno de los lotes de tomates enteros durante 1 min. Transcurrido ese tiempo, se sacó el producto colocándolo en unas bandejas con papel de filtro para secar el exceso de agua. Posteriormente, se procesa con una máquina automática (Halde RG-100, Suecia) que loncheaba los tomates en rodajas de 0,8 cm de espesor (perpendicular al eje polar). Tanto esta máquina como las herramientas utilizadas se desinfectaron previamente con 100 mg·L<sup>-1</sup> NaOCl. Los operarios utilizábamos siempre guantes de látex que se desechaban en cada tratamiento.

Unos 250g de rodajas de tomate lavado y procesado se envasaron en cestas de PP de L. Las cestas se termosellaron en su perímetro superior con un PPO microperforado (tipo 260) de 35 µm de espesor con tratamiento antivaho. Se utilizó un polímero microperforado para evitar la acumulación de CO<sub>2</sub> y poder así estudiar la efectividad del O<sub>3</sub>. Una vez preparadas las tarrinas se trasladaron a una cámara a 5°C.

De la misma forma, se preparó el lote correspondiente al lavado con agua ozonizada de 3 min de duración. Se desechó el agua de lavado utilizada y se repuso con otros 40 L de agua en las condiciones citadas. Este lote de tomate entero se ozonizó durante 3 min, posteriormente se extrajo, se dejó sobre las bandejas de filtro, se procesó y envasó de la manera descrita. De forma similar se preparó el último lote, lavándolo 5 min con agua ozonizada.

Para la preparación del testigo se volvió a llenar el tanque con 40 L de agua a la misma temperatura pero sin aplicar O<sub>3</sub>, se introdujo la malla que contenía los tomates, dejándola 5 min en agua. Posteriormente, se depositó en las bandejas, se procesó, envasó y se trasladó a la cámara. Tras el lavado de cada tratamiento se tomaron muestras del agua para su análisis microbiológico.

La concentración elegida de O<sub>3</sub> en agua fue de 3,8 ppm, valor inferior al utilizado en melón (Capítulo 7) ya que los recuentos microbianos del tomate suelen ser inferiores a los del melón debido a su alta acidez. Los distintos tiempos de aplicación ensayados son los típicos encontrados en la Bibliografía tal y como se presentó en la Introducción del mencionado Capítulo; además con tiempos mayores se corre el riesgo de oxidar compuestos de constitución del tomate. El generador de ozono utilizado, así como, el método para cuantificar el O<sub>3</sub> en el agua fueron los descritos en el Capítulo 7 de melón (Sección 2.2.).

Se dispusieron 5 repeticiones por tratamiento. Todas las muestras se almacenaron durante 14 días a 5°C y 95% HR. Se realizaron cuatro tomas de muestras, al inicio del experimento y los días 5, 10 y 14.

### 11.2.3. Determinaciones.

Para evaluar la eficacia de los lavados, así como el tiempo de conservación se realizaron las siguientes determinaciones (Materiales y Métodos, Sección 2).

Regularmente, se determinó la tasa respiratoria en aire de las rodajas de tomate (200 g) colocados en frascos de vidrio de 0,75 L a 5°C, durante 10 días, por el sistema estático. En esta determinación sólo se evaluaron los tratamientos de 5 min, ozonizados o no. Además, se determinaron por CG las concentraciones de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, (Perkin Elmer, CT, USA), en el interior de las tarrinas según el tipo de lavado y duración del mismo.

En cada salida se realizó un:

- Análisis sensorial. Escala hedónica de 9 puntos.
- Firmeza (prensa).
- Análisis microbiológico.

En el zumo obtenido a partir del tomate procesado, además, se evaluaron:

- Color (parámetros L\*, °H y Cromá).
- SST y azúcares.
- pH, AT y ácidos orgánicos.

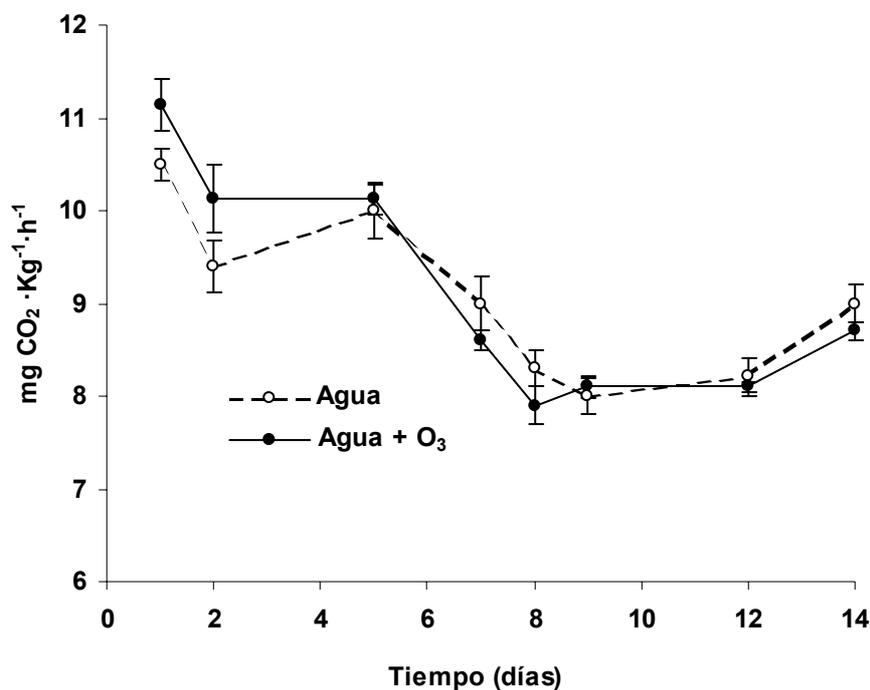
En todas las determinaciones se evaluaron 5 repeticiones por tratamiento, salvo para la firmeza y color en pulpa donde la media está compuesta por 30 valores, es decir, se evaluaron 6 piezas de cada réplica. Dado que el objetivo de este ensayo fue estudiar la eficacia del baño ozonizado frente al testigo, así como el efecto del tiempo de conservación a 5°C, se optó por realizar un ANDEVA bifactorial (tiempo de conservación x tipo de lavado). Cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó la prueba LSD.

### 11.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 11.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno.

Las tasas respiratorias de las rodajas de tomate lavadas con o sin agua ozonizada durante 5 min fueron muy similares (Figura 11.1). En ambos tratamientos, se observó, durante los tres primeros días, el estrés del corte manifestando un incremento instantáneo de CO<sub>2</sub> (Abeles *et al.*, 1992; Artés *et al.*, 1999; Hong y Gross, 1998; 2000; Mencarelli y Saltveit 1988; Mencarelli *et al.*, 1989). Como sucedió con el melón procesado lavado en agua ozonizada durante 5 min (Capítulo 7, Sección 5.3.1.), este tratamiento promovió también en tomate, un ligero mayor estrés del corte frente al testigo. Un comportamiento similar fue observado por Liew y Prange (1994) y por Beltrán *et al.* (2003) en rodajas de zanahoria (3,7 ppm durante 7,5 ó 15 min) pero no así, en bastones de patata donde no encontraron diferencias significativas entre el testigo y los lavados con O<sub>3</sub>. Tampoco Avena-Bustillos *et al.* (2002) lavando tomates enteros con 1,8 ppm de O<sub>3</sub> durante 5, 10 ó 15 min observaron diferencias.

A partir del día 3, el testigo presentó un incremento en la emisión de CO<sub>2</sub> pero sin diferencias significativas respecto al tratamiento con agua ozonizada.



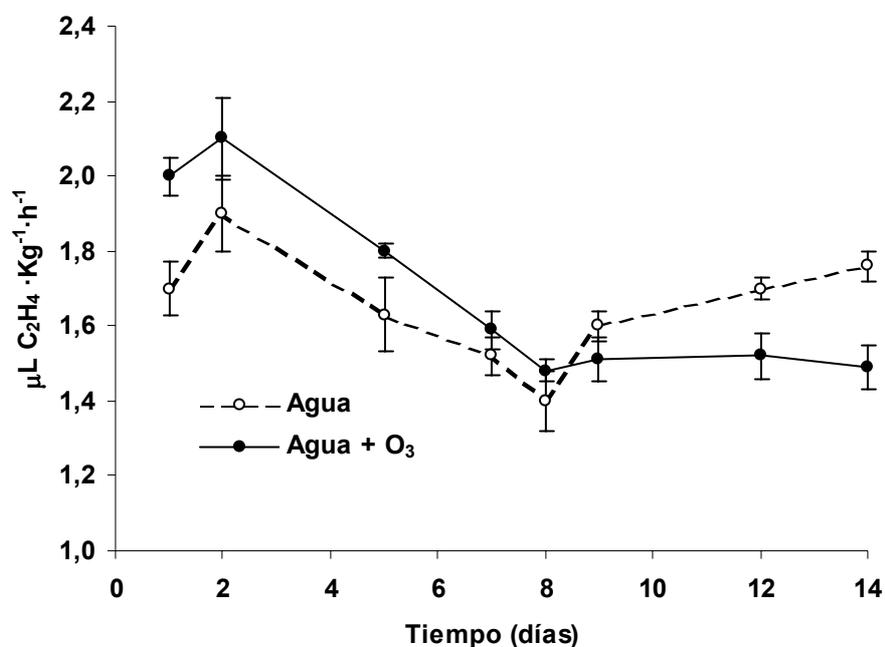
**Figura 11.1.** Tasa respiratoria de rodajas de tomate Thomas lavado en agua con o sin ozono durante 5 min y conservado durante 14 días a 5°C. Media (n = 5) ± error estándar.

La tasa respiratoria media de la variedad Thomas procesado en rodajas a 5°C, osciló entre 7,5 y 10 mg CO<sub>2</sub> ·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, valor muy similar al encontrado para las rodajas de esta misma variedad en el tratamiento testigo del Capítulo 12 de esta misma Sección aunque ligeramente superior a los obtenidos en Calibra en el Capítulo 8 (7-6 mg CO<sub>2</sub> ·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>).

Un comportamiento muy similar al de la tasa respiratoria se obtuvo en la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. Inicialmente, en ambos tratamientos se observó el estrés del corte acompañado por el aumento en los niveles de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. El lavado con agua ozonizada incrementó ligeramente la emisión. Superado el estrés del corte, las rodajas de tomate lavadas con ozono redujeron la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> estabilizándose, sin aumento en los niveles de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> por posible contaminación microbiana.

En el testigo, también se observó una paulatina reducción en los niveles de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> hasta el noveno día, momento en el cual aumentó, probablemente promovido por la contaminación fúngica (Tabla 11.9) como sucedió en el melón al octavo día (Capítulo 7, Sección 3.1.) y como encontraron Hong y Gross (1998, 2000).

Según los resultados encontrados en este ensayo y los obtenidos con el melón, podemos decir, que el O<sub>3</sub> afectó dos fenómenos típicos que presenta un producto cuando es procesado, tuvo cierta tendencia en incrementar el CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> durante el estrés del corte y redujo esos niveles ocasionados por la posterior contaminación microbiana.

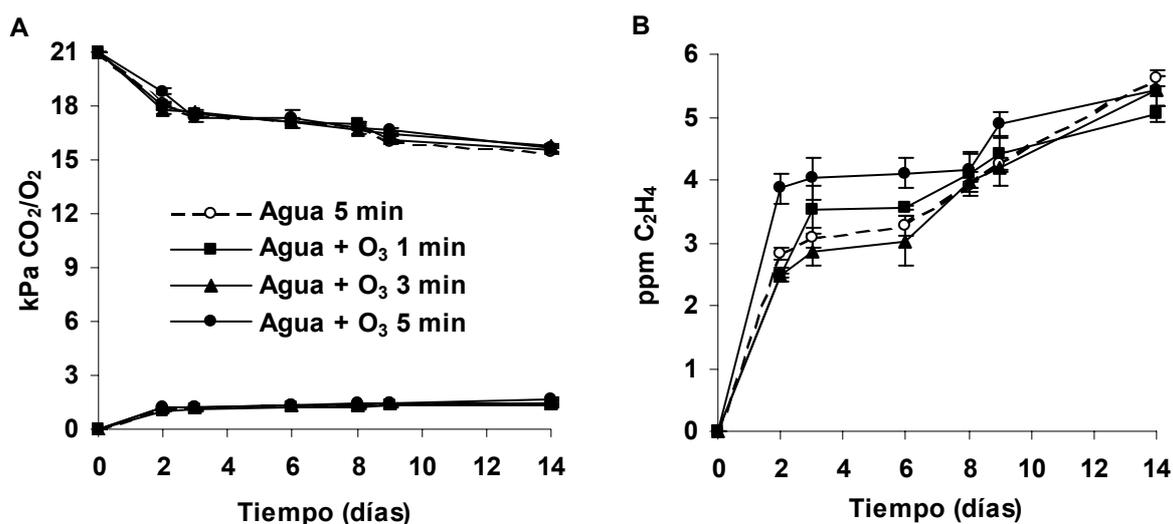


**Figura 11.2.** Emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> de rodajas de tomate Thomas lavado en agua con o sin ozono durante 5 min y conservado durante 14 días a 5°C. Media (n = 5) ± error estándar.

Los niveles medios de  $C_2H_4$  para esta variedad procesada en rodajas y conservada a  $5^\circ C$  oscilaron entre 1,6 y  $2,0 \mu L C_2H_4 \cdot Kg^{-1} \cdot h^{-1}$  similares a los encontrados para esta misma variedad en el Capítulo 12 y próximos a los obtenidos en rodajas de “Calibra” ( $1,3-1,7 \mu L C_2H_4 \cdot Kg^{-1} \cdot h^{-1}$ ) en el Capítulo 8 (Sección 3.2.1.).

### 11.3.2. Composición gaseosa de las tarrinas.

El plástico microperforado evitó la reducción en la concentración de  $O_2$  así como la acumulación de  $CO_2$ , como deseábamos, para estudiar el efecto exclusivo del  $O_3$ . Debido a la similitud en las tasas respiratorias en ambos tratamientos de lavado, las concentraciones gaseosas fueron similares (Figura 11.3A), sobre 15,6 kPa  $O_2$  y 1,5 kPa  $CO_2$ . Los niveles de  $C_2H_4$  fueron entre 5 y 5,6 ppm (Figura 11.3B), sin diferencias entre tratamientos, salvo en los primeros días donde las tarrinas con las rodajas de tomate lavadas durante 5 min con  $O_3$  alcanzaron una mayor concentración por el mayor estrés inicial.



**Figura 11.3.** Evolución gaseosa de melón de rodajas de tomate Thomas lavado en agua con o sin ozono durante 1, 3 ó 5 min y conservado durante 14 días a  $5^\circ C$ . Media ( $n = 5$ )  $\pm$  error estándar. **A:** kPa  $CO_2$  u  $O_2$ . **B:** ppm  $C_2H_4$ .

### 11.3.3. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos.

#### 11.3.3.1. Evaluación sensorial.

Sólo el factor tiempo de conservación fue significativo en los parámetros sensoriales (Tabla 11.2). No hubo diferencias con el empleo de agua con o sin ozonizar. Sin embargo, Morell *et al.* (1993) en champiñón, Beltrán *et al.* (2003) en bastones de patata y rodajas de

zanahoria, García *et al.* (2001) en lechuga, Kute *et al.* (1995) en fresas, Lewis *et al.* (1996) en brócoli, lograron mejorar la calidad sensorial con agua ozonizada.

Ningún tratamiento alcanzó una vida útil de 14 días, principalmente por la pérdida del aroma; por ello, la calidad global fue inferior a 5 (límite de comercialización). Sin embargo, por la calidad sensorial es posible lograr una vida comercial de las rodajas de tomate Thomas de 10 días a 5°C.

**Tabla 11.2.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos de lavado en los parámetros sensoriales de rodajas de tomate Thomas durante 14 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Lavado	Apariencia (1 – 9)	Sabor (1 – 9)	Aroma (1 – 9)	Textura (1 – 9)	CG (1 – 9)
<b>Inicial</b>		8,0 <sup>z</sup>	7,7	8,0	7,7	8,0
<b>5 días</b>	<b>Agua 5'</b>	7,7	7,5	7,7	7,0	6,7
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	6,7	7,3	7,0	7,3	7,2
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	7,2	7,2	7,0	7,3	7,0
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	6,8	7,3	7,3	7,3	6,8
<b>10 días</b>	<b>Agua 5'</b>	6,7	6,5	6,5	6,5	6,2
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	5,7	6,3	6,7	6,8	6,2
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	6,3	6,8	6,5	6,8	6,3
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	6,5	6,8	6,8	6,5	6,8
<b>14 días</b>	<b>Agua 5'</b>	4,5	6,0	4,0	6,0	4,5
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	5,0	6,0	4,0	6,3	4,7
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	5,0	6,0	3,7	6,3	4,7
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	5,0	6,0	3,7	6,3	4,5
<b>Tiempo conservación</b>		(0,8) <sup>c</sup>	(1,0) <sup>c</sup>	(0,6) <sup>c</sup>	(0,7) <sup>c</sup>	(0,6) <sup>c</sup>
<b>Lavado</b>		NS	NS	NS	NS	NS
<b>Tiempo x lavado</b>		NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. CG: calidad global.

Los parámetros sensoriales más lábiles fueron apariencia, aroma y calidad global, donde en sólo 5 días disminuyeron de forma significativa con respecto al inicial (Tabla 11.3) aunque aquellos se mantienen hasta el día 10 mientras que el aroma continúa decreciendo hasta el final de la conservación. El sabor y la textura mostraron un comportamiento muy similar

disminuyendo paulatinamente pero manteniéndose por encima del límite de comercialización, incluso tras 14 días de conservación.

**Tabla 11.3.** Separación de medias en los parámetros sensoriales de rodajas de tomate Thomas durante 14 días a 5°C cuando el factor tiempo fue significativo.

	<b>Apariencia</b> <b>(1 – 9)</b>	<b>Sabor</b> <b>(1 – 9)</b>	<b>Aroma</b> <b>(1 – 9)</b>	<b>Textura</b> <b>(1 – 9)</b>	<b>CG</b> <b>(1 – 9)</b>
<b>Inicial</b>	8,0 <sup>2</sup> a	7,7 a	8,0 a	7,7 a	8,0 a
<b>5 días</b>	7,1 b	7,3 ab	7,3 b	7,3 ab	6,9 b
<b>10 días</b>	6,3 b	6,6 bc	6,3 c	6,7 bc	6,4 b
<b>14 días</b>	4,8 c	6,0 c	3,8 d	6,3 c	4,6 c

<sup>2</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 11.2) por la prueba de LSD. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 3 = pobre, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente.

### 11.3.3.2. Firmeza y color del zumo.

Los lavados influyeron en la firmeza y el color del zumo (Croma). Además, el factor tiempo influyó en la firmeza y L\* del zumo. El tono (°H) no fue significativo para ninguno de los parámetros estudiados (Tabla 11.4).

La firmeza decreció de forma significativa en tan sólo 5 días (Tabla 11.5), entre un 23-28% (según tratamiento), mostrando una pauta similar al vertiginoso ablandamiento que sufre el melón procesado (Capítulos 1 a 6). A partir del quinto día, los lavados con agua ozonizada frenaron el ablandamiento manteniéndose sin cambios significativos hasta el final de conservación. Sin embargo, las rodajas del testigo prosiguieron ablandándose. En las salidas 10 y 14, las rodajas lavadas 5 min con agua ozonizada retuvieron mejor la firmeza, seguidos de los lavados de 3 min, 1 min y el testigo.

Al final de la conservación, el ablandamiento fue del 50% para el testigo, un 38% con el lavado con agua ozonizada de 1 min y un 26% con 3 ó 5 min. Luego, el O<sub>3</sub> evitó el ablandamiento. También Morell *et al.* (1993) incrementaron la textura con la inmersión de champiñones en agua ozonizada (no especifica la dosis) a 4°C durante 48 h. Sin embargo, este fenómeno no fue observado cuando se realizaron lavados similares en melón procesado incluso con concentraciones superiores a las de este estudio (Capítulo 7, Sección 3.3.1.). Tampoco Avena-Bustillos *et al.* (2002) en tomate entero con lavados de 5, 10 y 15 min a 1,8 ppm ni por Escriche *et al.* (2001) en champiñón aplicando 100 mg·h<sup>-1</sup> durante 15 ó 30 min observaron cambios significativos respecto a las características texturales.

**Tabla 11.4.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos de lavado en la firmeza y el color del zumo de rodajas de tomate Thomas durante 14 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Lavado	Firmeza (N)	L* zumo	°H zumo	Croma zumo
Inicial		11,7 <sup>z</sup>	57,5	52,8	21,2
5 días	Agua 5'	9,0	56,8	49,4	21,3
	Agua + O <sub>3</sub> 1'	8,4	54,9	56,8	22,8
	Agua + O <sub>3</sub> 3'	8,8	56,2	56,3	23,8
	Agua + O <sub>3</sub> 5'	9,1	58,1	54,1	24,8
10 días	Agua 5'	6,6	55,2	56,1	20,3
	Agua + O <sub>3</sub> 1'	7,1	56,8	55,3	22,0
	Agua + O <sub>3</sub> 3'	8,4	56,4	53,9	22,0
	Agua + O <sub>3</sub> 5'	8,6	55,0	52,2	22,8
14 días	Agua 5'	5,8	53,3	53,9	21,0
	Agua + O <sub>3</sub> 1'	7,2	52,6	51,3	20,5
	Agua + O <sub>3</sub> 3'	8,6	53,4	53,1	20,0
	Agua + O <sub>3</sub> 5'	8,7	51,6	50,7	20,5
<b>Tiempo conservación</b>		(1,5) <sup>c</sup>	(2,0) <sup>c</sup>	NS	NS
<b>Lavado</b>		NS	NS	NS	(0,9) <sup>b</sup>
<b>Tiempo x lavado</b>		(2,3) <sup>b</sup>	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5, excepto para el color pulpa y firmeza n = 30); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis.

<sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001.

**Tabla 11.5.** Interacción (tiempo conservación x lavado) en la firmeza y la saturación del zumo de rodajas de tomate Thomas tras 14 días a 5°C.

	Firmeza (N)			
	Inicial	5d	10d	14d
Agua 5'	11,7 <sup>z</sup> Aa	9,0 Ba	6,6 Cb	5,8 Cb
Agua + O <sub>3</sub> 1'	11,7 Aa	8,4 Ba	7,1 Bab	7,2 Bab
Agua + O <sub>3</sub> 3'	11,7 Aa	8,8 Ba	8,4 Bab	8,6 Ba
Agua + O <sub>3</sub> 5'	11,7 Aa	9,1 Ba	8,6 Ba	8,7 Ba

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 11.4) por la prueba de LSD.

La luminosidad del zumo de las rodajas se mantuvo hasta el día 10. Al final de la conservación, el zumo manifestó una menor  $L^*$  (Tabla 11.7). El  $^{\circ}H$  del zumo osciló entre 49,4 y 56,1 (Tabla 11.4) indicando un color rojo. Un mayor Cromo (saturación en color rojo) presentaron las rodajas de tomate cuando se lavaron con agua ozonizada 5 min (Tabla 11.8) frente al testigo señalando que la pureza del color del tomate se mantiene con el  $O_3$ .

Como ya se discutió en el Capítulo 7 (Sección 3.3.2), Liew y Prange (1994) detectaron un aumento en  $L^*$  y una disminución en Cromo de la superficie de zanahorias empleando 28 ppm  $O_3$  (p/v) en aire. Así mismo, el  $O_3$  incrementó la velocidad de pardeamiento externo pero disminuyó el interno en champiñones (Escriche *et al.*, 2001).

Morell *et al.* (1993) y Beltrán *et al.* (2003) retardaron el pardeamiento en champiñones y bastones respectivamente, con el agua ozonizada. Mientras Barth *et al.* (1995) conservó zarzamoras a 2°C con 0,3 ppm  $O_3$  sin diferencias en  $L^*$  ni el Cromo pero reteniendo mejor el color de la fruta respecto al testigo.

El  $O_3$  en algunos casos, puede cambiar el color superficial de algunos productos. Los cambios en el Cromo en zumo de melón no estuvieron influenciados por los lavados de ozono aunque éste sí influyó en  $L^*$  e IB de la pulpa, evitando cuando su duración era corta (1 min) la reducción de estos parámetros.

### 11.3.3.3. SST y azúcares.

En tomate, los azúcares constituyen son muy importantes responsables para la calidad en el tomate. Su contenido alcanza aproximadamente el 50% de la materia seca, un 25% en forma de fructosa y un 22% en forma de glucosa (Davies y Hobson, 1981; Davies y Kempton, 1975). El otro 25% corresponden a cítrico (9%), málico (4%), aminoácidos dicarbóxicos (2%), lípidos (2%) y minerales (8%) (Davies y Hobson, 1981).

Winsor (1962), Davies y Kempton (1975), Goodenough y Thomas (1981) y Young *et al.* (1993) comprobaron que las concentraciones de glucosa en un estado preclimatérico del tomate doblan a la de fructosa. Pero conforme evoluciona a un estado verde-maduro y posteriores, la relación glucosa/fructosa alcanza la unidad e incluso la concentración de fructosa es ligeramente superior a la de glucosa (Young *et al.*, 1993) y no hay cambios significativos en los siguientes estados de madurez.

En este ensayo, debido al progresivo metabolismo del tomate procesado, los SST disminuyeron con la conservación (Tabla 11.6). Se observó una reducción significativa en el quinto día que se mantuvo sin cambios hasta el final de la conservación (Tabla 11.7).

El tiempo de conservación influyó en los SST y en la evolución de la glucosa y fructosa (Tabla 11.6). También se observó una reducción en los monosacáridos y, en especial en la glucosa, que manifestó un cambio significativo en el día 5, la cual se isomerizó a fructosa. La relación entre glucosa/fructosa a lo largo de la conservación fue entre 0,97-0,98, lo cual indica que el consumo de ambos monosacáridos es muy similar, por cada molécula de glucosa consumida o isomerizada se consume otra de fructosa. La relación 0,97-0,98 también se mantuvo en todos los tratamientos con o sin lavado con agua ozonizada.

Como sucedió con el lavado del melón, los tratamientos de ozono, en especial los de mayor duración, redujeron el consumo de estos monosacáridos, es decir, un menor consumo de azúcares probablemente debido a una actividad metabólica más ralentizada que el testigo.

**Tabla 11.6.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos de lavado en los azúcares, AT y pH del zumo de rodajas de tomate Thomas durante 14 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Lavado	SST	Fructosa	Glucosa	AT	pH
<b>Inicial</b>		5,7 <sup>z</sup>	19,22	18,92	0,35	4,30
<b>5 días</b>	Agua 5'	5,1	18,42	17,69	0,37	4,28
	Agua + O <sub>3</sub> 1'	5,3	18,39	17,78	0,38	4,30
	Agua + O <sub>3</sub> 3'	5,3	19,07	18,81	0,40	4,23
	Agua + O <sub>3</sub> 5'	5,0	19,30	18,92	0,40	4,27
<b>10 días</b>	Agua 5'	5,0	17,13	16,53	0,39	4,26
	Agua + O <sub>3</sub> 1'	5,2	17,66	17,70	0,38	4,29
	Agua + O <sub>3</sub> 3'	5,3	18,14	17,34	0,39	4,27
	Agua + O <sub>3</sub> 5'	5,1	18,25	18,16	0,38	4,21
<b>14 días</b>	Agua 5'	5,0	16,66	16,69	0,39	4,26
	Agua + O <sub>3</sub> 1'	5,3	18,18	17,29	0,38	4,30
	Agua + O <sub>3</sub> 3'	5,6	17,86	17,40	0,38	4,26
	Agua + O <sub>3</sub> 5'	5,2	18,62	17,14	0,38	4,24
<b>Tiempo conservación</b>		(0,4) <sup>c</sup>	(0,84) <sup>c</sup>	(0,99) <sup>c</sup>	(0,03) <sup>b</sup>	(0,03) <sup>c</sup>
<b>Lavado</b>		NS	(0,64) <sup>b</sup>	(0,57) <sup>a</sup>	NS	NS
<b>Tiempo x lavado</b>		NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: contenido en sólidos solubles (°Brix). Fructosa, glucosa (gL<sup>-1</sup>). AT: Acidez titulable (g cítrico 100 mL<sup>-1</sup>).

**Tabla 11.7.** Separación de medias en el Croma, contenido en fructosa y glucosa y de rodajas de tomate Thomas tras 14 días a 5°C cuando el tipo de lavado fue significativo.

	<b>Croma</b>	<b>Fructosa</b>	<b>Glucosa</b>
<b>Agua 5'</b>	20,9 b	17,86 b	17,46 b
<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	21,6 ab	18,36 ab	17,92 ab
<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	21,7 ab	18,57 a	18,12 a
<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	22,3 a	18,85 a	18,29 a

<sup>2</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tablas 11.4 y 11.6) por la prueba de LSD. Fructosa, glucosa, sacarosa (gL<sup>-1</sup>).

#### 11.3.3.4. AT, pH y ácidos orgánicos.

Como ha ocurrido en todos los Capítulos, el tiempo incrementó la AT acompañada de una disminución en el pH (Tabla 11.6). Estos cambios se observaron en el día 5 manteniéndose sin variar hasta el final de la conservación (Tabla 11.8). El lavado con o sin agua ozonizada no influyó en la AT ni en el pH del zumo.

Probablemente, la contaminación microbiológica, en especial, las bacterias ácido lácticas contribuyeron al aumento de la misma (Nguyen-the y Carlin, 1994).

**Tabla 11.8.** Separación de medias en la luminosidad, SST, fructosa y glucosa, AT, pH, ácido ascórbico, fumárico y succínico de rodajas de tomate Thomas durante 14 días a 5°C cuando el factor tiempo fue significativo.

	<b>L*</b>	<b>SST</b>	<b>Fructosa</b>	<b>Glucosa</b>	<b>AT</b>	<b>pH</b>	<b>Ascórbico</b>	<b>Fumárico</b>	<b>Succínico</b>
<b>Inicial</b>	57,1 a	5,7 a	19,22 a	18,92 a	0,35 b	4,30 a	19,70 a	1,01 a	0,03 a
<b>5 días</b>	56,5 a	5,1 b	18,79 a	18,30 b	0,39 a	4,27 ab	17,18 ab	0,95 a	0,02 b
<b>10 días</b>	55,9 a	5,1 b	17,79 b	17,43 bc	0,38 a	4,26 b	15,86 b	0,78 b	0,02 b
<b>14 días</b>	52,7 b	5,2 b	17,83 b	17,13 c	0,38 a	4,26 b	15,30 b	0,93 ab	0,02 b

<sup>2</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tablas 11.4 y 11.6) por la prueba de LSD. Fructosa, glucosa (gL<sup>-1</sup>). AT: Acidez titulable (g cítrico · 100 mL<sup>-1</sup>). Ascórbico y fumárico (mg · 100mL<sup>-1</sup>), succínico (g · 100 mL<sup>-1</sup>).

Los principales ácidos orgánicos en tomate son cítrico, málico, succínico, ascórbico y fumárico (Tabla 11.9). Según Souci *et al.* (1986) además, esta fruta presenta otros ácidos como oxalacético, clorogénico, láctico, acético, pirúvico, quínico, ferúlico, aspártico glutámico y

fólico en cantidades variables. En nuestro caso, sólo pudimos determinar por cromatografía líquida los presentes en la Tabla 11.9.

Según Souci *et al.* (1986) la concentración de cítrico y málico en tomate es de 0,44 y 0,037 g·100 g<sup>-1</sup>, respectivamente. Mientras que la de ascórbico y fumárico es de 24,4 y 1,6 mg·100 g<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos valores son similares a los encontrados en este trabajo aunque el ascórbico presentó valores más bajos que los de dichos investigadores. Probablemente, por la facilidad del ascórbico a la oxidación por efecto de la luz y la temperatura.

**Tabla 11.9.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos de lavado en los principales ácidos orgánicos de rodajas de tomate Thomas durante 14 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Lavado	Málico	Ascórbico	Cítrico	Fumárico	Succínico
<b>Inicial</b>		0,04 <sup>z</sup>	19,70	0,40	1,01	0,03
<b>5 días</b>	<b>Agua 5'</b>	0,05	19,11	0,43	1,19	0,03
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	0,04	16,06	0,43	0,99	0,03
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	0,06	16,81	0,42	0,82	0,02
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	0,05	16,75	0,41	0,81	0,02
<b>10 días</b>	<b>Agua 5'</b>	0,05	16,74	0,40	0,79	0,02
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	0,05	14,56	0,43	0,66	0,02
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	0,05	17,77	0,41	0,98	0,02
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	0,04	14,38	0,40	0,69	0,02
<b>14 días</b>	<b>Agua 5'</b>	0,05	16,58	0,41	1,03	0,01
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 1'</b>	0,05	15,43	0,40	0,98	0,02
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 3'</b>	0,04	13,51	0,40	0,81	0,02
	<b>Agua + O<sub>3</sub> 5'</b>	0,05	15,71	0,40	0,90	0,02
<b>Tiempo conservación</b>		NS	(2,95) <sup>c</sup>	NS	(0,15) <sup>b</sup>	(0,006) <sup>c</sup>
<b>Lavado</b>		NS	NS	NS	NS	NS
<b>Tiempo x lavado</b>		NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Málico, cítrico y succínico (g · 100 mL<sup>-1</sup>), ascórbico y fumárico (mg · 100mL<sup>-1</sup>).

Centrándonos en los ácidos predominantes de este ensayo, ninguno de los factores estudiados influyó en el contenido de ácido cítrico y málico, tal y como sucedió en el Capítulo 7 (Sección 3.3.4.) de melón lavado con agua ozonizada. En cambio, el contenido en ácido ascórbico, fumárico y succínico disminuyó con el tiempo de conservación (Tabla 11.8).

#### 11.3.4. Análisis microbiológico.

Además de los recuentos microbianos presentados en la Tabla 11.10, se determinó la flora microbiana del agua con o sin O<sub>3</sub>, momento antes de introducir las muestras. También se analizó el agua después de los lavados de cada tratamiento, con o sin ozono, 1, 3 ó 5 min. En ninguna muestra se obtuvo recuento alguno, es decir, las unidades log de los mesófilos y psicrotrofos fueron inferiores a 1 y las levaduras y mohos inferior a 1,7 UFC·g<sup>-1</sup>.

Los análisis microbiológicos realizados en las muestras de tomate una vez lavadas se exponen en la Tabla 11.9. Como ocurrió con el melón (Capítulo 7), el O<sub>3</sub> fue efectivo en reducir la flora inicial bacteriana de 1,7 UFC·g<sup>-1</sup> hasta <1 UFC·g<sup>-1</sup>. Los lavados con O<sub>3</sub> de 3 min fueron efectivos en reducir la flora bacteriana tanto en el día 5 como en el 10. En el día 5, para este tratamiento, las reducciones en los conteos de mesófilos y psicrotrofos en comparación con el testigo fueron de 0,5 y 0,4 unidades log respectivamente. Estos valores son similares a los 0,2 y 0,3 unidades encontradas para este mismo tratamiento en melón procesado (Capítulo 7) tras 5 días de conservación, a pesar de que la concentración de O<sub>3</sub> fue superior (6,5 ppm).

En el día 10, se logró una notable reducción con los lavados ozonizados tanto de 3 como de 5 min. Las diferencias con respecto al testigo utilizando O<sub>3</sub> durante 3 min fueron de 1,9; 1,6 y 0,7 unidades log en los recuentos de mesófilos, psicrotrofos y levaduras, respectivamente. Para los lavados ozonizados de 5 min estas reducciones con el testigo fueron menores, 0,7; 1 y 0,7 unidades log en los grupos microbianos citados.

Estas reducciones quedan muy lejos de las 5 unidades log logradas por Kim *et al.* (1999b) o Rego *et al.* (2002) en distintas bacterias. Así mismo, Restaino *et al.* (1995) destruyeron más de 4,5 unidades log de *Candida albicans* y *Zygosaccharomyces bailii* con 5 min de exposición en agua ozonada (0,19 ppm). Tan sólo en 2 unidades log lograron Farooq y Akhlaque (1983) reducir la población de *Candida parapsilosis* con la exposición a 0,26 ppm O<sub>3</sub> durante 1,7 min o Kawamura *et al.* (1986) en *C. tropicalis* con 0,02 ppm durante 20 s ó a 1 ppm durante 5 s.

Resultados más próximos a los obtenidos en este trabajo, pueden ser los 1,2 log en los mesófilos y 1,8 unidades logarítmicas en el recuento de psicrotrofos en lechuga con una dosis de 62,4 mg ·L<sup>-1</sup> (Kim *et al.*, 1999b). En este mismo cultivo, Singh *et al.* (2002a, 2000b) redujeron

1,63 ± 0,08 unidades la población inoculada de *E. coli* con el lavado en agua de 10 ppm O<sub>3</sub> durante 5 min y 0,43 unidades en zanahoria tras 10 ó 15 min de exposición a 5,2 ppm. Si la concentración de ozono y duración del lavado aumentaba (16,5 ppm durante 15 min), obtenían reducciones de hasta 0,49 en lechuga y 0,57 en zanahorias frente al testigo.

Si además, el producto va ligado a una conservación, la inhibición del O<sub>3</sub> se reduce todavía más. Pocos investigadores que han presentado datos en frutas y hortalizas lavadas con ozono tras la conservación. Beltrán *et al.* (2003) obtuvieron disminuciones de 0,61 unidades log en bastones de patata y 1 unidad log en rodajas de zanahoria tras una semana a 8°C con lavados en agua ozonizada (3,7 ppm) durante 7,5 min. Con 15 min de aplicación se logró una disminución de 0,47 y 0,3 unidades log en las bacterias ácido lácticas de patata y zanahoria respectivamente. Avena-Bustillos *et al.* (2002) también observaron una reducción microbiológica cuando el O<sub>3</sub> estuvo presente en los lavados de tomate entero tras conservarlos 9 días a 15°C y 6 días a 20°C. Estos datos son muy similares a los alcanzados en este estudio en el día 5 con una concentración de O<sub>3</sub> en agua semejante y una duración de 3 y 5 min. Incluso, en el día 10, las reducciones alcanzadas con lavados de 3 min en las rodajas de tomate (1,9-1,6 UFC·g<sup>-1</sup>) superan holgadamente a los resultados obtenidos por diferentes autores en productos hortícolas.

Por el contrario, lavados ozonizados de 1 min fueron excesivamente cortos y no tuvieron ningún efecto en frenar el crecimiento microbiano a lo largo de la conservación, incluso los conteos fueron mayores.

Lamentablemente, tras dos semanas de conservación, no se observaron diferencias en ninguno de los tratamientos con o sin lavado con agua ozonizada, salvo en el recuento de levaduras donde se mantuvo una diferencia de 1 unidad en los lavados ozonizados de 3 y 5 min frente al testigo. Con respecto al desarrollo de mohos se observó crecimiento en todos los tratamientos sin diferencias significativas entre los mismos salvo cuando se aplicó ozono durante 5 min donde no se detectó crecimiento (<1 UFC·g<sup>-1</sup>).

Como sucedió en el melón, el O<sub>3</sub> tuvo un efecto significativo en la inhibición de mohos, pero en esta ocasión, si fue importante la duración del baño, probablemente porque el tomate dado su bajo pH es más propenso a la contaminación fúngica y se requiere un lavado prolongado para inhibir/reducir el crecimiento de mohos.

Al igual que sucedió con el melón, O<sub>3</sub> el fue efectivo en mermar la población inicial microbiana, pero con una prolongada conservación su efectividad se anula, debido a la posterior multiplicación de los microorganismos que sobreviven al lavado inicial.

De forma similar a lo ocurrido en el Capítulo 7, en tomate se observó que la utilización de tiempos “medios” fueron más eficaces que los “cortos o prolongados”, en ambos productos se prefirió el lavado de 3 min frente al de 5 min, dado que posiblemente mayores tiempos permitieran al O<sub>3</sub> reaccionar con otros componentes del tejido de la fruta mermando su acción antimicrobiana. En nuestro caso, la inactivación no siempre aumentó con el tiempo de exposición como observó Kim *et al.* (1999a) donde tras 5 min de lavado con agua ozonizada las reducciones alcanzadas fueron de 3,9 y 4,6 UFC·g<sup>-1</sup> para mesófilos y psicrotrofos respectivamente frente a las 1,2 log y 1,8 UFC·g<sup>-1</sup> conseguidas con 3 min. No obstante, las concentraciones utilizadas por estos autores fueron muy elevadas (62,4 ppm).

**Tabla 11.9.** Recuentos microbiológicos (log UFC·g<sup>-1</sup>) en rodajas de tomate Thomas bañado en agua normal (testigo) durante 5 min u ozonizada (3,8 ppm) durante 1, 3 ó 5 min a lo largo de 14 días a 5°C.

	Tratamiento		Mesófilos	Psicrotrofos	Levaduras	Moho
INICIAL	Agua	5'	1,7 ± 0,1	1,7 ± 0,1	<1,7	<1,7
	Agua + O <sub>3</sub>	1'	<1	<1	<1,7	<1,7
		3'	<1	<1	<1,7	<1,7
		5'	<1	<1	<1,7	<1,7
DÍA 5	Agua	5'	2,3 ± 0,1	2,0 ± 0,1	<1,7	<1,7
	Agua + O <sub>3</sub>	1'	2,9 ± 0,2	3,1 ± 0,2	<1,7	<1,7
		3'	1,8 ± 0,1	1,8 ± 0,2	<1,7	<1,7
		5'	2,3 ± 0,1	2,3 ± 0,2	<1,7	<1,7
DÍA 10	Agua	5'	4,1 ± 0,1	3,7 ± 0,3	1,7 ± 0,2	<1
	Agua + O <sub>3</sub>	1'	4,3 ± 0,3	3,2 ± 0,3	1,5 ± 0,2	<1
		3'	2,2 ± 0,2	2,1 ± 0,3	<1,7	<1
		5'	3,4 ± 0,4	2,7 ± 0,2	<1,7	<1
DÍA 14	Agua	5'	3,5 ± 0,4	4,2 ± 0,4	2,0 ± 0,2	1,1 ± 0,1
	Agua + O <sub>3</sub>	1'	4,1 ± 0,2	4,1 ± 0,2	2,4 ± 0,2	1,1 ± 0,1
		3'	3,4 ± 0,5	4,3 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1
		5'	3,9 ± 0,1	4,9 ± 0,1	<1	<1

<sup>z</sup> Media (n = 5) ± error estándar.

Resumiendo este apartado, podemos decir que hasta el día 10, los lavados de O<sub>3</sub> de 5 y, en especial 3 min fueron muy efectivos en reducir la flora mesofílica y psicrotrófica natural del tomate procesado. Al final de esta prolongada conservación la capacidad microbicida del O<sub>3</sub> desapareció. Es importante señalar, que en todos los tratamientos se mantuvo la calidad microbiológica al no sobrepasar los límites de la legislación española (RD 3484/2000, 2001). Si comparamos estos resultados con los obtenidos en melón procesado, observamos que las reducciones microbianas son mayores incluso con una concentración de O<sub>3</sub> inferior. Posiblemente, esto se debe a dos causas, la primera es que a pesar de que inicialmente en ambos productos se redujo la flora inicial, la población inicial en melón después del tratamiento era de 1,2-1,7 unidades mientras que en el tomate partimos de una flora inicial inferior a 1 unidad. Esto se traduce en un crecimiento microbiano más veloz en melón que en tomate ya que los microorganismos se multiplican exponencialmente. A esta causa, hay que añadir que el tomate es un fruto con un bajo pH (4,3) frente al del melón (5,6), inhibiéndose y/o retrasándose el crecimiento bacteriano principalmente, aunque es más susceptible a la contaminación fúngica

#### 11.4. CONCLUSIONES.

El lavado con agua ozonada (5 min) promovió, al igual que sucedió en melón, un ligero aumento en la emisión de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> durante el estrés del corte. Superado éste, no se observaron diferencias significativas con respecto el testigo.

Los lavados con agua ozonizada no influyeron en los parámetros sensoriales donde sólo el tiempo de conservación ejerció una importante influencia. Una pobre apariencia, aroma y calidad global impidieron alcanzar una vida útil de 14 días a 5°C.

El daño por frío (translucencia) se incrementó con el tiempo de conservación, en el día 7 fue nulo, leve en el día 10 y moderado en el 14, no siendo recomendables tiempos tan prolongados. Los lavados de O<sub>3</sub> no tuvieron ninguna eficiencia en reducir éste, ya que se presentó en todos los tratamientos.

Contrariamente a lo sucedido con el melón procesado, los lavados de 3 y 5 min, sí lograron una mejor retención de la firmeza frente al testigo. Al final de la conservación, el ablandamiento fue de un 50% para el testigo, un 26% para los tratamientos ozonados de 3 ó 5 min. Estos tratamientos también redujeron el consumo de fructosa y glucosa, aunque la disminución de los SST sólo decreció con el periodo de conservación.

En ningún momento el O<sub>3</sub> causó daños visibles en las rodajas de tomate ni transmitió sabores o aromas extraños o desagradables.

Hasta el día 10, fue realmente efectivo en frenar el crecimiento microbiano cuando los tiempos de lavado eran de 5 min y, en especial, 3 min. No obstante, al final de la conservación se inhibió el efecto del mismo donde no hubo diferencias significativas entre los tratamientos salvo en el desarrollo de mohos donde en los lavados ozonizados durante 5 min no se produjo crecimiento fúngico. La utilización de O<sub>3</sub> a una concentración de 3,8 ppm durante un minuto resultó ineficaz. Se prefirieron tiempos medio (3 min) frente a prolongados (5 min) ya que la reducción en la flora microbiana en rodajas de tomate conservadas a 5°C fue más importante.

## **Capítulo 12. ESTUDIO DE LA INFLUENCIA A LA EXPOSICIÓN CÍCLICA DE OZONO SOBRE EL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO, CALIDAD Y MICROBIOLOGÍA DE TOMATE PROCESADO EN FRESCO**

### **12.1. INTRODUCCIÓN.**

El uso del O<sub>3</sub> en tratamientos postcosecha está en auge (Parish *et al.*, 2003). Una de las aplicaciones como gas es su uso como agente desinfectante en cámaras de conservación o durante el transporte previniendo del crecimiento de bacterias, mohos y levaduras en la superficie de los alimentos, así como controlar insectos. Además, ozonizando la atmósfera (0,4 ppm) en cámaras frigoríficas se reduce la concentración de etileno presente en el aire pudiendo almacenar frutas y hortalizas emisoras de etileno conjuntamente con productos sensibles al etileno mejorando la calidad de éstos (Skog y Chu, 2000). Rice *et al.* (1982) recomendaban la aplicación en cámaras frigoríficas entre 1 y 2 ppm de O<sub>3</sub> por hora para evitar posibles oxidaciones y maximizar los efectos beneficiosos del mismos.

Ya se han discutido las ventajas e inconvenientes del O<sub>3</sub> y se han expuesto los riesgos de provocar daños sobre los productos si las concentraciones son elevadas (Introducción general, Capítulos 7 y 11).

Por ello, el objetivo de este trabajo fue estudiar en rodajas de tomate Thomas el efecto de O<sub>3</sub> a una concentración relativamente elevada sobre la actividad metabólica, parámetros fisico-químicos y calidad microbiológica durante 15 días a 5°C. La concentración de O<sub>3</sub> utilizada fue de 4 ppm, y para evitar dañar al fruto se aplicó cíclicamente, 30 min cada 3 horas. Además, se comparan estos resultados con los obtenidos con lavados ozonizados para comprobar la efectividad de ambas técnicas.

### **12.2. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **12.2.1. Material vegetal.**

El material vegetal estuvo compuesto por tomates de la variedad Thomas, cultivados en invernaderos de Mazarrón y recolectados en abril. Los frutos se seleccionaron en función de su tamaño y coloración externa, descartándose aquellos que presentaban lesiones por golpes y/o rozaduras o alteraciones. De la selección se tomó al azar una muestra de 20 tomates a los que se determinó el peso, los diámetros ecuatorial y polar y el color en la epidermis (Tabla 12.1).

**Tabla 12.1.** Caracterización inicial (peso, calibres y color de epidermis) de tomate Thomas.

Peso (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)	Color epidermis		
			L*	°H	Croma
100,6 <sup>z</sup> ± 1,4	3,0 ± 0,1	4,1 ± 0,1	40,42 ± 0,5	52,14 ± 1,3	35,66 ± 0,8

<sup>z</sup>Media (n = 20) ± error estándar.

### 12.2.2. Preparación de la muestra.

El procesado se realizó de la misma forma y en las mismas condiciones citadas en el Capítulo 8 (Sección 12.2.2.). Obtenidas las rodajas, éstas se colocaron en una bandeja, de donde se tomaban 250-300 g para introducirse en frascos de vidrio de 0,75 L. También se dispuso de frascos de 1,75 L con tres tomates enteros por muestra (470-480 g aprox.).

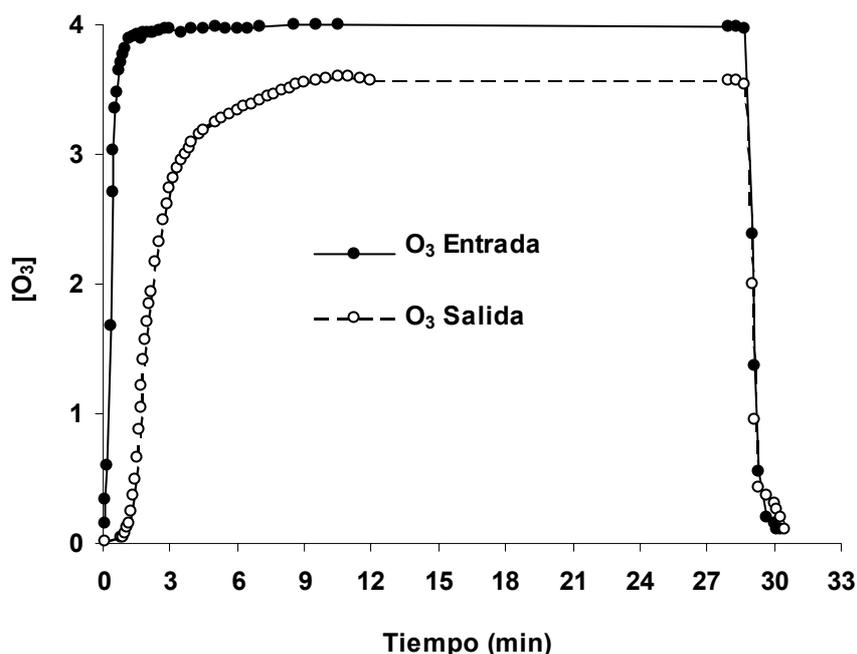
Una vez preparados todos los frascos se trasladan a una cámara de conservación a 5°C. A las muestras testigo se les hicieron pasar un flujo de aire (0,1 a 0,3 L·h<sup>-1</sup>) a través de un sistema mezclador de gases, mientras que los muestras a ozonizar se trasladaron al Centro de Capacitación Agraria de Molina de Segura (Murcia).

Allí, se les hizo pasar de forma cíclica un flujo de aire enriquecido 4 ± 0,5 ppm de O<sub>3</sub> durante 30 min cada 3 horas. Este flujo se obtenía de un generador industrial de ozono AMBICON (Ambiente Biológico y Control, Murcia, España) cuya producción era de 2 O<sub>3</sub> g·h<sup>-1</sup>.

Dado que la actividad fungicida del ozono aumenta con el incremento de la HR ya que el O<sub>3</sub> no penetra en profundidad en las frutas y su mayor acción se localiza en la superficie de la misma, se hicieron pasar estos flujos de aire por un frasco barboteador con agua donde se cargaban con un 95% HR. Con la ayuda de un repartidor de fabricación casera, el caudal gaseoso se dividía en distintas salidas, cada una de ellas conectada a los frascos que contenían el producto (Figura 3, Sección 1.3.2. de Materiales y Métodos generales).

Los caudales a la entrada de los frascos eran de 0,3 L h<sup>-1</sup> mientras transcurría la ozonización (30 min) y de 0,1 L h<sup>-1</sup> de aire una vez finalizada la misma. A pesar de que los flujos utilizados eran algo elevados, en los botes siempre quedaba un resto de 0,15 ppm de O<sub>3</sub>.

La concentración de O<sub>3</sub> se determinó con un sensor (EcoSensor, INC., modelo A-21ZX, EEUU). Esta concentración se determinó tanto a la salida del generador de ozono (entrada a la línea) como a la salida de los frascos que contenían los tomates procesados ó en rodajas. Esta evolución y concentración durante la ozonización se expone en la Figura 12.1.



**Figura 12.1.** Evolución de la ozonización ( $4 \pm 0,5$  ppm) durante los 30 min de aplicación determinados a la entrada de la línea tras el generador de ozono y a la salida del frasco que contiene las rodajas de tomate.

Se dispusieron 4 repeticiones por tratamiento. Todas las muestras se almacenaron durante 15 días a  $5^{\circ}\text{C}$  y 95% HR. Se realizaron cuatro tomas de muestras, al inicio del experimento y los días 6, 12 y 15.

Queremos señalar que en este trabajo exponemos unos breves resultados de un ensayo similar con las mismas condiciones y variedad utilizada pero con una concentración de 7 ppm de  $\text{O}_3$  aplicada durante 30 min cada 3 horas. Este ensayo fue una prueba realizada anterior al que se expone de forma exhaustiva para cerciorarnos de la funcionalidad de los equipos utilizados.

### 12.2.3. Determinaciones.

Para evaluar la eficacia de los tratamientos de lavado, durante la conservación se realizaron las siguientes determinaciones (Materiales y Métodos, Sección 2).

Regularmente, se determinó la tasa respiratoria tanto de rodajas de tomate como de tomate entero justo después de la ozonización. Inmediatamente después de los 30 min de ozonización, se cerraban los frascos y por sistema estático se evaluaba la emisión de  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$ . En el ensayo previo comentado, además de determinar estos gases tras la ozonización, se realizó transcurridos 30 min, para observar la recuperación del fruto frente al  $\text{O}_3$ .

En cada salida se realizó:

- Evaluación sensorial (sabor y aroma y CG). Escala hedónica de 9 puntos.
- Firmeza por compresión.
- Análisis microbiológico.

En el zumo obtenido a partir del tomate procesado, se evaluaron:

- Color ( $L^*$ ,  $^{\circ}H$  y Croma).
- SST y azúcares.
- AT, pH y ácidos orgánicos.

En todas las determinaciones se evaluaron 4 repeticiones por tratamiento salvo para la firmeza donde la media está compuesta por 20 valores, es decir, se evaluaron 5 piezas de cada réplica. Dado que el objetivo de este ensayo fue estudiar la eficacia de la aplicación de  $O_3$  frente al testigo, así como, el efecto del tiempo de conservación a  $5^{\circ}C$ , se optó por realizar un ANDEVA bifactorial (tiempo de conservación x tipo de gas). Cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó la prueba LSD.

### 12.3. Resultados y discusión.

#### 12.3.1. Tasa respiratoria y emisión de etileno.

La ozonización provocó el aumento instantáneo ( $13,6 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) en la tasa respiratoria de tomate entero durante 2 días, estabilizándose en los días posteriores ( $5-6 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Maguire *et al.* (1980) también detectaron en tomates enteros rin (“ripening inhibited”) un ligero y rápido aumento de la respiración durante los dos primeros días conservados a  $20^{\circ}C$  durante 9 días en presencia de 3,7 ppm de  $O_3$ .

En nuestro ensayo, el tomate entero en aire mostró inicialmente una menor tasa respiratoria ( $5,9-7 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) incrementándose paulatinamente hasta estabilizarse en  $14-12 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  hasta finalizar la conservación. Probablemente, esta intenta tasa respiratoria fue en respuesta a un estrés como el daño por frío (Eaks, 1960; Eaks y Morris, 1956; Morris, 1982; Kang y Lee, 1997; Saltveit, 1999) aunque no se detectaron daños visibles en el mismo, probablemente por el corto tiempo de conservación o porque no se transfirió a temperatura ambiente donde normalmente se desarrolla éste (King y Ludford, 1983).

En cambio, la ozonización redujo el incremento en la tasa respiratoria, lo que hace pensar que el estrés del frío se inhibió en presencia de  $O_3$  o dicho de otra forma, el estrés precedente pudo proteger al tomate del estrés posterior por bajas temperaturas. Parece existir un orden jerárquico de importancia en los estreses abióticos de tal forma que la respuesta del tejido a un

estrés, normalmente, modifica su respuesta respecto a otro, respondiendo preferencialmente a uno sobre otro (Loiza-Velarde *et al.*, 1997).

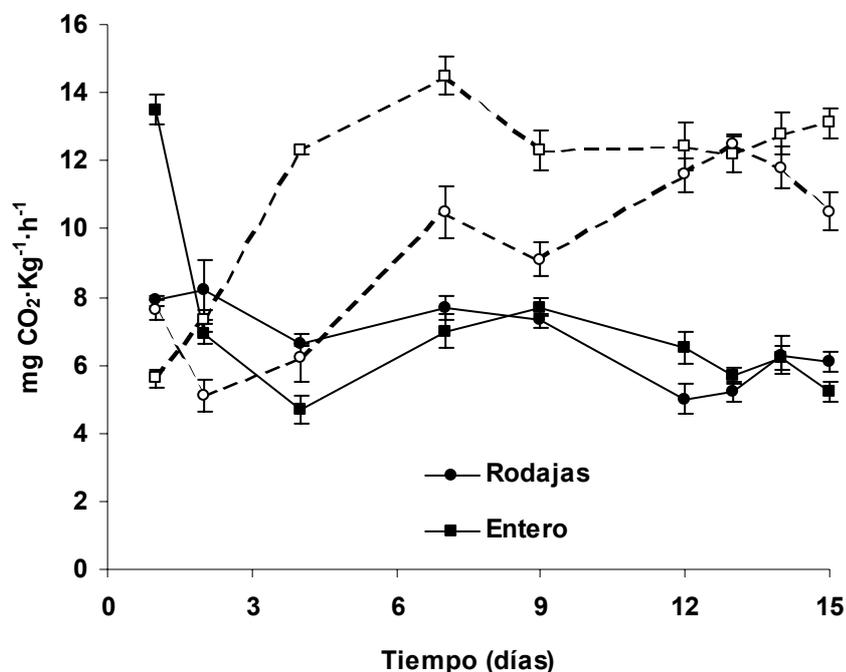
Una respuesta similar al tomate entero, se encontró en el procesado en fresco. Inicialmente, las rodajas en aire manifestaron una respiración más suave mientras que la ozonización indujo una tasa respiratoria inicial más intensa que fue declinando y estabilizándose (Figura 2). Ambos procesados, manifestaron el habitual estrés del corte, en particular, las rodajas ozonizadas. A partir del día 4, las rodajas en aire incrementaron la emisión de CO<sub>2</sub> alcanzando los 12 mg CO<sub>2</sub> ·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, duplicando los 6 mg CO<sub>2</sub> ·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> de las rodajas mantenidas en ozono.

Luego, el O<sub>3</sub> causó, tanto en tomate entero como procesado, un instantáneo aumento en el CO<sub>2</sub>, declinando gradualmente durante los primeros 4 días y estabilizándose hasta el final de la conservación. En cambio, la conservación en aire incitó al continuo aumento en la tasa respiratoria. Coincidiendo con nuestros resultados, Jin *et al.* (1989) concluyeron que la senescencia de tomates y mandarinas se retrasaba con la exposición a O<sub>3</sub> debido a una menor intensidad respiratoria y emisión de etileno. Cebolla y patatas tratadas con 0,2 µgL<sup>-1</sup>O<sub>3</sub> durante 8 horas al día y durante 5 días a la semana disminuyeron la absorción de oxígeno y la actividad catalasa.

Por el contrario, Liew y Prange (1994) obtuvieron un ligero aumento en la tasa respiratoria con los tratamientos ozonados, 11,4 mg CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> para el testigo a 2°C frente a los 11,4; 13,4; 16,8 y 15,3 conforme se incrementaba la dosis (7,5, 15, 30 y 60 µgL<sup>-1</sup>). A 8°C, se obtuvo 19,7 mg CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> frente a 17,3; 18,2; 17,8 y 22,8. Para estos autores, esto reflejaba la expresión anormal del metabolismo causado por el O<sub>3</sub> en zanahoria aunque en tomate no se observó daño alguno salvo el blanqueamiento de la estrella del cáliz en tomate entero. Kuprianoff (1953) advirtió que el incremento en la respiración de manzanas sucedía sólo con altas concentraciones de O<sub>3</sub> (25 a 90 ppm) retrasando la maduración. Sin embargo, Kolodyaznaya y Suponina (1975) tan sólo observaron ligeras variaciones en la intensidad respiratoria de patatas cuando las conservaban con 4 a 9 ppm O<sub>3</sub>. Gane (1936) encontró que la exposición de plátanos maduros a concentraciones de 1,5 a 7 ppm de O<sub>3</sub> no variaba la tasa respiratoria y fue efectivo en retardar la maduración, pero sólo si la fruta no estaba próxima a la maduración. La tasa respiratoria y emisión de etileno en melocotones “O’Henry” no fue afectada por la exposición al O<sub>3</sub>. En ningún producto estudiado se detectaron daños (Palou *et al.*, 2002).

La tasa respiratoria media de la variedad Thomas procesada en rodajas y conservada a 5°C, osciló entre 6,2 y 10,5 mg CO<sub>2</sub> ·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, valor muy similar al encontrado para las rodajas de esta misma variedad en el testigo del Capítulo 11 de esta misma Sección (7,5 y 10 mg CO<sub>2</sub> ·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>). Por el contrario, los valores encontrados en este estudio con la aplicación cíclica de O<sub>3</sub>

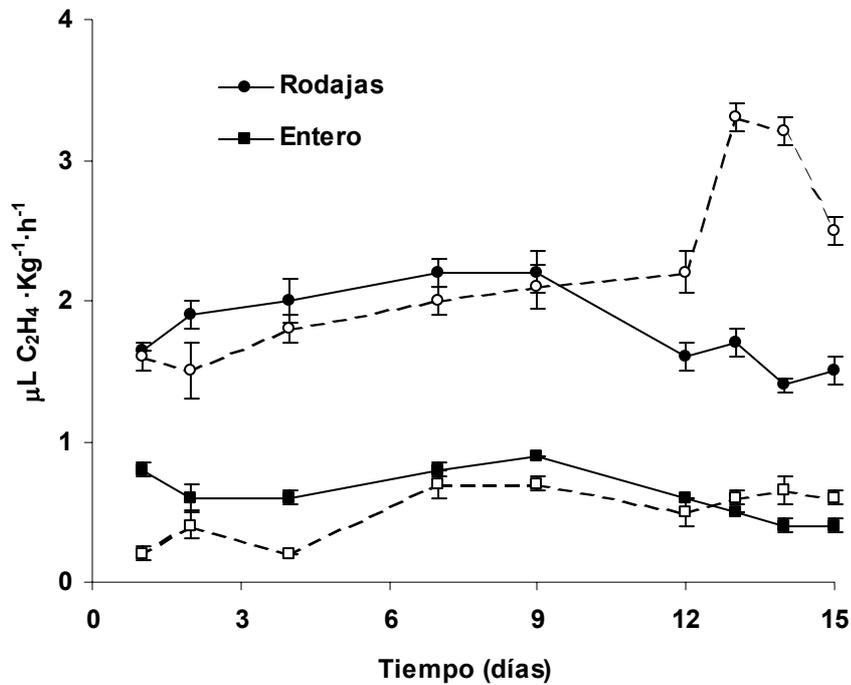
son inferiores a los determinados cuando el O<sub>3</sub> se proporcionó en una sola ocasión a través del lavado, concretamente éstos fueron de 11 y 8 mg CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup> frente a 6,1 y 7,9 mg CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup> de este estudio.



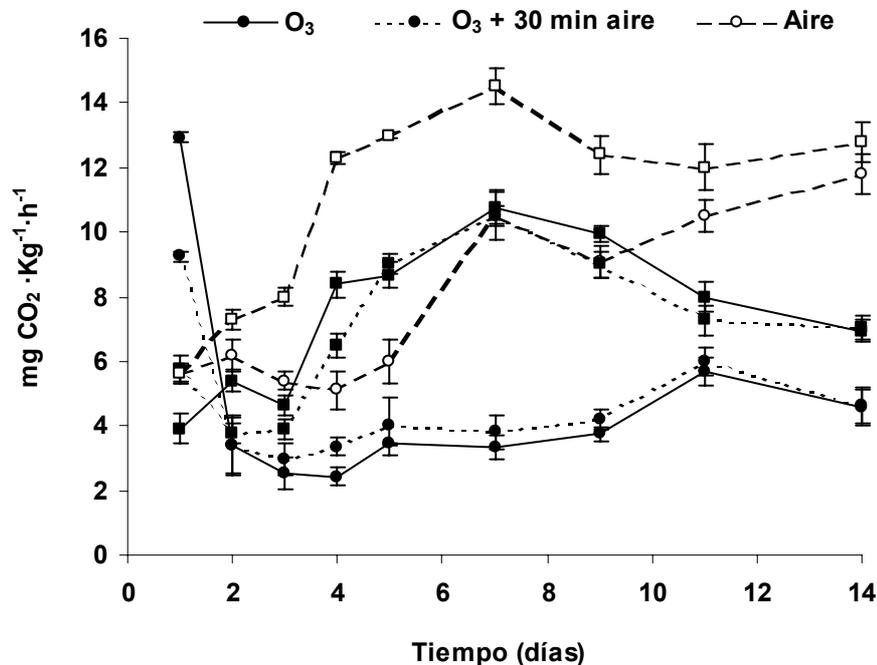
**Figura 12.2.** Tasa respiratoria de tomate Thomas entero y procesado en rodajas, conservado en aire con o sin O<sub>3</sub> (4 ± 0,5 ppm 30 min cada 3h) durante 15 días a 5°C. Media (n = 4) ± error estándar. Líneas continuas y marcador sólido: O<sub>3</sub>. Líneas discontinuas y marcador transparente: Aire.

De nuevo, como se comprobó con los lavados ozonizados de melón y tomate procesado en fresco (Capítulos 7 y 11), el O<sub>3</sub> provocó inicialmente un aumento en la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, tanto en el entero como en las rodajas (Figura 12.3). No obstante, en las rodajas, este incremento no fue significativo y, a partir del noveno día, el testigo aumentó notablemente la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> debido a la contaminación fúngica (Hong y Gross, 1998, 2000), mientras que el ozonado se mantuvo incluso llegó a reducir los niveles a 1,5 mL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>. Una conducta similar se observó en el tomate entero, pero a partir del día 12, donde los tomates en aire superan ligeramente la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> con respecto a los ozonizados.

Como era de esperar, la actividad metabólica de los procesados ozonados o no fueron mayores que las del tomate entero (Figura 12.2 y 12.3). Los niveles medios de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> a 5° C en aire oscilaron entre 1,6 y 3,0 μL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>, valores similares a los encontrados en el Capítulo anterior (1,6 y 2,0 μL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> · Kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>).



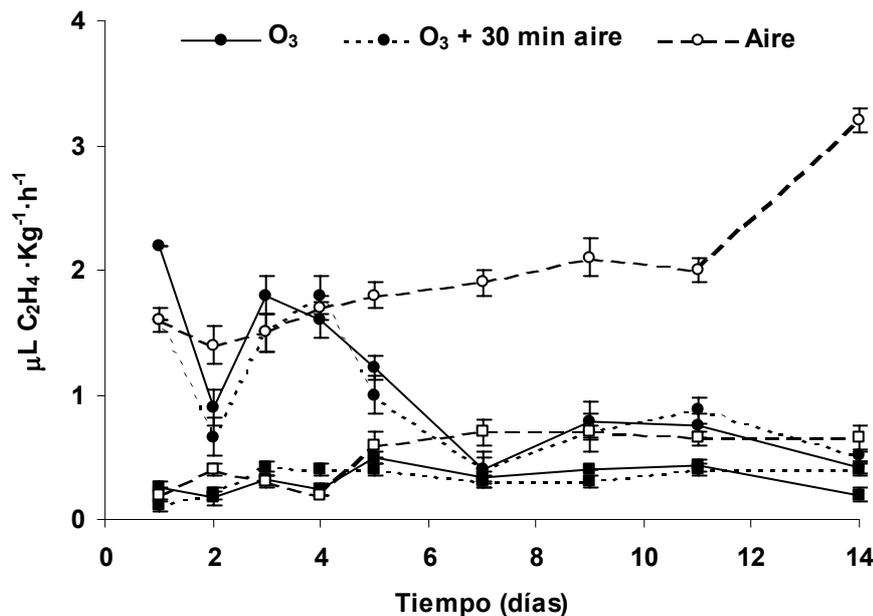
**Figura 12.3.** Emisión de  $C_2H_4$  de tomate Thomas entero y procesado en rodajas, conservado en aire con o sin  $O_3$  ( $4 \pm 0,5$  ppm 30 min cada 3h) durante 15 días a  $5^\circ C$ . Media ( $n = 4$ )  $\pm$  error estándar. Líneas continuas y marcador sólido:  $O_3$ . Líneas discontinuas y marcador transparente: Aire.



**Figura 12.4.** Tasa respiratoria del tomate Thomas entero y procesado en rodajas, conservado en aire con o sin  $O_3$  ( $7 \pm 0,5$  ppm 30 min cada 3h) durante 15 días a  $5^\circ C$ . Media ( $n = 4$ )  $\pm$  error estándar. Marcador redondo: rodajas. Marcador cuadrado: tomate entero.

En un ensayo previo con esta misma variedad y duración de la ozonización pero con 7 ppm de  $O_3$  (Figura 12.4), se observó que mayores dosis de  $O_3$  incrementaron la tasa respiratoria de tomate entero, 8-10 mg frente a los 6 mg  $CO_2 \cdot Kg^{-1} \cdot h^{-1}$  cuando se aplicaban 4 ppm. Sin embargo, en el producto procesado ocurrió lo contrario, es decir, elevadas dosis indujeron una mayor tasa respiratoria inicial que declinó alcanzando valores inferiores ( $3 \text{ mg } CO_2 \cdot Kg^{-1} \cdot h^{-1}$ ) a los que presentaba con 4 ppm ( $5-6 \text{ mg } CO_2 \cdot Kg^{-1} \cdot h^{-1}$ ). Hay que señalar, que en general, estas tasas respiratorias fueron inferiores a las encontradas en aire.

Con respecto al etileno se observó que 7 ppm frente a 4 ppm proporcionaron tanto en el tomate entero como en las rodajas una menor emisión de etileno, caso del entero 0,3 frente a 0,4-0,6 y para las rodajas, 0,8 frente a 1,6-2  $mL C_2H_4 \cdot Kg^{-1} \cdot h^{-1}$  aunque el estrés inicial de las rodajas fue mucho mayor con 7 ppm (Figura 12.5) probablemente por destruir químicamente el  $O_3$  al etileno (Dickson *et al.*, 1992; Heagle, 1973; Rice *et al.*, 1982; Saltveit, 1999; Skong y Chu, 2000).



**Figura 12.5.** Emisión de  $C_2H_4$  de tomate Thomas entero y procesado en rodajas, conservado en aire con o sin  $O_3$  ( $7 \pm 0,5$  ppm 30 min cada 3h) durante 15 días a  $5^\circ C$ . Media ( $n = 4$ )  $\pm$  error estándar. Marcador redondo: rodajas. Marcador cuadrado: tomate entero.

Como se observa en las Figuras 12.4 y 12.5, este metabolismo con 7 ppm se determinó justo después de la ozonización y transcurridos 30 min de la ozonización (línea punteada) indicando que apenas hubo diferencias significativas entre la tasa respiratoria y la emisión de

etileno pero que normalmente, se comprobó que al transcurrir el tiempo la actividad metabólica decrecía. Luego, todo parece indicar que concentraciones bajas de  $O_3$  tiene un efecto más importante en reducir el metabolismo de un fruto que concentraciones elevadas o ninguna aplicación (testigos).

Sin embargo, el estudio de la influencia del  $O_3$  en los procesos fisiológicos del fruto es muy complicado. A continuación exponemos resultados de distintos autores.

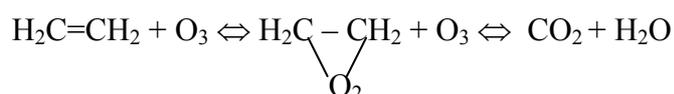
Según Kangasjärvi *et al.* (1994), Sandermann (1996), Tingey *et al.* (1976), las exposiciones a  $O_3$  inducen a la emisión de etileno de estrés, relacionado positivamente con la sensibilidad de las especies y puede estar involucrado en el testigo del daño provocado por el  $O_3$  (Elstner *et al.*, 1985; Langebartels *et al.*, 1991; Mehlhorn *et al.*, 1991; Tingey *et al.*, 1976). Yin *et al.* (1994) demostraron que las exposiciones al ozono conducen a una inducción de la actividad ACC oxidasa y Tuomainen *et al.* (1997) demostraron que también inducían ACC sintetasa y que la inhibición de alguno de estos enzimas conduce a aumentar la tolerancia al  $O_3$  en plantas de tomate. El ozono causa una rápida y elevada activación de genes selectivos y proteínas relacionadas con la biosíntesis de etileno.

Según Tuomainen *et al.* (1997) la inducción en la síntesis de etileno en plantas de tomate ocurre en tan sólo 0,5-2 h de la exposición durante 5 h a  $85 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$  (0,085 ppm). El contenido en ACC y la actividad ACC sintetasa fueron espontáneamente elevadas con sólo 1 y 2h de exposición. La inhibición de la biosíntesis de etileno condujo a una prominente reducción en las lesiones inducidas (necrosis y manchas blancas próximas a los nervios) por el  $O_3$ , las cuales se desarrollaban entre 15 y 48 h del comienzo de la exposición. Según, estos autores el ozono demostró una alta respuesta por la biosíntesis de etileno muy parecida a la respuesta de defensa de la planta que presenta con la incompatibilidad entre planta-patógeno. Así mismo, Kangasjarvi *et al.*, (1994), Sharma y Davis, (1997), Sandermann *et al.* (1998) observaron que la exposición a  $O_3$  de forma aguda (0,15-0,30 ppm durante cortos periodos de tiempo (4-6 horas) induce respuestas parecidas a las inducidas por los patógenos no sólo a nivel morfológico sino también fisiológico y molecular. Sin embargo, esto fue sólo una hipótesis hasta que Rao *et al.* (2000) observaron que la pre-exposición de la planta a  $O_3$  induce resistencia a la posterior infección de patógenos al demostrar junto con Sharma *et al.* (1996) que esta resistencia a enfermedades es íntimamente dependiente del ácido salicílico, importante componente frente a la resistencia a enfermedades otorgado por el sistema de respuesta de hipersensibilidad y sistema adquirido de resistencia.

Según Rao *et al.* (2000) el ozono al disolverse en solución acuosa genera especies de oxígeno activas (EOA) como el mencionado ión superóxido ( $O_2^-$ ) y, además, peróxido de

hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Recientes estudios indican que las EOA pueden ser importantes componentes en la señal de transducción que influye en la respuesta de defensa de la planta y muerte celular programada a una amplia variedad de estímulos incluyendo el ataque de patógenos (Lamb y Dixon, 1997; Jabs, 1999; Rao *et al.*, 2000). La justificación de este fenómeno se mantiene dado que un número de factores estresantes medioambientales como el  $\text{O}_3$  (Schraudner *et al.*, 1998; Rao y Davis, 1999), frío (Prasad *et al.*, 1996), elevada luminosidad (Karpinski *et al.*, 1999), metales pesados (Richards *et al.*, 1998), estreses mecánicos y físicos (Orozco-Cardenas y Ryan, 1999), sequía (Scandalios, 1997), radiación UV (Rao *et al.*, 1996; Surplus *et al.*, 1998) y patógenos (Alvarez *et al.*, 1998) actúan por estimulación de la producción de EOA.

Otro de los efectos más importantes del  $\text{O}_3$  en la conservación frigorífica es que frena la maduración al destruir químicamente al etileno, permitiendo extender la vida útil de productos como plátanos, tomates, fresas y manzanas que liberan ozono el cual acelera su maduración (Dickson *et al.*, 1992; Heagle, 1973; Rice *et al.*, 1982). El ozono es muy efectivo para eliminar el etileno a través de las reacciones químicas:



Inicialmente, se produce un compuesto intermedio (óxido de etileno) el cual es un efectivo inhibidor de hongos y bacterias en frutos secos, especias y carnes (Rice *et al.*, 1982). Posteriormente, el ozono rompe el enlace C-C para producir  $\text{CO}_2$  y agua.

Según estos autores podríamos justificar que:

- 1) Posiblemente el aumento inicial de  $\text{C}_2\text{H}_4$  observado, en especial en las rodajas de tomate, responde al estrés ocasionado por el  $\text{O}_3$  que induce la actividad ACC oxidasa y ACC sintetasa manifestándose en tan sólo 0,5-2 h de la exposición (Tuomainen *et al.*, 1997). En nuestro caso, no se observó daño alguno con lo cual probablemente estas concentraciones (4-7 ppm) en tomate no tuvieron la respuesta que presenta con la incompatibilidad entre planta-patógeno.
- 2) Sin embargo, la menor emisión de  $\text{C}_2\text{H}_4$  encontrada a 7 ppm frente a 4 ppm podría deberse a la oxidación del  $\text{C}_2\text{H}_4$ .

Aunque los siguientes investigadores no determinaron la actividad metabólica en sus frutos, sí lograron prolongar la vida útil de los productos. Barth *et al.* (1995) lo consiguieron en zarzamoras a  $2^\circ\text{C}$  con 0,3 ppm de  $\text{O}_3$ , Baranovskaya *et al.* (1979) logró una vida útil de 6 meses

a 6-14°C y un 93-97% de humedad relativa con 3 ppm de ozono en patatas, cebollas y remolacha azucarera. Así mismo, con la aplicación de 2-3 ppm de O<sub>3</sub> durante varias horas al día, Ewell (1940) dobló la vida útil de fresas, frambuesas y uvas y Kuprianoff (1953) en manzanas. Sarig *et al.* (1996) prolongando la vida útil de uvas con 8 mgL<sup>-1</sup> de O<sub>3</sub> durante 20 min.

### 12.3.3. Evaluación sensorial y parámetros fisicoquímicos en tomate procesado en fresco.

#### 12.3.3.1. Evaluación sensorial.

El tiempo de conservación fue significativo en todos los parámetros sensoriales (Tabla 12.2). Además, la exposición a O<sub>3</sub> mejoró la apariencia y la CG, pero empeoró el aroma.

**Tabla 12.2.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos gaseosos (aire con o sin O<sub>3</sub> 4 ± 0,5 ppm 30 min cada 3h) en los parámetros sensoriales de rodajas de tomate Thomas tras 15 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Gas	Apariencia (1 – 9)	Sabor (1 – 9)	Aroma (1 – 9)	Textura (1 – 9)	CG (1 – 9)
<b>Inicial</b>		8,7 <sup>z</sup>	8,0	7,0	7,7	8,3
<b>5 días</b>	<b>Aire</b>	6,5	6,7	6,1	6,5	6,3
	<b>O<sub>3</sub></b>	7,2	6,4	5,3	7,0	7,0
<b>12 días</b>	<b>Aire</b>	6,3	6,5	6,0	6,4	5,9
	<b>O<sub>3</sub></b>	7,1	6,0	5,0	6,5	6,5
<b>15 días</b>	<b>Aire</b>	4,7	5,7	6,0	6,0	4,5
	<b>O<sub>3</sub></b>	5,7	5,7	4,3	5,3	5,7
<b>Tiempo conservación</b>		(1,2) <sup>c</sup>	(1,4) <sup>b</sup>	(1,2) <sup>b</sup>	(0,7) <sup>b</sup>	(0,9) <sup>a</sup>
<b>Tratamiento gaseoso</b>		(0,6) <sup>b</sup>	NS	(0,9) <sup>b</sup>	NS	(0,5) <sup>b</sup>
<b>Tiempo x gas</b>		NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 4); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización) y 9 = excelente. CG: calidad global.

La apariencia, sabor, aroma y calidad global de las rodajas disminuyeron con sólo 5 días de conservación pero manteniéndose hasta el día 12. Apariencia y CG continuaron devaluándose en los últimos días. En cambio, el sabor y el aroma se mantuvieron sin cambios significativos desde el día 5 hasta el final de la conservación (Tabla 12.3). Al igual que sucedió en el Capítulo anterior, la textura fue disminuyendo suave y paulatinamente.

**Tabla 12.3.** Separación de medias en los parámetros sensoriales de rodajas de tomate Thomas tras 15 días a 5°C cuando el factor tiempo fue significativo.

	<b>Apariencia</b>	<b>Sabor</b>	<b>Aroma</b>	<b>Textura</b>	<b>CG</b>
	<b>(1 – 9)</b>	<b>(1 – 9)</b>	<b>(1 – 9)</b>	<b>(1 – 9)</b>	<b>(1 – 9)</b>
<b>Inicial</b>	8,7 <sup>z</sup> a	8,0 a	7,0 a	7,7 a	8,3 a
<b>5 días</b>	6,9 b	6,5 b	5,7 ab	6,8 ab	6,6 b
<b>12 días</b>	6,7 b	6,3 b	5,3 b	6,5 ab	6,2 b
<b>15 días</b>	5,2 c	5,7 b	5,2 b	5,7 b	5,1 c

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 12.2) por la prueba de LSD. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 5 = aceptable (límite de comercialización y 9 = excelente).

Según el análisis sensorial no es posible alcanzar una vida útil de 15 días en rodajas de tomate conservadas a 5°C. La aplicación de O<sub>3</sub> logró una apariencia y calidad global por encima del límite de comercialización, objetivo que no se alcanzó en el testigo. Sin embargo, la pérdida de aroma con la aplicación de O<sub>3</sub> tampoco proporcionó esa prolongada vida útil. Textura y sabor se mantuvieron siempre por encima del límite de comercialización en ambos tratamientos y a lo largo de toda la conservación.

Con ambos tratamientos fue posible alcanzar una comercialización de 12 días donde el O<sub>3</sub> proporcionó una mejor apariencia y CG frente al testigo (Tabla 12.4). La desventaja de este gas fue en el aroma, ya que probablemente oxide a estos volátiles. Pérez *et al.* (1999) obtuvieron un contenido de volátiles en fresas ozonizadas de un 62% pensando que, probablemente, el O<sub>3</sub> tenga un irreversible efecto en la capacidad de la fruta para producir volátiles aunque opinaron que la supresión temporal de la emisión de volátiles en fresa era normalmente asociada con condiciones postcosecha que retrasan la madurez (Fallik *et al.*, 1997). Sin embargo, Maguire *et al.* (1980) obtuvieron que los tomates madurados en O<sub>3</sub> (3,7 ppm) poseían un pronunciado y típico aroma a tomate en comparación a aquellos conservados en aire a 20°C durante 9 días. Según estos autores, el O<sub>3</sub> promueve el desarrollo de los aromas. Así mismo, Ewell (1950) detectó un aumento en el aroma al tratar fresas con 2 a 3 ppm de O<sub>3</sub>. Gottauf y Hansen (1965) observaron que la adición de O<sub>3</sub> en la cámara de conservación no eliminaba los componentes típicos responsables del aroma de manzanas. Baranovskaya *et al.* (1979) ozonó patatas, cebollas y remolacha azucarera sin afectar a la composición química y sensorial de los productos. También el O<sub>3</sub> puede eliminar sabores y aromas indeseables producidos por bacterias.

En los tomates enteros no hubo diferencias significativas entre los tratamientos gaseosos empleados salvo en la textura. El O<sub>3</sub> proporcionó una mejor retención de la textura. Tampoco la

conservación influyó de manera significativa indicando que el almacenamiento del tomate entero se puede prolongar más allá de 15 días.

**Tabla 12.4.** Separación de medias en los parámetros sensoriales de rodajas de tomate Thomas tras 14 días a 5°C cuando el tipo de conservación fue significativo.

	<b>Apariencia</b>	<b>Aroma</b>	<b>CG</b>
<b>Aire</b>	7,2 <sup>z</sup> a	6,3 a	6,3 b
<b>O<sub>3</sub></b>	6,5 b	5,3 b	6,9 a

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 12.2) por la prueba de LSD. Escala hedónica donde 1 = inaceptable, 3 = pobre, 5 = aceptable (límite de comercialización), 7 = bueno y 9 = excelente.

### 3.3.2. Firmeza y color del zumo.

La duración de la conservación fue el único factor que influyó en la firmeza y el color del zumo (Tabla 12.5).

**Tabla 12.5.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos gaseosos (aire con o sin O<sub>3</sub> 4 ± 0,5 ppm 30 min cada 3h) en la firmeza y color del zumo de rodajas de tomate Thomas durante 15 días a 5°C.

<b>Tiempo de conservación</b>	<b>Gas</b>	<b>Firmeza (N)</b>	<b>L* zumo</b>	<b>°H zumo</b>	<b>Croma zumo</b>
<b>Inicial</b>		18,4 <sup>z</sup>	43,9	39,7	16,5
<b>5 días</b>	<b>Aire</b>	15,6	41,6	44,2	13,1
	<b>O<sub>3</sub></b>	17,9	42,5	47,7	13,0
<b>12 días</b>	<b>Aire</b>	15,3	55,8	51,4	19,9
	<b>O<sub>3</sub></b>	15,4	56,2	50,5	20,6
<b>15 días</b>	<b>Aire</b>	11,1	58,9	54,1	21,6
	<b>O<sub>3</sub></b>	12,6	59,7	56,1	22,1
<b>Tiempo conservación</b>		(2,8) <sup>c</sup>	(2,2) <sup>c</sup>	(3,8) <sup>c</sup>	(1,3) <sup>c</sup>
<b>Tratamiento gaseoso</b>		NS	NS	NS	NS
<b>Tiempo x gas</b>		NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 4, excepto para el color pulpa y firmeza n = 20); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis.

<sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001.

El ablandamiento medio fue de un 9,2; 16 y 35% tras 5, 12 o 15 días de conservación. En el Capítulo anterior, los lavados de ozono influyeron en la retención de la firmeza, al final de la conservación (14 días), el porcentaje de ablandamiento fue de un 50% para el testigo, un 38% cuando el lavado con agua ozonizada fue de 1 min y un 26% cuando fue de 3 ó 5 min, es decir, un valor medio similar al encontrado en este trabajo. Las diferencias podrían deberse a que la firmeza inicial de estos tomates fue mayor en este ensayo (18, 4 N) frente a los 11,7 N iniciales del Capítulo anterior. Probablemente, por ello no se observaron diferencias significativas con la utilización de O<sub>3</sub> ya que se partió de una materia prima muy firme aunque en éste tratamiento el ablandamiento fue menor que en el testigo (Tabla 12.5). También Escriche *et al.* (2001) trataron champiñón con O<sub>3</sub> (100 mg·h<sup>-1</sup>) durante 15 ó 30 min antes del envasado sin cambios en textura tras 7 días de conservación.

También en tomate entero, el O<sub>3</sub> tuvo un efecto significativo en retener el ablandamiento, (21% frente al 28% del testigo tras 15 días de conservación).

Respecto al color, el tiempo de conservación incrementó L\*, °H y Croma, lo que indica que las rodajas de tomate continuaron madurando mostrando un color más rojo y puro con respecto al inicial (Tabla 12.6). A pesar de que ambos tratamientos gaseosos proporcionaron un color similar, los panelistas señalaron que las rodajas del testigo tenían un color más rojo que las conservadas con O<sub>3</sub>, probablemente por la senescencia.

Al determinar el color en la epidermis del tomate entero se observó que apenas variaba el tono, presentando el inicial  $52,4 \pm 2,4$  °H frente a los  $51,1 \pm 1,5$  del testigo o los  $52,8 \pm 1,6$  °H de los ozonizados tras 15 días de conservación a 5°C. Sólo un ligero incremento en el Croma se observó tras la conservación sin diferencias entre los tratamientos gaseosos, concretamente  $30,0 \pm 2,0$  frente a los  $32,1 \pm 1,8$  respectivamente.

No obstante, Maguire *et al.* (1980) comprobaron que el O<sub>3</sub> promovía la acumulación de licopeno en tomates rin conservados a 20°C durante 9 días en presencia de 3,7 ppm de ozono. Barth *et al.* (1995) conservaron zarzamoras a 2°C con 0,3 ppm de O<sub>3</sub> sin apreciar diferencias en L\*, Croma ni en el contenido total de antocianos con respecto al testigo. Pérez *et al.* (1999) observaron una reducción en el contenido de antocianos. Liew y Prange (1994) trataron zanahorias con ozono (60 µg·L<sup>-1</sup>) aumentando L\* (se apreció un color blanquecino), así mismo, disminuyó la intensidad (Croma) frente al testigo. Singh *et al.* (2002b) apreciaron una decoloración en hojas de lechuga cuando la exposición era de 10 ó 15 min a elevadas dosis (5,2 y 7,6 mg ·L<sup>-1</sup> O<sub>3</sub> aplicadas durante 5,10 y 15 min). Skong y Chu (2000) observaron en brócoli pardeamiento en la superficie del corte, probablemente porque este gas daña al producto. En este ensayo, sólo se observó el blanqueamiento de la estrella del cáliz en el tomate entero.

Si determinábamos el color en zumo procedente de estos tomates enteros obteníamos para ambos tratamientos con o sin O<sub>3</sub> un °H de  $52,0 \pm 1,5$  y un Croma de  $22,5 \pm 1,23$ . Esto indica que las rodajas procesadas desde el inicio mostraron un color más rojo que aquellas procedentes de un tomate entero conservado 15 días y recién cortado, lo cual señala que si ese incremento en el tono se interpreta como síntoma de senescencia, el procesado inicial envejece antes que el recién cortado. Por otro lado, las suaves variaciones externas de la epidermis del tomate entero no se correlacionaban con los cambios internos que sufría el mismo, es decir, el tomate maduraba desde el interior hacia el exterior.

**Tabla 12.6.** Separación de medias en la firmeza, color del zumo, SST y contenido en cítrico de rodajas de tomate Thomas durante 15 días a 5°C cuando el factor tiempo fue significativo.

	<b>Firmeza</b> (N)	<b>L*</b> zumo	<b>°H</b> zumo	<b>Croma</b> zumo	<b>SST</b>	<b>Cítrico</b>
<b>Inicial</b>	18,4 <sup>z</sup> a	43,9 c	39,7 d	16,5 c	4,5 a	0,31 a
<b>5 días</b>	16,7 ab	42,0 c	46,0 c	13,0 d	4,3 ab	0,30 ab
<b>12 días</b>	15,3 b	56,0 b	50,9 b	20,2 b	4,2 b	0,28 b
<b>15 días</b>	11,9 c	59,3 a	55,1 a	21,9 a	4,1 b	0,28 b

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según TablaS 12.5 y 12.7) por la prueba de LSD. SST: sólidos solubles totales (°Brix). Cítrico: g·100mL<sup>-1</sup>.

### 12.3.3.3. SST y azúcares.

Como sucedió en el Capítulo anterior, debido al metabolismo de las rodajas de tomate, los SST disminuyeron con la conservación (Tabla 12.7), pasando de 4,5 a 4,1 °Brix, con diferencias significativas tras 12 días de conservación (Tabla 12.6). Kolodyaznaya y Suponina (1975) observaron que tras varios meses de conservación de patatas con 4 a 9 ppm O<sub>3</sub>, éstas mostraron entre un 3 a un 6% más de almidón y entre un 1,3 y 1,5 veces menos en azúcares totales que el testigo.

La conservación con O<sub>3</sub> no influyó en los cambios de los SST, pero afectó la evolución de la fructosa y glucosa (Tabla 12.7).

El O<sub>3</sub> frenó el consumo de fructosa (Tabla 12.10) y glucosa (Tabla 12.8), en éste último en particular tras la conservación donde el testigo presentó una notable reducción. La ozonización frenó la actividad metabólica (Figuras 1 y 2) reduciendo por tanto, el consumo de estos azúcares. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el Capítulo 7 y 11 del melón y

tomate, donde los lavados de O<sub>3</sub>, en especial los de mayor duración, también redujeron el consumo de estos monosacáridos.

**Tabla 12.7.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos gaseosos (aire con o sin O<sub>3</sub> 4 ± 0,5 ppm 30 min cada 3h) y en los azúcares de rodajas de tomate Thomas durante 15 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Gas	SST	Fructosa	Glucosa
<b>Inicial</b>		4,5 <sup>z</sup>	16,03	12,36
<b>5 días</b>	<b>Aire</b>	4,4	15,86	12,16
	<b>O<sub>3</sub></b>	4,2	16,81	12,64
<b>12 días</b>	<b>Aire</b>	4,1	15,82	11,97
	<b>O<sub>3</sub></b>	4,3	16,37	11,91
<b>15 días</b>	<b>Aire</b>	4,0	15,05	9,51
	<b>O<sub>3</sub></b>	4,2	16,52	11,07
<b>Tiempo conservación</b>		(0,3) <sup>b</sup>	NS	(0,76) <sup>c</sup>
<b>Tratamiento gaseoso</b>		NS	(0,71) <sup>c</sup>	(0,39) <sup>b</sup>
<b>Tiempo x gas</b>		NS	NS	(0,78) <sup>b</sup>

<sup>z</sup> Media (n = 4); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. SST: contenido en sólidos solubles (°Brix). Fructosa, glucosa (gL<sup>-1</sup>).

La relación glucosa/fructosa se mantuvo en todos los tratamientos en 0,8 salvo en la última salida donde el testigo presentó 0,6 frente a 0,7 del tratamiento ozonizado. Al ser esta relación menor que uno señala el consumo preferente de la glucosa frente a la fructosa, probablemente por la isomerización de esta cetosa en aldosa.

Pérez *et al.* (1999) obtuvieron en fresas con ozono en aire (0,35 ppm) durante 3 días a 2°C y 4 días de a 20°C una reducción de sacarosa, durante los 5 primeros días, aumentando el contenido de glucosa y fructosa frente a la concentración inicial pero sin diferencias significativas con las fresas ozonizadas. Tras la conservación, los valores de glucosa de ambos tratamientos fueron similares (14,61 ± 0,42 en el testigo frente a 14,29 ± 0,15 g·Kg<sup>-1</sup> en el tratamiento ozonado) mientras que la concentración de fructosa fue ligeramente mayor en el testigo (16,63 ± 0,49) que en las fresas ozonizadas (14,04 ± 0,17 mg·g<sup>-1</sup>).

**Tabla 12.8.** Interacción (tiempo conservación x tratamiento gaseoso) en la glucosa de rodajas de tomate Thomas durante 15 días a 5°C.

	Glucosa			
	Inicial	5d	12d	15d
Aire	12,36 <sup>z</sup> Aa	12,16 Aa	11,97 Aa	9,51 Bb
O <sub>3</sub>	12,36 Aa	12,64 Aa	11,91 Aa	11,07 Ba

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan medias horizontalmente y minúsculas comparan verticalmente, seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 12.8) por la prueba de LSD. Glucosa (gL<sup>-1</sup>).

### 3.3.4. AT, pH y ácidos orgánicos.

Los cambios en la AT y el pH no fueron significativos para ninguno de los factores estudiados. Éstos variaron entre 0,37 y 0,40 g cítrico 100 mL<sup>-1</sup> mientras que el pH osciló entre 4,30 y 4,35 (datos no mostrados).

Del análisis de los ácidos orgánicos, observamos unos valores similares a los encontrados en esta misma Sección en el Capítulo anterior de lavados de O<sub>3</sub>. En esta ocasión, el tiempo de conservación sí redujo el contenido en cítrico (Tabla 12.6).

**Tabla 12.9.** Influencia del tiempo de conservación y tratamientos gaseosos (aire con o sin O<sub>3</sub> 4 ± 0,5 ppm 30 min cada 3h) y en los ácidos orgánicos de rodajas de tomate Thomas durante 15 días a 5°C.

Tiempo de conservación	Gas	Málico	Ascórbico	Cítrico	Fumárico	Succínico
<b>Inicial</b>		0,05 <sup>z</sup>	10,56	0,41	0,70	0,02
<b>5 días</b>	<b>Aire</b>	0,06	10,99	0,39	0,76	0,02
	<b>O<sub>3</sub></b>	0,06	13,08	0,41	0,87	0,02
<b>12 días</b>	<b>Aire</b>	0,05	11,19	0,38	0,86	0,02
	<b>O<sub>3</sub></b>	0,05	10,68	0,37	0,88	0,02
<b>15 días</b>	<b>Aire</b>	0,05	8,71	0,37	0,68	0,02
	<b>O<sub>3</sub></b>	0,04	11,83	0,39	1,02	0,03
<b>Tiempo conservación</b>		NS	NS	(0,02) <sup>c</sup>	NS	NS
<b>Tratamiento gaseoso</b>		NS	(1,13) <sup>a</sup>	NS	(0,09) <sup>a</sup>	NS
<b>Tiempo x gas</b>		NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Media (n = 5); NS, no significativo. Valores de LSD entre paréntesis. <sup>a</sup>P < 0,05, <sup>b</sup>P < 0,01, <sup>c</sup>P < 0,001. Málico, cítrico y succínico (g · 100 mL<sup>-1</sup>), ascórbico y fumárico (mg · 100mL<sup>-1</sup>).

Los tratamientos de O<sub>3</sub> presentaron un mayor contenido en ácido ascórbico y fumárico (Tabla 12.10). De igual forma, Pérez *et al.* (1999) en fresa (0,35 ppm) también detectaron un mayor contenido en vitamina C en los tratamientos de O<sub>3</sub> (0,12) frente al testigo (0,09) como encontraron Luwe *et al.* (1993) y Ranieri *et al.* (1996). Kolodyaznaya y Suponina (1975) observaron que tras varios meses de conservación de patatas con 4 a 9 ppm de ozono, éstas mostraron más contenido en vitamina C que el testigo.

**Tabla 12.10.** Separación de medias en el contenido en fructosa, ácido ascórbico y fumárico de rodajas de tomate Thomas tras 14 días a 5°C cuando el tipo de conservación gaseosa fue significativa.

	<b>Fructosa</b>	<b>Ascórbico</b>	<b>Fumárico</b>
<b>Aire</b>	15,66 <sup>z</sup> b	10,23 b	0,75 b
<b>O<sub>3</sub></b>	16,43 a	11,66 a	0,87 a

<sup>z</sup>Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P según Tabla 12.8) por la prueba de LSD. Fructosa: gL<sup>-1</sup>. Ascórbico y fumárico: mg·100mL<sup>-1</sup>.

Si comparamos los tomates enteros después de la conservación (Tabla 12.11), observamos que los mantenidos con O<sub>3</sub> también presentaron mayor contenido en ascórbico y fumárico que los enteros en aire. Además, el tomate entero, tanto en aire como en O<sub>3</sub>, mostró un mayor contenido en ascórbico, cítrico y fumárico, que el procesado de esa misma fecha, lo cual indica, que el procesado conlleva a una ligera oxidación de ácidos orgánicos.

**Tabla 12.11.** Contenido en ácidos orgánicos de tomates enteros Thomas tras 15 días conservados en aire o con O<sub>3</sub> (4 ± 0,5 ppm 30 min cada 3h) a 5°C.

<b>Gas</b>	<b>Málico</b>	<b>Ascórbico</b>	<b>Cítrico</b>	<b>Fumárico</b>	<b>Succínico</b>
<b>Aire</b>	0,04 ± 0,00 <sup>z</sup>	10,54 ± 0,47	0,40 ± 0,01	0,75 ± 0,03	0,03 ± 0,00
<b>O<sub>3</sub></b>	0,03 ± 0,00	12,60 ± 1,00	0,40 ± 0,00	1,14 ± 0,09	0,03 ± 0,00

<sup>z</sup> Media (n = 5) ± error estándar. Málico, cítrico y succínico (g · 100 mL<sup>-1</sup>), ascórbico y fumárico (mg · 100mL<sup>-1</sup>).

#### 12.3.4. Análisis microbiológico.

Una dosis de 4 ppm de ozono suministrado durante 30 min cada 3 horas, tuvo una notable reducción en los recuentos microbianos de rodajas de tomate, tanto bacterianos como fúngicos (Tabla 12.12).

En el día 6, las reducciones logradas fueron de 0,38 y 0,56 UFC·g<sup>-1</sup> en los conteos de mesófilos y psicrotrofos respectivamente. Así mismo, estas reducciones en el día 12, similares a las del día 15 fueron de 1,07 y 1,27 UFC·g<sup>-1</sup>. También, Baranovskaya *et al.* (1979) redujeron de forma significativa el crecimiento de bacterias de patatas, cebollas y remolacha azucarera con 3 ppm de ozono.

En el ensayo previo mencionado donde se utilizaron 7 ppm de O<sub>3</sub>, las reducciones en el día 9 fueron de una unidad log con respecto al testigo que presentó 2,4 UFC·g<sup>-1</sup>. Al final de la conservación, la eficiencia de esta elevada concentración de O<sub>3</sub> fue espectacular llegando a reducir hasta 3,6 unidades log tanto en mesófilos como psicrotrofos, mientras los testigos presentaron 4,9 y 6,6 UFC·g<sup>-1</sup> respectivamente. Luego a mayores concentraciones de ozono la actividad microbiana aumenta. Krause y Weidensaul (1978) observaron que conforme se aumentaba la dosis de O<sub>3</sub> la germinación de *Botrytis cinerea* y el crecimiento del tubo de germinación disminuía.

**Tabla 12.12.** Recuentos microbiológicos (log UFC·g<sup>-1</sup>) en rodajas de tomate Thomas conservados en aire con o sin O<sub>3</sub> (4 ± 0,5 ppm 30 min cada 3 h) durante 15 días a 5°C.

Tratamiento		Mesófilos	Psicrotrofos	Levaduras	Mohos
Inicial		<1,70	<1,00	<1,70	<1,70
DÍA 6	Aire	1,66 ± 0,05	1,77 ± 0,06	1,79 ± 0,02	<1,70
	Aire + O <sub>3</sub>	1,28 ± 0,03	1,21 ± 0,03	<1,70	<1,70
DÍA 12	Aire	4,63 ± 0,08	4,66 ± 0,09	2,03 ± 0,06	<2,00
	Aire + O <sub>3</sub>	3,56 ± 0,06	3,39 ± 0,09	<2,00	<2,00
DÍA 15	Aire	6,91 ± 0,10	6,90 ± 0,10	3,26 ± 0,15	2,30 ± 0,04
	Aire + O <sub>3</sub>	5,81 ± 0,07	5,60 ± 0,09	2,81 ± 0,09	1,10 ± 0,02

<sup>z</sup> Media (n = 4) ± error estándar.

El O<sub>3</sub> evitó el desarrollo de levaduras hasta el día 15 frente a los testigos donde el crecimiento se desarrolló en el día 6. No se detectó crecimiento de mohos hasta el día 15 en ningún tratamiento con o sin O<sub>3</sub>. Al final de la conservación, la aplicación de 4 ppm de O<sub>3</sub> logro reducir 0,45 unidades el crecimiento de levaduras y 1,2 el de mohos. Con la aplicación de 7 ppm estas reducciones fueron de 1,4 y 1,8 respectivamente.

Los estudios realizados con la aplicación de O<sub>3</sub> gas para inhibir el desarrollo de mohos son más numerosos para frenar el crecimiento bacteriano. Así mismo, Liew y Prange (1994) inoculó distintos patógenos fúngicos (*Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*) y las expuso a O<sub>3</sub> gas (7,5, 15, 30 y 60 µg·L<sup>-1</sup>) 8 horas/día durante 28 días a 2, 8 y 16°C. El crecimiento de estos microorganismos aumentó con la temperatura de conservación y, coincidiendo con nuestros resultados, la magnitud de este aumento se redujo al incrementar la concentración de O<sub>3</sub>. Con una dosis de 60 µg·L<sup>-1</sup> se redujo el crecimiento fúngico a la mitad comprobando el efecto fungistático, no fungicida, del O<sub>3</sub>. Palou *et al.* (2002) expusieron melocotones a ozonaciones continuas de 0,3 ppm logrando inhibir el crecimiento del micelio aéreo y esporulación de melocotones “Elegant Lady” inoculados con *Monilinia fructicola*, *Botrytis cinerea*, *Mucor piriformis* o *Penicillium expansum* conservados durante 4 semanas a 5°C y 90% HR. La exposición a O<sub>3</sub> no redujo de forma significativa la incidencia y severidad de las pudriciones causadas por estos hongos salvo la podredumbre parda. Sin embargo, *Botrytis cinerea* fue totalmente inhibida en uva de mesa “Thompson Seedless”. Probablemente estos discretos resultados se debieron a la baja concentración utilizada.

Otros autores que no obtuvieron diferencias en los recuentos microbianos con la utilización de concentraciones similares fueron Pérez *et al.* (1999) donde el tratamiento de ozono (0,35 ppm) fue inefectivo en prevenir *Botrytis cinerea* en fresas tras 4 días a 20°C precedidos de 3 días a 2°C. Sin embargo, Barth *et al.* (1995) conservaron zarcamoras a 2°C con 0,3 ppm O<sub>3</sub> suprimiendo el crecimiento fúngico. Cebolla y patatas (0,2 µg/L O<sub>3</sub> durante 8 horas al día y 5 días/semana) tuvieron una marcada inhibición en el crecimiento de microorganismos superficiales. Krause y Weidensaul (1978) inhibieron la esporulación y germinación de *Botrytis cinerea* tanto in vivo como in vitro aplicando 0,3 ppm O<sub>3</sub> durante dos periodos de 6 horas. Esta aplicación disminuyó la germinación de los conidios, longitud del tubo de germinación, patogenicidad y virulencia. Heagle y Strickland (1972) también inhibieron el crecimiento del micelio junto con la esporulación de colonias fúngicas. Hibben y Stotzky (1969) demostraron la diferente sensibilidad al O<sub>3</sub> de las esporas dependiendo de la especie fúngica, morfología de la spora, humedad, sustrato y dosis de ozono.

Sarig *et al.* (1996) redujeron significativamente la población en uvas con tan sólo 8 mg·L<sup>-1</sup> de O<sub>3</sub> durante 1 min logrando la eliminación total de mohos, levaduras y bacterias con 20 a 40 min de exposición, incluso las bayas inoculadas con *Rhizopus stolonifer*, sin causar fitotoxicidad en la fruta, salvo cuando el tiempo de exposición se prolongaba. Según estos autores, la efectividad de una corta exposición a O<sub>3</sub> se debía al directo efecto fungicida del gas y

a la capacidad de éste para inducir la síntesis de fitoalexinas (estilbeno, resveratrol y pterostilbeno).

En opinión de Rice *et al.* (1982), el O<sub>3</sub> gas tiene un menor efecto bactericida en aire que en agua, por lo tanto, debe dosificarse en concentraciones elevadas para que su acción sea efectiva. A bajas concentraciones ( $2 \text{ mg O}_3 \cdot \text{m}^{-3} \approx 1 \text{ ppm}$ ), el ozono estimula el crecimiento bacteriano. Además, algunas bacterias pueden adaptarse a bajos niveles de O<sub>3</sub> tras un tratamiento prolongado. Sin embargo, sólo son necesarias pequeñas concentraciones de O<sub>3</sub> para prevenir el crecimiento de mohos superficiales aunque se requieren concentraciones elevadas para destruir las colonias fúngicas existentes.

Si comparamos la eficacia del O<sub>3</sub> a través de lavados ozonizados (3,7 ppm) o con la exposición directa al gas ( $4 \pm 0,5 \text{ ppm}$  30 min cada 3 h) en rodajas de tomate Thomas conservado a 5° C, se observa que los lavados proporcionan reducciones bacterianas similares a la aplicación gaseosa cuando el periodo de conservación fue de 10 días. En los días 5-6, los lavados ozonizados lograron reducir entre 0,2-0,5 unidades log frente a 0,4 y 0,6 de los expuestos al gas. En el día 10, los lavados ozonizados lograron una merma microbiológica de 1,6 y 1,9 similar a la que alcanzarían en el día 12 los tratamientos ozonados, es decir, 1,1 y 1,3 unidades log. Sin embargo, si esta conservación se prolonga, los lavados ozonizados pierden toda su eficacia mientras que si la aplicación la realizamos con O<sub>3</sub> gaseoso las reducciones son mucho más importantes. Luego, la actividad microbiana del O<sub>3</sub> se incrementa con el tiempo de exposición mientras que en los lavados llega un momento donde se anula. Estos resultados no coinciden con Rice *et al.* (1982) probablemente porque utilizaron concentraciones de O<sub>3</sub> muy bajas (1 a 2 ppm) o no estudiaron el efecto ligado a un periodo de conservación.

También es importante recordar, que el tomate es un producto con alta acidez donde el crecimiento bacteriano es inferior que en otros productos con baja acidez como el melón. Probablemente en estos productos la aplicación de O<sub>3</sub> gas sea más efectiva ya que como vimos en el Capítulo 7 de esta misma Sección los lavados apenas disminuían el crecimiento bacteriano. No obstante, los resultados de Singh *et al.* (2002) ratifican nuestra hipótesis. Estos autores inocularon *E. coli* ( $8 \text{ log UFC} \cdot \text{g}^{-1}$ ) en lechuga y zanahoria. Los tratamientos con agua ozonizada ( $5,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) no disminuyeron en zanahoria la población bacteriana, la reducción tras 10 ó 15 min de exposición fue de 0,43 unidades log. Sin embargo, el O<sub>3</sub> gas ejerció un efecto letal en *E. coli* más importante que el ozono en agua. Dosis de  $2,1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  gaseoso aplicadas durante 5,10 y 15 min redujeron en 0,86, 0,96 y 1,61 unidades log la población de *E. coli* en lechuga mientras que en zanahoria fue de 1,11, 1,28 y 1,90. Concentraciones de  $5,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  disminuyeron la población en 0,96, 1,16 y 1,65 en lechuga mientras que en zanahoria fue de 1,29, 1,50 y 2,54

unidades log con tiempos de aplicación de 5, 10 y 15 min. Coincidiendo con nuestros resultados, estos autores comprobaron que prolongados tiempos de exposición en O<sub>3</sub> gas (15 min) y elevadas dosis (7,6 mg·L<sup>-1</sup>) redujeron de forma significativa la población (1,98 a 2,7 UFC·g<sup>-1</sup> en lechuga y zanahoria respectivamente).

A las concentraciones estudiadas, la resistencia que presentaron los distintos grupos microbianos fue similar al tratamiento ozonizado mediante lavados o aplicaciones cíclicas gaseosas. Sólo se observó, una importante actividad bactericida cuando empleó O<sub>3</sub> gas a 7 ppm. Aquí se observó que las reducciones bacterianas fueron mucho más importantes que las fúngicas sin diferencias entre levaduras y mohos.

Según Rice *et al.* (1982), las levaduras son más fácilmente atacables por el O<sub>3</sub> gas que las bacterias, y las esporas de mohos son más resistentes que éstas.

Para terminar, es importante señalar que a pesar de las reducciones microbiológicas obtenidas en los tratamientos ozonados, éstos y el testigo mantienen la calidad microbiológica, ya que no sobrepasaron los límites de la legislación española (RD 3484/2000, 2001). Luego, desde el punto de vista de la evaluación microbiana es posible una vida útil de 15 días a 5°C de rodajas de tomate Thomas.

#### 12.4. CONCLUSIONES.

La conservación de rodajas de tomate Thomas con 4 ppm de O<sub>3</sub> durante 30 min cada 3 horas indujo un ligero aumento en la emisión de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> durante el estrés del corte. A partir de esa fecha la actividad metabólica remite siendo superada por el testigo.

El O<sub>3</sub> cíclico redujo el ablandamiento en un 15% frente al testigo pero la pérdida característica del aroma impidió que se alcanzara una vida útil de 15 días a 5°C frente a un testigo cuya apariencia y calidad global se valoró por debajo del límite de comercialización.

Como sucedió en los lavados de ozono, este gas redujo el consumo de fructosa y glucosa, aunque la disminución de los SST sólo decreció con el periodo de conservación.

En ningún momento el O<sub>3</sub> causó daños visibles en las rodajas de tomate ni transmitió sabores o aromas extraños o desagradables.

Tras la conservación, el O<sub>3</sub> redujo las pérdidas en ascórbico y fumárico, tanto en tomate entero como procesado.

Este gas fue realmente efectivo en frenar el crecimiento microbiano, conforme se prolongaba la conservación o si se incrementa la concentración de O<sub>3</sub> (7 ppm).

## **V. CONCLUSIONES GENERALES**

Bajo las condiciones estudiadas se obtuvieron las siguientes conclusiones para ambos productos.

### Melón

- 1) Se observaron diferencias en los procesados de los cuatro tipos varietales estudiados. Galia, y Cantaloupe presentaron una mayor actividad metabólica ( $7-10 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg} \cdot \text{h}^{-1}$  y  $1-3 \text{ } \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ) que Amarillo y Piel de Sapo ( $7-10 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg} \cdot \text{h}^{-1}$  y  $0,07-0,02 \text{ } \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg} \cdot \text{h}^{-1}$  a  $5^\circ\text{C}$ ), observándose una semejanza entre las variedades botánicas. A pesar de que los cuatro tipos presentaron cualidades adecuadas para su procesado en fresco, se seleccionó el Amarillo por su menor sensibilidad a la translucencia y su reducida actividad metabólica.
- 2) El procesado siempre condujo a un aumento instantáneo del  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  en comparación con el melón entero, como respuesta a la herida o estrés del corte, de forma más intensa y duradera a  $5$  que a  $0^\circ\text{C}$ . Superado este estrés, el melón intacto y el procesado mostraron unas emisiones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  similares hasta el usual incremento consecuencia del deterioro del tejido y contaminación microbiana, normalmente en el día 7 a  $5^\circ\text{C}$  y en el 10 a  $0^\circ\text{C}$ .
- 3) El tipo de corte afectó de forma decisiva al rendimiento del procesado, la apariencia, translucencia y firmeza. De los tres tipos de corte estudiados, tajadas, secciones trapezoidales y cilindros, se seleccionaron las secciones por presentar la mejor relación con los aspectos citados.
- 4) La conservación a  $0$  frente a  $5^\circ\text{C}$ , redujo entre 1,5 y 2 veces la actividad metabólica del procesado, así como el consumo de azúcares. Además, proporcionó una mejor apariencia y calidad global y fue la herramienta más eficaz para reducir el crecimiento microbiano (hasta  $5 \text{ ufc} \cdot \text{g}^{-1}$  en bacterias y  $3 \text{ ufc} \cdot \text{g}^{-1}$  en levaduras) y el ablandamiento, prolongando la vida útil hasta 10 ó 14 días si se combinaba con un EAM pasivo o activo, con un ablandamiento sólo del 4-6% frente al 38% del testigo.
- 5) Si por exigencias logísticas la temperatura de conservación debe ser de  $5^\circ\text{C}$ , las AC de  $4 \text{ kPa O}_2 + 15 \text{ kPa CO}_2$  y aire +  $15 \text{ kPa CO}_2$  permitieron alcanzar una vida útil de 14 días en secciones trapezoidales de melón Amarillo. Estas AC redujeron la tasa respiratoria (entre un 39 y un 48%, respectivamente) y la emisión de etileno (90%), disminuyeron el consumo de SST y de sacarosa, así como el crecimiento microbiano (reducciones de  $2\text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$  en las

bacterias y como mínimo entre 1,8 y 1,2 UFC·g<sup>-1</sup> en levaduras y mohos) frente al testigo en aire. La AC empobrecida en O<sub>2</sub> redujo el ablandamiento (un 33% frente al 41% del aire).

- 6) Con la intención de conseguir mediante EAM atmósferas similares a las citadas en AC, se diseñó a 5°C un envase con 200 g de producto en barquetas de 0,7 L cuya superficie de intercambio fue 210 cm<sup>2</sup>. Aplicando un modelo matemático se seleccionó el PP como plástico más indicado, observándose cierta similitud entre el PP microperforado, biorientado y orientado, proponiéndose el PP orientado por su menor coste. Se aconseja la utilización de plásticos más impermeables y/o atmósferas activas, para alcanzar rápidamente las atmósferas deseadas. A pesar de que el EAM pasivo condujo a una vida útil de 10 días, su efecto sobre el ablandamiento fue escaso.
- 7) La aplicación de CaCl<sub>2</sub> aumentó el contenido del calcio fijado en la pared celular frenando el ablandamiento (8% tras 8 días a 5°C), en especial, cuando la temperatura del baño era de 60 frente a 5°C. De las sales ensayadas, el cloruro, lactato y propionato, todas con una concentración similar a la riqueza en Ca<sup>++</sup> del CaCl<sub>2</sub> al 0,5%, fueron muy eficaces para mantener la firmeza. En cambio, la baja solubilidad del CaCO<sub>3</sub> en el tejido impidió la completa difusión del Ca<sup>++</sup> mostrando un ablandamiento similar al del testigo, aunque imprimió al procesado un color blanquecino. Los baños cálcicos redujeron en 2 UFC·g<sup>-1</sup> el crecimiento microbiano e incluso en 4 UFC·g<sup>-1</sup> frente al testigo. Consecuentemente en estos tratamientos tuvo lugar una menor producción de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en los últimos días de conservación. No obstante, aunque el propionato se presenta como una prometedora sal, proporcionó un ligero sabor extraño.
- 8) La adición de ácido cítrico en el agua de lavado redujo el crecimiento microbiológico y mejoró la apariencia del melón procesado.
- 9) Los lavados con 3 y 5 min de agua ozonizada (6,5 ppm) promovieron un ligero aumento en la emisión de CO<sub>2</sub> durante el estrés del corte, aunque evitaron el incremento en los niveles de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> a partir del octavo día tal como le sucedió al testigo. El agua ozonizada frenó el consumo de fructosa, glucosa y sacarosa y redujo la población microbiana inicial, en especial con 3 min de lavado (1 UFC·g<sup>-1</sup>). En ningún momento el O<sub>3</sub> causó daños visibles en los trapecios de melón, ni transmitió sabores o aromas extraños o desagradables.

10) De los resultados de los diferentes ensayos establecemos la vida comercial del melón Amarillo procesado en fresco entre 7 y 10 días a 5°C, siempre que vaya combinado con un EAM pasiva o activa. Si la temperatura es 0°C la vida útil puede prolongarse hasta 14 días. La atmósfera de aire permite una vida útil inferior a 7 días a 5°C ó a 10 días a 0°C.

### **Tomate.**

- 1) A 5°C, como en el melón, el procesado del tomate se tradujo en un incremento en el CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> con respecto al fruto entero por el estrés del corte. Superado este estrés no se observaron diferencias en la producción de CO<sub>2</sub> entre procesados y entero (4 a 6 mg CO<sub>2</sub>·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) salvo en los últimos días de conservación donde se observó un ligero incremento en el CO<sub>2</sub> como respuesta al crecimiento microbiano. En cambio, a 0°C no se observaron diferencias entre el procesado y el tomate entero.
- 2) La conservación a 0°C redujo la actividad metabólica del procesado (3 mg CO<sub>2</sub>·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> y 0,4 µL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>). Además, mejoró la apariencia y redujo el crecimiento microbiano en más de 4 UFC·g<sup>-1</sup>. No obstante, se observaron leves daños por frío.
- 3) La conservación en AC (4 kPa O<sub>2</sub> + 5 ó 10 kPa CO<sub>2</sub>) redujo de forma significativa la emisión de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, en especial, en el tomate procesado a 5°C y durante los últimos días de conservación. Con las AC se consiguió una buena apariencia y textura, reduciéndose el consumo de glucosa, pero aumentó la concentración de etanol, en especial a 5°C y con 4 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>. Esta atmósfera produjo daño por CO<sub>2</sub> en la matriz del tomate, que mostró un enrojecimiento excesivo.
- 4) Para conseguir los beneficios de la AC (4-5 kPa O<sub>2</sub> y 4-5 kPa CO<sub>2</sub>) fue necesario el EAM activa con plásticos de baja permeabilidad como PPO.
- 5) El tipo de corte (rodajas o cascós) afectó principalmente a la apariencia. En variedades de pulpa poco consistente, las rodajas se presentaron como un corte más compacto que los cascós. Se recomienda seleccionar variedades en un estado óptimo de madurez (6-7 según la carta de colores Kleur-stadia) dado que el procesado aceleró la misma.
- 6) Del estudio de la aptitud frente al procesado de dieciséis variedades destacaron “Thomas”, “Sinatra” y “Calvi”, todas de larga duración, con una alta a media producción y una buena calidad sensorial.

- 7) El lavado con agua ozonizada (3,8 ppm) promovió, al igual que sucedió en melón, un ligero aumento en la emisión de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> durante el estrés del corte. Superado éste no se observaron diferencias significativas con respecto al testigo. Estos lavados también redujeron el consumo de fructosa y glucosa y, hasta el día 10, fueron efectivos para frenar el crecimiento microbiano cuando los tiempos eran de 5 min y, en especial, 3 min. No obstante, al final de la conservación se inhibió su efecto sin diferencias significativas entre los tratamientos, salvo en el desarrollo de mohos donde con los lavados de 5 min no se produjo crecimiento fúngico. Se prefirieron tiempos de 3 min frente a los 5 min ya que la reducción en la flora microbiana en rodajas de tomate conservadas a 5°C fue superior. La utilización de O<sub>3</sub> a la concentración de 3,8 ppm durante 1min resultó totalmente ineficaz.
- 8) La conservación de rodajas de tomate Thomas con 4 ppm de O<sub>3</sub> durante 30 min cada 3 horas también provocó un ligero aumento en la emisión de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> durante el estrés del corte. A partir de éste la actividad metabólica remitió siendo superada por el testigo. El O<sub>3</sub> redujo el ablandamiento en un 15% frente al testigo pero la pérdida característica del aroma impidió lograr una vida útil de 15 días a 5°C (la apariencia y calidad global del testigo se valoró por debajo del límite de comercialización). Los lavados de O<sub>3</sub> redujeron el consumo de fructosa y glucosa, aunque la disminución de los SST sólo decreció con la conservación. En ningún momento el O<sub>3</sub> causó daños visibles en las rodajas ni transmitió sabores o aromas extraños o desagradables. Tras la conservación, el O<sub>3</sub> redujo las pérdidas en ácidos ascórbico y fumárico, tanto en tomate entero como procesado. El O<sub>3</sub> fue muy efectivo contra el crecimiento microbiano (reducciones de 1,1 ufc·g<sup>-1</sup> en bacterias y mohos y de 0,5 ufc·g<sup>-1</sup> en levaduras) conforme se prolongó la conservación y más al aumentar la concentración de O<sub>3</sub>.
- 9) La vida útil del tomate procesado en fresco (rodajas o cascos) puede prolongarse hasta 14 días bajo AC o EAM (4 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub>) y a 0°C. En cambio, a 5°C ésta se reduce a 10 ó 12 días con la aplicación de lavados de O<sub>3</sub> o exposiciones cíclicas a O<sub>3</sub>.

A modo de resumen final de conclusiones, por su mayor concentración de SST y menor AT el melón mostró una vida útil más corta que el tomate, por el crecimiento microbiano. En ambos productos procesados en fresco el sabor y el aroma fueron los parámetros más lábiles, con mayores reducciones al prolongar la conservación. Fue mucho mejor la temperatura de 0 frente a 5°C para prolongar la vida comercial de ambos productos.

**VI. BIBLIOGRAFÍA**

- Abbott, J.A. (1998). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.*, 15, 207-225.
- Abbott, J.A., Conway, W.S., Sams, C.E. (1989). Postharvest calcium chloride infiltration affects textural attributes of apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 114, 935-936.
- Abe, K. y Watada, A.E. (1991). Ethylene absorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables. *J. Food Sci.*, 56, 1493-1496.
- Abee, T. y Wouters, J.A. (1999). Microbial stress response in minimal processing. *Int. J. Food Microbiol.*, 50, 65-91.
- Abeles, F.B., Morgan, P.W. y Saltveit, M.E. (1992). *Ethylene in plant biology*. 2<sup>nd</sup> ed. Academic, San Diego.
- Achen, M. (2000). Efficacy of ozone in inactivating *Escherichia coli* O157:H7 in pure cell suspensions and on apples. M.S. Thesis. The Ohio State University, Columbus. Citado por Unal et al. (2001).
- Adams, M.R., Hartley, A.D., Cox, L.J. (1989). Factors affecting the efficacy of washing procedures used in the production of prepared salads. *Food Microbiol.*, 6, 69-77.
- Agar, I.T., Massantini, R., Hess-Pierce, B. y Kader, A.A. (1999). Postharvest CO<sub>2</sub> and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. *J. Food Sci.*, 64, (3), 433-440.
- Ahvenainen, R. (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends Food Sci. Technol.*, 7, 179-187.
- Ahvenainen, R. (2000). Ready-to-use fruit and vegetables. Flair-flow Europe Technical Manual. Teagasc, The National Food Centre. Dunsinea, Castleknock. (Ireland). 1-31.
- Allende, A., Aguayo, E. y Artés, F. (2003). Quality of commercial fresh processed red lettuce through the production chain shelf-life. *Int. J. Food Microbiol.* (en prensa).
- Altman, S.A. y Corey, K.A. (1987). Enhanced respiration of muskmelon fruits by pure oxygen and ethylene. *Scientia Hort.*, 31, 275-281.
- Alvarez, M.E., Pennell, R.I., Meijer, P.J., Ishikawa, A., Dixon, R.A. y Lamb, C. (1998). Reactive oxygen intermediates mediate a systemic signal network in the establishment of plant immunity. *Cell*, 92, 773-784.
- Amanatidou, A., Slump, R.A., Gorris, L.G.M. y Smid, E.J. (2000). High oxygen and high carbon dioxide modified atmosphere for shelf-life extension of minimally processed carrots. *J. Food Sci.*, 65, 61-66.
- Anderson, J.L. y Campbell, W.F. (1995). Calcium transport and ATPase activity in microsomal vesicle fraction from 'Montmorency' sour cherry fruit. *Acta Hort.*, 398, 47-57.

- Aquino-Bolaños, E.N., Cantwell, M.I., Peiser, G. y Mercado-Silva, E. (2000). Changes in the quality of fresh-cut jicama in relation to storage temperatures and controlled atmospheres. *J. Food Sci.*, 65, 7, 1238-1243.
- Arpaia, M.L., Mitchell, F.G. y Kader, A.A. (1986). Ethylene and temperature effects on softening and white core inclusions of kiwifruit stored in air or controlled atmosphere. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 111, 149-154.
- Artés, F. (1976). Estudio y aplicación de membranas de polímeros para generar y estabilizar atmósferas modificadas. Ed. CEBAS-CSIC, Murcia. 249 p.
- Artés, F. (1993). Diseño y cálculo de polímeros sintéticos de interés para la conservación hortofrutícola en atmósfera modificada. Nuevo Curso de Ingeniería del Frío. En: Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos. 2ª Ed. M. Madrid. 427-453.
- Artés, F. (1995a). Innovaciones en los tratamientos físicos modulados para preservar la calidad hortofrutícola en la postrecolección. I. Pretratamientos térmicos. *Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Alim.*, 35 (1), 45-64.
- Artés, F. (1995b). Innovaciones en los tratamientos físicos modulados para preservar la calidad hortofrutícola en la postrecolección. III. Tratamientos gaseosos. *Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Alim.*, 35 (3), 247-269.
- Artés, F. (2000a). Conservación de los productos vegetales en atmósfera modificada. En: Aplicación del Frío a los Alimentos. Ed.: M. Lamúa. Edit: Mundi Prensa. Cap. 4, 105-125.
- Artés, F. (2000b). Productos vegetales procesados en fresco. En: Aplicación del Frío a los Alimentos. Ed.: M. Lamúa. Edit: Mundi Prensa. Cap. 5, 127-141.
- Artés, F. y Artés-Hdez., F. (2000). Innovaciones industriales en el procesado mínimo de frutas y hortalizas. CTC. *Rev. Agroalim. Ind. Afines*, 7, 29-33.
- Artés, F. y Escriche, A. (1994). Intermittent warming reduces chilling injury and decay of tomato fruit. *J. Food Sci.*, 59, 5, 1053-1056.**
- Artés, F. y Martínez, J.A. (1997). Gas transmission characteristics of different films used for packaging intact and minimally processed fruits and vegetables. CIPA International Congress, Plastic in Agriculture, Tel Aviv, 481-487.
- Artés, F., Castañer, M. y Gil, M.I. (1998). El pardeamiento enzimático en frutas y hortalizas mínimamente procesadas. *Food Sci. Tech. Int.*, 4, (6), 377-389.
- Artés, F., Gómez, P.A. y Allende, A. (2002). Calidad y actividad fisiológica de apio procesado en fresco y conservado en atmósfera controlada. En: López, A., Esnoz, A. y Artés F. (Eds), Avances en Técnicas y Ciencias del Frío – I. CYTED, 333-339.
- Artés, F., Gómez, P.A. y Artés-Hernández (2002). Alteraciones físicas, fisiológicas y microbianas de frutas y hortalizas procesadas en fresco. *Alimentaria*, 335, 69-74.

- Artés, F., Vallejo, F. y Martínez, J.A. (1996). Determining gas permeability characteristics of some suitable films for minimally processed foods. EFFoST Meeting Minimal Processing of Food. Cologne, Germany, 6-9.
- Artés, F., Villaescusa, R. y Tudela, J.A. (2000). Modified atmosphere packaging of pomegranate. *J. Food Sci.*, 65,7, 1112-1116.
- Artés, F., Conesa, M.A., Hernández, S. y Gil, M.I. (1999). Keeping quality of fresh-cut tomato. *Postharvest Biol. Technol.* 17, 153-162.
- Artés, F., Escriche, A.J., Martínez, J.A., Marín, J.G. (1993). Quality factors in four varieties of melon (*Cucumis melo* L). *J Food Qual* 16: 91-100.
- Avena-Bustillos, R.J., Pacheco-Cázar, G., Campos-Sauceda, J.P., Montoya-Araujo, M.B. y Cano, D.C. (2002). Effect of ozone on tomatoes washing. IFT Annual Meeting, Anaheim, California. Poster 65A-2.
- Ayhan, Z., Chism, G.W. y Richter, E.R. (1998). The shelf-life of minimally processed fresh cut melons. *J. Food Quality*, 21, 29-40.
- Babic, I. and Watada, A.E. 1996. Microbial populations of fresh-cut spinach leaves affected by controlled atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.*, 9:187-193.
- Babic, I., Roy, S., Watada, A.E. y Wergin, W.P. (1996). Changes in microbial populations on fresh-cut spinach. *Int. J. Food Microbiol.*, 31, 107-119.
- Bablon, G., Belamy, W.D., Billen, G., Bourbigot, M.M., Daniel, F.B., Erb, F., Gomella, C., Gordon, G., Hartemann, P., Joret, J.C., Knocke, W.R., Langlais, B., Laplanche, A., Legube, B., Lykins, Jr B., Martin, G., Martin, N., Montiel, A., Morin, M.F., Miltner, R.S., Perrine, D., Prevost, M. Reckhow, D.A., Servais, P., Singer, P.C., Sproul, O.T., Ventresque, C. (1991). Practical applications of ozone: Principles and case studies. En: Langlais, G., Reckhow, D.A., Brink, D.R., (ed). *Ozone in water treatment: Application and engineering*. Chelsea, Mich., USA, Lewis Publisher, Inc., 133-316.
- Bai, J.H., Saftner, R.A., Watada, A.E. y Lee, Y.S. (2001). Modified atmosphere maintains quality of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *J. Food Sci.*, 66 (8), 1207-1211.
- Baker, R.A. (1993). Firmness of canned grapefruit sections improved with calcium lactate. *J. Food Sci.*, 58, 1107-1110.
- Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O. y Baker, R.A. (1995). Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, 30 (1), 35-37.
- Bangerth, F. (1979). Calcium-related physiological disorders of plants. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 17, 97-122.

- Bangerth, F., Dilley, D.R., Dewey, D.H. (1972). Effect of postharvest calcium treatments on internal breakdown and respiration of apple fruits. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 97, 679-682.
- Baranovskaya, V.A., Zapol'skii, O.B., Ovrutskaya, I.Y., Obodovskaya, N.N., Pschenichnaya, E.E. y Yushkevich, O.I. (1979). Use of ozone gas sterilization during storage of potatoes and vegetables. *Konservn. Ovoshchesus Promst'*. 4, 10-12. Citado por Kim et al. (1999b).
- Barrios, A. y Escobar, P.G. (2002). Vegetales de 4ª gama: un mercado emergente con gran evolución. *Aral*, 3, 122-124.
- Barrett, D.M. (1996). Special treatments to maintain product quality. En: *Fresh-cut products: Maintaining quality and safety*. Ed. Univ. of California. Postharv. Hort. Ser. 10.
- Barrett, D.M., Lee, C.Y. y Liu, F.W. (1991). Changes in 'Delicious' apple browning and softening during controlled atmosphere storage. *J. Food Qual.*, 14, 443-451.
- Barry-Ryan, C. y O'Beirne, D. (1998). Quality and shelf-life of fresh-cut carrot slices as affected by slicing method. *J. Food Sci.*, 63, 851-856.
- Barry-Ryan, C. y O'Beirne, D. (1999). Ascorbic acid retention in shredded iceberg lettuce as affected by minimal processing. *J. Food Sci.*, 64,3, 498-500.
- Barry-Ryan, C., Pacussi, J.M. y O'Beirne, D. (2000). Quality of shredded carrots as affected by packaging film and storage temperature. *J. Food Sci.*, 65, (4), 726-730.
- Barth, M.M., Zhou, C., Mercier, M. y Payne, F.A. (1995). Ozone storage effects on anthocyanin content and fungal growth in blackberries. *J. Food Sci.*, 60, 1286-1287.
- Bartolome, L.G., Hoff, J.E. (1972). Firming of potatoes: biochemical effect of preheating. *J. Agric. Food Chem.*, 20, 266-270.
- Bastrash, S., Makhlof, J., Castaigne, F. y Willemot, C. (1993). Optimal controlled atmosphere conditions for storage of broccoli florets. *J. Food Sci.*, 58, 338-341.
- Bazarova, V.I. (1982). Use of ozone in storage of apples. *Food Sci. Technol.*, 14, 11-14.
- Beaudry, R.M. (1993). Effect of carbon dioxide partial pressure on blueberry fruit respiration and respiratory quotient. *Postharvest Biol. Technol.*, 3, 249-258.
- Beavers, W., Sams, C.E., Conway, W.S. y Brown, G.A. (1994). Calcium source affects calcium content, firmness, and degree of injury of apples during storage. *HortScience*, 29 (12), 1520-1523.
- Beck, R.G. (1992). Compositions and methods for inhibiting browning of processed produce. United States patent US5126153.

- Beckstrom-Sternberg, S.M y Duke, J.A. (1995). Phytochemical database. Natl. Germplasm Resources Lab., Agr. Res. Serv., USDA, Beltsville, Md. (<http://www.ars-grin.gov/ngrlsb/>).
- Beltrán, F.J. (1995). Theoretical aspects of the kinetics of competitive ozone reactions in water. *Ozone Science and Engineering*, 17, 163-181.
- Beltrán, D., Periago, P.M. y Gil, M.I. (2003). El ozono como higienizante de productos vegetales frescos cortados. II Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Junio, 769-722.
- Benavides, A., Recasens, I., Casero, T., Soria, Y. y Puy, J. (2002). Multivariate analysis of quality and mineral parameters on Golden Smoothie apples treated before harvest with calcium and stored in controlled atmosphere. *Food Sci. Tech. Int.*, 8 (3), 139-146.
- Bennik, M.H.J., Vorstman, W., Smid, E.J., and Gorris, L.G.M. (1998). The influence of oxygen and carbon dioxide on the growth of prevalent Enterobacteriaceae and Pseudomonas species isolated from fresh and controlled-atmosphere-stored vegetables. *Food Microbiol.*, 15, 459-469.
- Ben-Yehoshua, S. (1985). Individual seal packaging of fruit and vegetables in plastic film. A new postharvest technique. *HortScience*, 20 (1), 32-37.
- Bernadac, A., Jean-Baptiste, I., Bertoni, G. y Morard, P. (1996). Changes in calcium contents during melon (*Cucumis melo* L.) fruit development. *Scientia Hort.*, 66, 181-189.
- Berrang, M.E. Brackett, R.E. y Beuchat, L.R. (1990). Surface decontamination of fruits and vegetables. *J. Food Protect.*, 53, 391-395.
- Beuchat, L.R. (1992). Surface disinfection of raw produce. *Dairy, Food Environmental Sanitation*, 12 (1), 6-9.
- Beuchat, L.R. (1999). Survival of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in bovine faeces applied to lettuce and the effectiveness of chlorinated water as a disinfectant. *J. Food Prot.*, 62, 845-849.
- Bleeker, A.B., Estelle, M.A., Somerville, C. y Kende, H. (1988). Insensitivity to ethylene conferred by a dominant mutation in *Arabidopsis thaliana*. *Science*, 241, 1086-1089.
- Board, P.W. (1989). Control de calidad en la elaboración de frutas y hortalizas. Estudio F.A.O. Alimentación y Nutrición, 39, Roma. 69 p.
- Bolin, H.R. y Huxsoll, C.C. (1989). Storage stability of minimally processed fruit. *J. Food Biochem.*, 13, 281-292.
- Bolin, H.R. y Huxsoll, C.C. (1991). Effect of preparation procedures and storage parameters on quality retention of shredded lettuce. *J. Food Sci.* 42, 1319-1321.

- Bolin, H.R., Stafford, A.D., King, Jr. Y Huxsoll, C.C. (1977). Factors affecting the storage stability of shredded lettuce. *J. Food Sci.* 42, 1319-1321.
- Boller, T., Herner, R.C. y Kende, H. (1979). Assay for an enzymatic formation of an ethylene precursor, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Plant*, 145, 293-297.
- Bott, T.R. (1991). Ozone as a disinfecting in a process plant. *Food Control*, 2, (1), 44-49.
- Brackett, R.E. (1987). Microbiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Quality*, 10, 195-206.
- Brackett, R.E. (1992). Shelf stability and safety of fresh produce as influenced by sanitation and disinfection. *J. Food Protect.*, 55, 808-814.
- Brackett, R.E. (1997). Alteración microbiológica y microorganismos patógenos de frutas y hortalizas refrigeradas mínimamente procesadas. En: *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. R.C. Wiley. Ed: Acribia. Cap. 7., 263-304.
- Brackett, R. (1999). Incidence, contributing factors and control of bacterial pathogens in produce. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 305-311.
- Bramlage, W.J., Drake, M., Baker, J.H. (1974). Relationships of calcium content to respiration and postharvest condition of apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 99, 376-378.
- Brecht, P.E. (1980). Use of controlled atmosphere to retard deterioration of produce. *Food Technol.*, 34, 45-50.
- Brecht, J.K. (1995). Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *HorScience*, 30, 18-22.
- Broadwater, W.T., Hoehn, R.C. y King, P.H. (1973). Sensitivity of three selected bacterial species to ozone. *Appl. Microbiol.*, 26, 391-393.
- Bryan, F. (1988). Risks of practices, procedures and processes that lead to outbreak of foodborne disease. *J. Food Prot.*, 51, 663-673.
- Buescher, R.W. y Adams, K. (1983). Basis for enhanced softening of snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from postharvest exposure to carbon dioxide. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 108, 58-60.
- Burleson, G.R., Murray, T.M. y Pollard, M. (1975). Inactivation of viruses and bacteria by ozone, with and without sonication. *Appl. Microbiol.*, 29, 340-344.
- Burg, S.P. y Burg, E.A. (1967). Molecular requirements for the biological activity of ethylene. *Plant Physiol.*, 42, 144-156.
- Burger, Y., Saar, U., Katzir, N., Paris, H.S., Yeselson, Y., Levin, I. y Schaffer, A.A. (2002). A single recessive gene for sucrose accumulation in *Cucumis melo* fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 127, (69), 938-943.

- Burns, J.K. (1995). Lightly processed fruits and vegetables: Introduction to the Colloquium. *HortScience*, 30 (1), 14.
- Burstrom, H.G. (1968). Calcium and plant growth. *Biol. Rev.*, 43, 287-316.
- Burton, W.G. (1965). The permeability to oxygen of the periderm of the potato tuber. *J. Exp. Bot.*, 16, 12-14.
- Buta, J.G., Moline, H., Spaulding, D.W., Wang, C.Y. (1999). Extending storage life of fresh-cut apples using natural products and their derivatives. *J. Agric. Food Chem.*, 47 (1), 1-6.
- Cacace, J.E., Delaquis, P.J. y Mazza, G. (2002). Effect of chemical inhibitors and storage temperature on the quality of fresh-cut potatoes. *J. Food Qual.*, 25, 181-195.
- Cameron, A.C., Talasila, P.C. y Joles, D.W. (1995) Predicting film permeability needs for modified atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, 30 (1), 25-34.
- Campbell, A.D., Huysamer, M., Stotz, H.U., Greve, L.C. y Labavitch, J.M. (1990). Comparison of ripening processes in intact tomato fruit and excised pericarp discs. *Plant Physiol.*, 94, 1582-1589.
- Cantwell, M. (1991). Physiology of cut fruits and vegetables. Abstract 10. American Chemical Society Annual Meeting, New York, NY.
- Cantwell, M. (1996). Introduction. En: *Fresh-cut products: Maintaining quality and safety*. Ed. Univ. of California. Postharv. Hort. Ser. 10.
- Cantwell, M. y Portela, S. (1998). Recent research: comparing quality changes between intact and fresh-cut melon. *Perishables Handling Quarterly Issue*, nº 96, 5.
- Cantwell, M.I. y Suslow, T.S. (2002). Postharvest handling systems: Fresh-cut fruits and vegetables. En: A. A. Kader, (Ed.), *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3<sup>rd</sup> Edition. University of California Agriculture Pub., 3311, USA. 445-464.
- Carlin, F., Nguyen-The, C., Cudennec, P. y Reich, M. (1989). Microbiological spoilage of fresh, ready-to-use grated carrots. *Sci. Alim.*, 9, 371-386.
- Carlin, F., Nguyen-The, C., Chambroy, Y. y Reich, M. (1990). Effects of controlled atmospheres on microbial spoilage, electrolyte leakage and sugar content of fresh 'ready-to-use' carrot. *J. Food Sci. Technol.*, 25, 110-119.
- Carvajal, M., Martínez, V. y Cerdá, A. (1999). Influence of magnesium and salinity on tomato plants grown in hydroponic culture. *J. Plant Nutrition* 22(1), 177-190.
- Cena, A. (1998). Ozone: Keep it fresh for processing. *Water Conditioning Purification*, 9, 112-115.
- Chachin, K. y Iwata, T. (1988). Physiological and compositional changes in 'Prince Melon' fruit during development and ripening. *Bull. Univ. Osaka Pref. Ser. B.*, 40:27-35.

- Chang, C.Y. y Chiu, C.Y. (1996). Combined self-absorption and self-decomposition of ozone in aqueous solutions with interfacial resistance. *Ozone Science and Engineering*, 18, 183-194.
- Chantanawarangoon, S. y Kader, A.A. (2002). Calcium treatments and modified atmospheres extend post-cutting life of mango. Annual Meeting and Food Expo-Anaheim, California.
- Chaplin, G.R., Wills, R.B.H. y Graham, D. (1983). Induction of chilling injury in stored avocados with exogenous ethylene. *HortScience*, 18, 952-953.
- Chatenet, C., Lateh , A., Olmos, E., Ranty, B., Charpentreau, M., Ranjeva, R., Pech, J.C. y Graziana, A. (2000). Spatial-resolved analysis of histological and biochemical alterations induced by water-soaking in melon fruit. *Physiol. Plant.*, 110, 248-255.
- Cherry, J.P. (1999). Improving the safety of fresh produce with antimicrobials. *Food Technol.*, 53, 54-59.
- Chu, C.L. y Wang, S.L. (2001). Effect of cutting style, low-oxygen atmosphere and cold temperature on the respiration rate of minimally processed vegetables. Proc. 4<sup>th</sup> Conference on Postharvest. Eds. R. Ben-Arie y S. Philosoph-Hadas. *Acta Hort.* 553, 691-692.
- Combrink, N.J.J. y Maree, P.C.J. (1995). The effect of calcium and boron on the quality of muskmelon (*Cucumis melo* L.). *J. South African Society Horticultural Science*, 5, 33-38.
- Conway, W.S. (1989). Altering nutritional factors after harvest to enhance resistance to postharvest disease. *Phytopathology*, 79, 1384-1387.
- Conway, W.S. y Sams, C.E. (1984). Possible mechanism by which postharvest calcium treatment reduces decay in apples. *Phytopathology*, 74, 208-210.
- Conway, W.S. y Sams, C.E. (1985). Influence of fruit maturity on the effect of postharvest calcium treatment on decay of Golden Delicious apples. *Plant Dis.*, 69, 42-44.
- Conway, W.S. y Sams, C.E. (1987). The effects of postharvest infiltration of calcium, magnesium, or strontium on decay, firmness, respiration, and ethylene production in apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 112, 300-303.
- Conway, W.S., Sams, C.E. y Watada, A.E. (1997). Relationships between total and cell wall bound calcium in apples following postharvest infiltration of calcium chloride. *Acta Horticulturae*, 398, 31-39.
- Conway, W.S., Gross, K.C., Boyer, C.D. y Sams, C.E. (1988). Inhibition of *Penicillium expansum* polygalacturonase activity increased apple cell wall calcium. *Phytopathology*, 78, 1052-1055.
- Conway, W.S., Sams, C.E., Wang, C.Y. y Abbott, J.A. (1994). Additive effects of postharvest calcium and heat treatment on reducing decay and maintaining quality in apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 119, (1), 49-53.
- Cornillon, P., Aubert, S. y Duprat, F. (1990). Influence of calcium nutrition on quality of cantaloupe. Abstract of XXII Int. Hort. Congress., Florence, Italy. Abstract n  4124.

- Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion*, 2<sup>nd</sup> edit. Oxford: Clarendon Press.
- Creencia, R.P. y Bramlage, W.J. (1971). Reversibility of chilling injury to corn seedlings. *Plant Physiol.*, 47, 389-392.
- Crothers, D. (1992). Packaging technology extends reach of precuts. *Produce Business Aug.* 1992. p.33.
- Damarty, M., Morvan, C. y Thellier, M. (1984). Calcium and cell wall. *Plant, Cell and Environment*, 7, 441-448.
- Daniels, J.A., Krishnamurthi, R. y Rizvi, S.S.H. (1985). A review of effects of carbon dioxide on microbial growth and food quality. *J. Food Protect.*, 48, 532-537.
- Davies, J.N. y Kempton, R.J. (1975). Changes in the individual sugars of tomato fruit during ripening. *J. Sci. Food Agric.*, 26, 1103-1110.
- Davies, J.N. y Hobson, G.E. (1981). The constituents of tomato fruit the influence of environment, nutrition and genotype. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 15, 205-280.
- Day, A. (1996). High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce. *Postharvest News Inf.*, 7 (3), 31-34.
- Day, B.P.F. (1995). Frutas y hortalizas. En: *Envasado de los alimentos en atmósfera modificada*. Parry, R.T. Ed.: Madrid Vicente, Madrid, España, Cap. 6, 133-155.
- Day, B.P.F. (2001). Modified atmosphere packaging of fresh fruit and vegetables: An overview. *Proc. 4<sup>th</sup> Conf. on Postharvest Sci.* Eds. Ben-Aire, R. y Philosoph-Hadas, S. Vol., II. *Acta Hort.*, 553, ISHS, 585-591.
- Deikman, J., Xu, Kneissl, M.L., Ciardi, J.A., Kim, K.N. y Pelah, D. (1998). Separation of cis elements responsive to ethylene, fruit development, and ripening in the 5'-flanking region of the ripening-related E8 gene. *Plant Mol. Biol.*, 37, 1001-1011.
- Demarty, M., Morvan, C. y Thellier, M. (1984). Calcium and the cell wall. *Plant Cell Environ.*, 7, 441-448.
- Dey, P.M. y Brinson, K. (1984). Plant cell-walls. *Adv. Carbohydrate Chem. Biochem.*, 42, 265-382.
- Dickson, R.G., Law, S.E., Kays, S.J., Eiteman, M.A. (1992). Abatement of ethylene by ozone treatment in controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. *Proc. International Winter Meeting, Am. Soc. Agric. Eng.*, 1-9.
- Dodds, G.T., Brown, J.W. y Ludford, P.M. (1991). Surface color changes of tomato and other solanaceous fruit during chilling. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 116, 482-490.
- Dodds, G.T., Trenholm, L. y Madramootoo, C.A. (1996). Effects of watertable and fertilizer management on susceptibility of tomato fruit to chilling injury. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 121, 525-530.
- Dong, X., Wrolstad, R.E. y Sugar, D. (2000). Extending shelf life of fresh-cut pears. *J. Food Sci.*, 65, 181-186.

- Drake, S.R. y Spayd, S.E. (1983). Influence of calcium treatment on "Golden Delicious" apple quality. *J. Food Sci.*, 48, 430-405.
- Dunlap, J.R. 1986. Influences of soil temperature on the early growth of three muskmelon cultivars. *Scientia Hort.*, 29, 221-228.
- Duque, P., Barreiro, M.G. y Arrabaca, J.D. (1999). Respiratory metabolism during cold storage of apple fruit. I. Sucrose metabolism and glycolysis. *Physiol. Plantarum*, 107, 14-23.
- Durigan, J.F. y Sargent, S.A. (1999). Uso do melao cantaloupe na producao de produtos mimimamente processados. *Alim. Nutri.*, 10, 69-77.
- Dyas, A., Boughton, B.J. y Das, B.C. (1983). Ozone killing action against bacterial and fungal species; Microbiological testing of a domestic ozone generator. *J. Clinical Pathol.*, 36, 1102-1104.
- Dziezak, J.D. (1986). Preservative systems in foods, antioxidants and antimicrobial agents. *Food Technol.*, 40, (9), 94-136.
- Dziezak, J.D. (1988). Monsanto's new product extends produce freshness. *Food Technol.* 42, (9), 98.
- Eaks, I.L. (1960). Physiological studies of chilling injury in citrus plant. *Plant Physiol.*, 35, 632-636.
- Eaks, I.L. y Morris, L.L. (1956). Respiration of cucumber fruits associated with physiological injury at chilling temperatures. *Plant Physiol.*, 33, 308-314.
- Eitenmiller, R.R., Johnson, C.D., Bryan, W.D., Warren, D.B. y Gebhardt, S.E. (1985). Nutrient composition of Cantaloupe and Honeydew melons. *J. Food Sci.*, 50, 136-138.
- Elford, W.J. y Ende, V.D. (1942). An investigation of the merits of ozone as an aerial disinfectant. *J. Hyg.*, 42, 240-265.
- El-Goorani, M.A. y Sommer, N.F. (1981). Effects of modified atmospheres on postharvest pathogens of fruits and vegetables. In: *Horticultural Reviews*, Janick (ed.), Westport, CT:AVI Publishing, 3, 412-462., 7,3, 251-258.
- Elstner, E.F., Osswald, W. y Youngman, R.J. (1985). Basic mechanism of pigment bleaching and loss of structural resistance in spruce (*Picea abies*) needles: advances in phytomedical diagnostics. *Experientia*, 41, 591-597.
- Escalona Contreras, V.H. (2003). Tesis: Innovaciones tecnológicas en la conservación y procesado en fresco de hinojo y colirrábano mediante refrigeración y modificación de la atmósfera. 280 p.
- Escrache, I., Serra, J.A., Gómez, M. y Galotto, M.J. (2001). Effect of ozone treatment and storage temperature on physiocochemical properties of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Food Sci. Tech. Int.*, 7,3,251-258
- Eurofruit Magazine, anónimo (1997). Winter melons secure strong hold in the UK, 2, 57.
- Exama, A., Arul, J., Lencki, R.W., Lee, L.Z. y Toupin, C. (1993). Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *J. Food Sci.*, 58 (6), 1356-1370.

- Ewell, A.W. (1940). Ozone and its applications in food preservation. Refrigeration Application Data Book. 2<sup>nd</sup> ed., Sect. II. Cold storage practice, 199-203. Am. Soc. Refrig. Eng., Menasha, Wis.
- Ewell, A.W. (1946). Recent ozone investigation. J. Appl. Physics., 17, 908-911.
- Ewell, A.W. (1950). Ozone and its applications in food preservation. Am. Soc. Refrigerating Engrs., Refrigerating Engrg. Applic., Sept.
- Fallahi, E., Conway, W.S., Hickey, K.D. y Sams, C.E. (1997). The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples. HortScience, 32, 831-835.
- Fallik, E., Archbold, D.D., Hamilton-Kemp, T.R., Loughrin, J.H. y Collins, R.W. Heat treatment temporarily inhibits aroma volatile compound emission from Golden Delicious apples. J. Agric. Food Chem., 45, 4038-4041.
- Farber, J.N. (1991). Microbial aspects of modified-atmosphere packaging technology-a review. J. Food Prot., 54 (1), 58-70.
- Farber, J.N., Harris, L.J., Parish, M.E., Beuchat, L.R., Suslow, T.V., Gorney, J.R., Garret, E.H. y Busta, F.F. (2003). Microbial safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce. Comprehensive reviews in food science and food safety, 2 (suplemento), 142-160.
- Farooq, S. y Akhlaque, S. (1983). Comparative response of mixed cultures of bacteria and virus to ozonation. Water Res., 17, 809-812.
- Faust, M.I. y Shear, C.B. (1972). The effect of calcium on the respiration of apples. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 47, 437-439.
- FECOAM (2002). Boletín informativo. Federación de Cooperativas Agrarias de Murcia, 49.
- Ferguson, I.B. (1984). Calcium in plant senescence and fruit ripening. Plant Cell Environ., 7, 477-489.
- Fernández-Trujillo, J.P., Nock, J.F. y Watkins, C.B. (1999). Fermentative metabolism and organic acid concentrations in fruit of selected strawberry cultivars with different tolerances to carbon dioxide. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 124, 696-701.
- Fidler, J.C. y Norton, C.J. (1967). The effect of conditions of storage on the respiration of apples. I. The effects of temperature and concentrations of carbon dioxide and oxygen on the production of carbon dioxide and uptake of oxygen. J. Hort. Sci., 42, 189-206.
- Fils-Lycaon, B. y Buret, M. (1991). Changes in glycosidase activities during development and ripening of melon. Postharvest Biol. Technol., 1, 143-151.
- Fischer, R.L. y Bennett, A.B. (1991). Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. Plant Mol. Biol., 42, 675-703.

- Flores, F.B. (2001). Tesis: Fisiología y maduración del melón Cantaloupe Charentais con un gen antisentido de la enzima ACC oxidasa. Tesis, Universidad de Murcia. 303 p.
- Floros, J.D. (1993). The shelf life of fruits and vegetables. En: Shelf life studies of foods and beverages. G. Charalambous (Ed.) Elsevier Science Publishers B.V.36 p.
- Foegeding, P.M. (1985). Ozone inactivation of *Bacillus* and *Clostridium* spore populations and the importance of the spore coat to resistance. *Food Microbiol.*, 2, 123-134.
- Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R., Brecht, J.K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *J. Food Engineering*, 52, 99-119.
- Forney, C.F y Lipton, W.J. (1990). Influence of controlled atmosphere and packaging on chilling sensitivity. En: Wang, C.Y. (eds), *Chilling injury of Horticultural Crops*. CRC Press, Boca Raton, FL, 257-267.
- Freese, E, Sheu, C.W. y Galliers, E. (1973). Function of lipophilic acids as antimicrobial food additives. *Nature*, 241, 321-325.
- Frenkel, C. y Patterson, M.E. (1973). Effect of carbon dioxide on activity of succinic dehydrogenase in 'Barlett' pears during cold storage. *HortScience*, 8, 395-396.
- Gane, R. (1936). The respiration of bananas in presence of ethylene. *New Phytologist*, 36, 170-178.
- Garbarino, J.E., Hurkman, W.J., Tanaka, C.K. y Dupont, F.M. (1991). In vitro and in vivo phosphorylation of polypeptides in plasma membrane and tonoplast-enriched fractions from barley roots. *Plant Physiol.*, 95, 1219-1228.
- García, E. y Barrett, D.M. (2002). Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. Dept. Food Science and Technology. University of California, Davis. 32 p.
- García, J.M., Herrera, S. y Morilla, A. (1996). Effects of postharvest dips in calcium chloride on strawberry. *J. Agric. Food Chem.*, 44, 30-33.
- García, A., Mount, J.R., Davidson, P.M. y Yoder, R.E. (2001). Effectiveness of ozone and/or chlorine treatments on extending shelf life of fresh-cut lettuce salads. Resumen 30B. IFT Annual Meeting, New Orleans, Louisiana. Poster 30B-28.
- Garg, N., Churey, J.J. y Splittstoesser, D.F. (1990). Effect of processing conditions on the microflora of fresh-cut vegetables. *J. Food Prot.* 53, (8), 701-703.
- Garret, E. (1992). Chlorination of product wash water and effects of pH control. NAFPP Conference. International Fresh-cut Produce Association.
- Garret, E. (1997). Fresh-cut produce and food safety. *Journal of the association of food and drug officials*. 61 (1) 26-29.

- Gerasopoulos, D. y Richardson, D.G. (1996). Effects of exogenous propylene and fruit calcium on ripening of non-chilled and chilled "d'Anjou" pears. *Postharvest Biol. Technol.*, 8, 111-120.
- Gerasopoulos, D. y Richardson, D.G. (1999). Storage temperature and fruit calcium alter the sequence of ripening events of "d'Anjou" pears. *Hortscience*, 34, 316-318.
- Gidley, M.J., Morris, E.R., Murray, E.J., Powell, D.A. y Rees, D.A. (1980). Evidence for two mechanisms of interchain association in calcium pectate gels. *Int. J. Biol. Macromolec.*, 2, 332-334.
- Gil, M.I., Conesa, M.A. y Artés, F. (2002). Quality changes in fresh cut tomato as affected by modified atmosphere packaging. *Post. Biol. Technol.*, 25, 199-207.
- Gil, M.I., Gorny, J.R. y Kader, A.A. (1998). Postharvest physiology and quality of 'Fuji' apple slices in response to ascorbic acid treatments and low-oxygen atmospheres. *HortScience*, 33, (2), 305-309.
- Gil, M.I., Martínez, J.A. y Artés, F. (1996). Minimally processed pomegranate seeds. *Lebensmittel Wissenschaft und -Technologie*. 29, 708-713.
- Gillian, A., Christopher, T. y O'Beirne, D. (1999). The microbial safety of minimally processed vegetables. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 34, 1-22.
- Giese, A.C. y Christensen, E. (1954). Effects of ozone on organisms. *Physiol. Zool.*, 27, 101-115.
- Giovannuzzi, L., Rodríguez, N. y Zaritsky, N.E. (1988). Influence of packaging film permeability and residual sulphur dioxide on the quality of pre-peeled potatoes. *Intern. J. Food Sci. Technol.*, 23, 147-152.
- Glaze, W.H. y Kang, J.W. (1989). Advanced oxidation processes. Description of a kinetic model for the oxidation of hazardous materials in aqueous media with ozone and hydrogen peroxide in a semibatch reactor. *Incl. Engr. Chem. Research*, 28, 1573-1580.
- Glenn, G.M. y Poovaiah, B.W. (1990). Calcium-mediated postharvest changes in texture and cell wall structure and composition in 'Golden Delicious' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115 (6), 962-968.
- Glenn, G.M., Reddy, A.S.N. y Poovaiah, B.W. (1988). Effect calcium on cell wall structure, protein phosphorylation and profile in senescing apples. *Plant Cell Physiol.*, 29, 565-572.
- Glenn, G.M., Poovaiah, B.W. y Rasmussen, H.P. (1985). Pathways of calcium penetration through isolated cuticles of "Golden Delicious" apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 110 (2), 166-171.
- Golden, D.A., Rhodehamel, E.J. y Kautter, D.A. (1993). Growth of *Salmonella* spp. in cantaloupe, watermelon and honeydew melons. *J. Food Prot.*, 56, 194-196.
- Goodenough, P.W. y Thomas, T.H. (1981). Biochemical changes in tomatoes stored in modified gas atmospheres. I. Sugars and acids. *Ann. Appl. Biol.*, 98, 507-515.

- Gorny, J.R. (1997). A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables. CA '97 Proceedings. Vol. 5, 30-66. Postharvest Horticultural Series No. 19, University of California, Davis.
- Gorny, J.R. (2001a). HACCP for the fresh-cut produce industry. In: J. Gorny (Ed.). Food Safety Guidelines for the fresh-cut industry. IFPA. Alexandria, Virginia, USA. 1-13.
- Gorny, J.R. (2001b). A summary of CA and MA Requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruit and vegetables. Proc. 8<sup>th</sup> Controlled Atmosphere Research Conference. Eds. Oosterhaven, J. y Peppelenbos, H.W. Vol. II, Acta Hort., 600, ISHS, 609-614.
- Gorny, J.R. y Kader, A.A. (1996a). Fresh cut fruit products. En: Fresh-cut products: Maintaining quality and safety. Ed. Univ. of California. Postharv. Hort. Ser. 10.
- Gorny, J.R. y Kader, A.A. (1996b). Regulation of ethylene biosynthesis in climateric apple fruit by elevated CO<sub>2</sub> and reduced O<sub>2</sub> atmospheres. Postharvest Biol. Technol., 9, 311-323.
- Gorny, J.R., Hess-Pierce, B. y Kader, A.A. (1998). Effects of fruit ripeness and storage temperature on the deterioration rate of fresh-cut peach and nectarine slices. HortScience, 33, 110-113.
- Gorny, J.R., Hess-Pierce, B. y Kader, A.A. (1999). Quality changes in fresh-cut peach and nectarine slices as affected by cultivar, storage atmosphere and chemical treatments. J. Food Sci., 64, (3), 429-432.
- Gorny, J.R., Cifuentes, R.A., Hess-Pierce, B. y Kader, A.A. (2000). Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by cultivar, ripeness stage, fruit size, and storage regime. J. Food Sci., 65, (3), 541-544.
- Gorny, J.R., Hess-Pierce, B., Cifuentes, R.A. y Kader, A.A. (2002). Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmosphere and chemical preservatives. Postharvest Biol. Technol., 24, 271-278.
- Gottauf, M. y Hanse, H. (1965). On the action of ozone in the storage atmosphere of apples-gas chromatographic studies. Kaltetechnik, 17 (10), 315-316. Citado por Rice et al. (1982).
- Graham, D.M. (1997). Use of ozone for food processing. Food Technol., 51, 6, 72-75.
- Grant, G.T., Morris, E.R., Rees, D.A., Smith, P.J.C., Thom, D. (1973). Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: the egg-box model. FEBS Lett 32, 195-198.
- Greengrass, J. (1995). Films para envasado en atmósfera modificada. En: Envasado de los alimentos en atmósfera modificada. Parry, R.T. Ed.: Madrid Vicente A., Madrid, España. Cap. 4, 79-118.
- Grierson, D. y Tucker, G.A. (1983). Timing of ethylene and polygalacturonase synthesis in reaction to the control of tomato fruit ripening. Plant Physiol., 157, 174-179.
- Gunes, G. y Lee, C.H. (1997). Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents. J. Food Sci., 62, (3), 572-575.

- Gunes, G., Splittstoesser, F.D. y Lee, C.Y. (1997). Microbial quality of fresh potatoes: Effect of minimal processing. *J. Food Prot.*, 60, (7), 863-866.
- Hadfield, K.A., Rose, J.K.C. y Bennett, A.B. (1998). Polygalacturonase gene expression in ripe melons fruits support a role for polygalacturonase in ripening-associated pectin disassembly. *Plant Physiol.*, 117, 363-373.
- Hakim, A., Batal, K.M., Austin, M.E., Gullo, S. y Khatoon, M. (2000). Quality of packaged fresh-cut tomatoes. *Adv. Hort. Sci.*, 14, 59-64.
- Hamelin, C. (1985). Production of single and double stranded breaks in plasmid DNA by ozone. *Oncol. Biol. Phys.*, 11, 253-257.
- Hampson, B.C., Fiori, S. (1997). Application in food processing operations. En: *Proc. IOAPAG Animal Conf.*, Lake Tahoe, Nev. Stamford, Conn.: Int Ozone Assoc., Pan American Group, 261-267. Citado por Khadre et al., (2001).
- Hanson, E.J. y Trewavas, A. (1982). Regulation of plant cell growth: the changing perspective. *New Phytol.*, 90, 1-18.
- Hanson, E.J., Beggs, J.L. y Beaundry, R.M. (1993). Applying calcium chloride postharvest to improve highbush blueberry firmness. *HortScience*, 28 (10), 1033-1034.
- Harakeh, M.S. y Butler, M. (1985). Factors influencing the ozone inactivation of enteric viruses in effluent. *Ozone Sic. Eng.*, 6, 235-243.
- Harker, F.R. y Ferguson, I.B. (1988). Transport of calcium across cuticles isolated from apple fruits. *Scientia Hort.*, 36, 205-217.
- Harker, F.R., Ferguson, I.B. y Dromgoole, F.I. (1989). Calcium ion transport through tissue discs of the cortical flesh of apple fruit. *Physiol. Plant.*, 74, 688-694.
- Hamza, F., Castaigne, F., Willemot, C., Doyon, G. y Makhlof, J. (1996). Storage of minimally processed romaine lettuce under controlled atmosphere. *J. Food Quality*, 19, 177-188.
- Hanson, J.B., Malhotra, S.S. y Stoner, C.D. (1965). Action of calcium on caorn mitochondria. *Plant Physiol.*, 40, 101-109.
- Harker, F.R., Redgwell, R.J., Hallett, I.C. y Murray, S.H. (1997). Texture of fresh fruit. *Hortic. Rev.* 20, 121-124.
- Heagle, A.S. (1973). Interactions between air pollutants and plant parasites. *Ann. Rev. Phytopath.*, 11, 365-388.
- Heagle, A.S. y Strickland, A. (1972). Reaction of *Erysiphe graminis* f. sp. *Hordei* to low levels of ozone. *Phytopath.*, 62, 1144-1148.
- Heiland, W.K., Konstance, R.P. y Craig, J.C. Jr. (1990). Robotic high pressure water jet cutting of chunk slices. *J. Food Proc. Engin.*, 12, 131-136.

- Herner, R.C. (1987). High CO<sub>2</sub> effects on plant organs. In: J. Weichmann (Ed.), *Postharvest physiology of vegetables*. New York, USA: Marcel Dekker, 239-253.
- Herppich, W.B., Geyer, M. y Linke, M. (2001). Influence of lighting in retail markets on atmospheric composition in vegetable packaging. *Proc. 4<sup>th</sup> Conf. Postharvest Sci.* Eds. Ben-Aire, R. y Philosoph-Hadas, S. Vol., II. *Acta Hort.*, 553, ISHS, 693-694.
- Hibben, C.R. y Stotzky, G. (1969). Effects of oxone on the germination of fungus spores. *J. Microbiol.*, 15, 1187-1196.
- Hickey, K.D., Conway, W.S. y Sams, C.E. (1995). Effect of calcium sprays and cultivar resistance on fruit decay development on apple. *Pennsylvania Fruit News*, 75, 37-40.
- Hobbs, B.C. y Gilbert, R.J. (1978). *Food poisoning and Food Hygiene*, 4<sup>th</sup> ed. Edward Arnold, London, p.366.
- Hobson, G.E. (1987). Low-temperature injury and the storage of ripening tomatoes. *J. Hort. Sci.*, 62, 55-62.
- Hoffmann, N.L. y Yang, S.F. (1982). Enhancement of wound-induced ethylene synthesis by ethylene in preclimateric cantaloupe. *Plant Physiol.* 69, 317-322.
- Holcroft, D.M. y Kader, A.A. (1999). Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, 17, 19-32.
- Holdsworth, S.D. (1983). *The preservation of fruit and vegetable food products*. MacMillan Press. London, 159 pp.
- Hong, J.H. y Gross, K.C. (1998). Surface sterilization of whole tomato fruit with sodium hypochlorite influences subsequent postharvest behavior of fresh-cut slices. *Postharvest Biol. Technol.*, 13, 51-58.
- Hong, J.H. y Gross, K.C. (2000). Involvement of ethylene in development of chilling injury in fresh-cut tomato slices during cold storage. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 125:736-741.
- Hong, J.H. y Gross, K.C. (2001). Maintaining quality of fresh-cut tomato slices through modified atmosphere packaging and low temperatures storage. *J. Food Sci.*, 66, 960-965.
- Hopfinger, J.A., Poovaiah, B.W. y Patterson, M.E. (1984). Calcium and magnesium interactions in browning of "Golden Delicious" apples with bitter pit. *Scientia Hort.*, 23, 345-347.
- Horvath, M.L., Bilitzky, L. y Huttner, J. (1985). Fields of utilization of ozone. In: R. J. H. Clark (Ed.), *Ozone*. Elsevier Science Publishing Co. New York, USA. 257-316.
- Hotchkiss, J.H. (1988). Experimental approaches to determining the safety of food packaged in modified atmosphere. *Food Technol.*, 42 (9), 55, 60-64.
- Hotchkiss, J.H. y Banco, M.J. (1992). Influence of new packaging technologies on the growth of microorganisms in produce. *J. Food Protect.*, 55: 815-820.

- Howard, L.R. y Dewi, T. (1996). Minimal processing and edible coating effects on composition and sensory quality of mini-peeled carrot. *J. Food Sci.*, 61, 643-645, 651.
- Hsu, A.F., Shieh, J.J., Bills, D.D. y White, K. (1988). Inhibition of mushroom polyphenoloxidase by ascorbic acid derivatives. *J. Food Sci.*, 53 (3), 765-772.
- Hubbard, N.L., Huber, S.C. y Pharr, M. (1989). Sucrose phosphate synthase and acid invertase as determinants of sucrose concentration in developing muskmelon fruits. *Plant Physiol.*, 91, 1527-1534.
- Hubbard, N.L. (1990). Sucrose metabolism in ripening muskmelon fruit as affected by leaf area. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115, 798-802.
- Hunt, N.K. y Marinas, B.J. (1997). Kinetics of *Escherichia coli* inactivation with ozone water. *Water Res.*, 31, 1355-1362.
- Huxsoll, C.C. y Bolin, H. (1989). Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables. *Overview Outstanding Symposia in Food Science & Technology*. Food Technol. 124-128.
- Hwang, E.S., Cash, J.N. y Zabik, M.J. (2001). Postharvest treatments for the reduction of mancozeb in fresh apples. *J. Agric. Food Chem.*, 49, 3127-3132.
- ICEX, 2003. Estadísticas. Instituto Español de Comercio Exterior. Secretaría de Estado, de Comercio y Turismo.
- Ingram, M. y Barnes, E.M. (1954). Sterelization by means of ozone. *J. Appl. Bacteriol.*, 17, 246-271.
- International Fresh-Cut Produce Association, 2002. <http://www.fresh-cuts.org/>.
- Ishizaki, K., Shinriki, N., Ikehata, A. y Ueda, T. (1981). Degradation of nucleic acids with ozone. Degradation of nucleobases, ribonucleosides and ribonucleoside-5-monophosphates. *Chem. Pharm.*, 29, 868-872.
- Izumi, H. y Watada, A.E. (1994). Calcium treatments effect storage quality of shredded carrots. *J. Food Sci.*, 59, 106-109.
- Izumi, H., Watada, A.E., Ko, N.P. y Douglas, W. (1996). Controlled atmosphere storage of carrot slices, sticks and shreds. *Postharv. Biol. Technol.*, 9, 165-172.
- Jackman, R.L., Gibson, H.J. y Stanley, D.W. (1992). Effects of chilling on tomato fruit texture. *Physiol. Plant.*, 86, 600-608.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F. y Debevere, J. (2002a). Temperature dependence of shelf-life as affected by microbial proliferation and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh produce. *Postharvest Biol. Technol.*, 26, 59-73.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F. y Debevere, J. (2002b). Predictive modelling for packaging design: equilibrium modified atmosphere packages of fresh-cut vegetables subjected to a simulated distribution chain. *Postharvest Biol. Technol.*, 73, 331-341.

- Jacxsens, L., Devlieghere, F., De Rudder, T. y Debevere, J. (1999). Designing equilibrium modified atmosphere packages for fresh-cut vegetables subjected to changes in temperature. *Lebensm. Wiss Technol.*, 33, 178-187.
- Jabs, T. (1999). Reactive oxygen intermediates as mediators of programmed cell death in plants and animals. *Biochem. Pharmacol.*, 57, 231-245.
- Jeffrey, C. (1980). A review of the cucurbitaceae. *Bot. J. Linn. Soc.*, 81, 233-247.
- Jin, L., Xiaoyu, W., Honglin, Y., Zonggan, Y., Jiaxun, W. y Yaguang, L. (1989). Influence of discharge products on post-harvest physiology of fruit. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Symp. High Voltage Eng.*, 28 August-1 September. New Orleans, LA, 4.
- Joyce, D.C., Shorter, A. y Hockings, P.D. (2001). Mango fruit calcium levels and the effect of postharvest calcium infiltration at different maturities. *Sci. Hortic.*, 91, 81-99.
- Kabir, H. (1994). 'Fresh-cut Vegetables'. En *Modified Atmosphere Food Packaging* (Brody, A.L., ed.). Institute of Packaging Professionals, Herndon, VA, USA, 155-160.
- Kader, A.A. (1980). Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmosphere. *Food Technol.*, 34, 51-54.
- Kader, A.A. (1986). Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technol.*, 40, 99-100; 102-104.
- Kader, A.A. (1989). Mode of action of oxygen and carbon dioxide on postharvest physiology of 'Barlett' pears. *Acta Horticulturae*, 258, 161-167.
- Kader, A.A. (2002a). Modified atmospheres during transport and storage. En: *Postharvest technology of horticultural crops*. Third edition. Pub 3311. University of California, pp. 135-144.
- Kader, A.A. (2002b). Methods of gas mixing, sampling, and analysis. En: *Postharvest technology of horticultural crops*. Third edition. Pub 3311. University of California, pp. 145-148.
- Kader, A.A. y Morris, L.L. (1975). Amelioration of chilling injury symptoms on tomato fruits. *HortScience*, 10, 324-325.
- Kader, A.A. y Watkins, C. (2000). Modified atmosphere packaging: toward 2000 and beyond. *HortTechnology*, 10, (3), 483-486.
- Kader, A.A., Zagory, D. y Kerbel, E.L. (1989). Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 28, 1-30.
- Kaess, G. y Weidemann, J.F. (1968). Ozone treatment of chilled beef. Effect of low concentrations of ozone on microbial spoilage and surface color beef. *J. Food Technol.*, 3, 325-334.

- Kaneko, K., Hayashidani, H., Ohtomo, Y., Kosuge, J., Kato, M., Takahashi, K., Shiraki, Y. y Ogawa, M. (1999). Bacterial contamination of ready-to-eat foods and fresh products in retail shops and food factories. *J. Food Prot.*, 62, 644-649.
- Kang, J.S. y Lee, D.S. (1997). Susceptibility of minimally processed green pepper and cucumber to chilling injury as observed by apparent respiration rate. *International Journal Food Sci. Technol.*, 32, 421-426.
- Kangasjarvi, J., Talvinen, J., Utriainen, M. y Karjalainen, R. (1994). Plant defense systems induced by ozone. *Plant Cell Envir.*, 17, 783-794.
- Kangasjarvi, J., Reynolds, H., Karpinska, B., Wingsle, G., Creissen, G. y Mullineaux, P. (1999). Systemic signaling and acclimation in response to excess excitation energy in *Arabidopsis*. *Science*, 284, 654-657.
- Kato-Noguchi, H. y Watada, A.E. (1997). Citric acid reduces the respiration of fresh-cut carrots. *HortScience*, 32, 136.
- Katzenelson, E., Kletter, B. Shuval, H.F. (1974). Inactivation kinetics of viruses and bacteria in water by use of ozone. *J. Am. Water Works Assoc.*, 66, 725-729. Citado por Khadre et al. (2001).
- Kawamura, K., Kaneko, M., Hirata, T. y Taguchi, K. (1986). Microbial indicators for the efficiency of disinfection processes. *Water Sci. Technol.*, 18, 175-184.
- Kays, S.J. (1991). Postharvest physiology of perishable plant products. Van Nostrand Reinhold, New York, NY. 236 p.
- Ke, D., Gorsel, H. y Kader, A.A. (1990). Physiological and quality responses of 'Barlett' pears to reduced O<sub>2</sub> and enhanced CO<sub>2</sub> levels and storage temperature. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 115, 435-439.
- Ke, D., Goldstein, L., O'Mahony, M. y Kader, A.A. (1991). Effects of short-term exposure to low O<sub>2</sub> and high CO<sub>2</sub> atmosphere on quality attributes of strawberries. *J. Food Sci.*, 56, 50-54.
- Ke, D., Yahia, E., Mateos, M. y Kader, A.A. (1994). Ethanolic fermentation of 'Barlett' pears as influenced by ripening stage and atmospheric composition. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 119, 976-982.
- Ke, D., Mateos, M., Siriphanich, J., Li, C. y Kader, A.A. (1993). Carbon dioxide action on metabolism of organic and amino acids in crisphead lettuce. *Postharvest Biol. Technol.*, 3, 235-247.
- Ke, D., Yahia, E., Hess, B., Zhou, L. y Kader, A.A. (1995). Regulation of fermentative metabolism in avocado fruit under oxygen carbon dioxide stresses. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 120, 481-490.
- Kennedy, R.A., Rumpho, M.E. y Fox, T.C. (1992). Anaerobic metabolism in plants. *Plant Physiol.*, 100, 1-6.
- Kerbel, E.L., Kader, A.A. y Romani, R.J. (1988). Effect of elevated CO<sub>2</sub> concentrations on glycolysis in intact 'Barlett' pear fruit. *Plant Physiol.*, 86, 1205-1209.

- Kern, L. (2002). Pre-cut fresh produce for the convenience market. Global Fresh Produce conference summary, 12 p. [www.cfaitc.org/About-the-Foundation/pdf/HOAOct02.pdf](http://www.cfaitc.org/About-the-Foundation/pdf/HOAOct02.pdf)
- Kester, J.J. y Fennema, O.R. (1986). Edible films and coating: A review. *Food Technol.* 40 (12), 46-57.
- Khadre, M.A., Yousef, A.E., y Kim, J.G. (2001). Microbial aspects of ozone applications in food: a review. *J. Food Sci.*, 66: 1242-1252.
- Kim, B.S. y Klieber, A. (1997). Quality maintenance of minimally processed chinese cabbage with low temperature and citric acid dip. *J. Sci. Food Agric.*, 75, 31-36.
- Kim, M.M. y Ludfor, P.M. (1983). Chilling injury and electrolyte leakage in fruit of different tomato cultivars. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 108, 74-77.
- Kim, C.K., Gentile, D.M. y Sproul, O.J. (1980). Mechanism of ozone inactivation of bacteriophage  $\phi$ 2. *Appl. Environ. Microbiol.*, 39, 210-218.
- Kim, C.K., Kim, C.H., Mheen, T.I. (1984). Destructive action of ozone on the capsid and deoxyribonucleic acid of bacteriophage T4. *Sanop Misaengmul Hakhoechi*, 12, 105-109. Citado por Khraide et al., (2001).
- Kim, D.M., Smith, N.L. y Lee, C.Y. (1993a). Apple cultivar variations in response to heat treatment and minimal processing. *J. Food Sci.*, 58, (5), 1111-1114, 1124-1125.
- Kim, D.M., Smith, N.L. y Lee, C.Y. (1993b). Quality of minimally processed apple slices from selected cultivars. *Journal of Food Science*, 58, (5), 1115-1117.
- Kim, D.M., Smith, N.L. y Lee, C.Y. (1994). Effect of heat treatment on firmness of apples and apple slices. *J. Food Process. Preserv.*, 18, 1-8.
- Kim, J., Solomos, T. y Gross, K.C. (1999). Changes in cell wall galactosyl and soluble content in tomato fruit stored in low oxygen atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.* 17, 33-38.
- Kim, J.G., Yousef, A.E. y Chism, G.W. (1999a). Use of ozone to inactivate microorganism on lettuce. *J. Food Saf.*, 19, 17-34.
- Kim, J.G., Yousef, A.E. y Dave, S. (1999b). Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of food: a review. *J. Food Protect.*, 6: 1071-1087.
- Kim, J.G. y Yousef, A.E. (2000). Inactivation kinetics of foodborne spoilage and pathogenic bacteria by ozone. *J. Food Sci.*, 65, 521-528.
- King, A.D. y Bolin, H.R. (1989). Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetables. Overview outstanding symposia in food science & technology. *Food Technol.* 132-135.
- King, A.D.Jr, Magnuson, J.A., Torok, T. y Goodman, N. (1991). Microflora and storage quality of partially processed lettuce. *J. Food Sci.*, 56, 459-461.

- King, M.M. y Ludford, P.M. (1983). Chilling injury and electrolyte leakage in fruit of different tomato cultivars. *J. Amer. Hort. Sci.*, 108, 74-77.
- Kinman, R.N. (1975). Water and wastewater disinfection with ozone: A critical review. *Crit. Rev. Environ. Contr.*, 5, 141-152.
- Kirkbride, J.H.Jr. (1993). Biosystematic monograph of the genus *Cucumis* (Cucurbitaceae). Parkway Publishers, Boone, North Carolina (EEUU), 159 p.
- Klein, B.P. (1987). Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetables. *J. Food Qual.*, 10, 179-183.
- Klein, J.D., Lurie, S. (1994). Time, temperature and calcium interact in scald reduction and firmness retention in heated apples. *Hortscience*, 29, 194-195.
- Klieber, A., Ratanachinakorn, B. y Simons, D.H. (1996). Effects of low oxygen and high carbon dioxide on tomato cultivar 'Bermuda' fruit physiology and composition. *Scientia Horticulturae*, 65, 251-261.
- Knee, M. (1978). Properties of polygalacturonate and cell cohesion in apple fruit cortical tissue. *Phytochemistry*, 17: 1257-1260.
- Knee, M. y Bartley, I.M. (1981). Composition and metabolism of cell wall polysaccharides in ripening fruits. In: J. Friend and M.J.C. Rhodes (Eds.), *Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables*. Academic Press, London and New York, pp. 133-148.
- Kolodyaznaya, V.S. y Suponina, T.A. (1975). Storage of foods using ozone. *Kholodil'naya Teknika*, 6, 39-41. Citado por Rice et al. (1982).
- Komanapalli, I.R., Lau, B.H.S. (1996). Ozone-induced damage of *Escheria coli* K-12. *Appl. Environ. Biotechnol.*, 46, 610-614.
- Krade, M.A. y Yousef, A.E. (2001). Sporicidal action of ozone and hydrogen peroxide: a comparative study. *Int. J. Food Microbiol.*, 71, 131-138.
- Krade, M.A., Yousef, A.E. y Kim, J.G. (2001). Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. *J. Food Sci.*, 66, 9, 1242-1252.
- Krause, S. (1992). Next big frontier is ready for fresh cut produce. *The Packer* 19, Sep. 1992. P.68.
- Ku, H., Murata, T. y Ogata, K. (1965). Studies on post-harvest ripening and storage of banana fruits. Part II. Physiological changes of banana fruits during course of ripening. *J. Japanese Soc. Food Sci. Technol.* 12, 163-168.
- Kuprianoff, J. (1953). The use of ozone in cold storage of fruit. *Z. Kaltetechnik*, 10. Citado por Rice et al. (1982).

- Kute, K.M., Zhou, C. y Barth, M.M. (1995). Effect of ozone exposure on total ascorbic acid activity and soluble solids content in strawberry tissue. Institute of Food Technologist Annual Meeting, libro de resúmenes, p. 82.
- Labavitch, J.M. (1981). Cell wall turnover in plant development. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 32, 398-404.
- Lamb, C. y Dixon, R.A. (1997). The oxidative burst in plant disease resistance. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 48, 251-275.
- Lamikanra, O. y Richard, O.A. (2002). Effect of storage on some volatile aroma compounds in fresh-cut cantaloupe melon. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 4043-4047.
- Lamikanra, O. y Watson, M.A. (2001). Effects of ascorbic acid on peroxidase and polyphenoloxidase activities in fresh-cut cantaloupe melon. *J. Food Sci.*, 66, 9, 1283-1286.
- Lamikanra, O, Chen, J.C., Banks, D. y Hunter, P.A. (2000). Biochemical and microbial changes during the storage of minimally processed cantaloupe. *J. Agric. Food Chem.*, 48 (12), 5955-5961.
- Langebartels, C., Kerner, K., Leonardi, S., Schraudner, M., Trost, M., Heller, W. y Sandermann, H. Jr. (1991). Biochemical plant responses to ozone I. Differential induction of polyamine and ethylene biosynthesis in tobacco. *Plant Physiol.*, 95, 882-889.
- Langlais, B., Reckhow, D.A., y Brink, D.R. (1991). Practical application of ozone: Principle and case study. En: *Ozone in water treatment*. Lewis Publishers. Chelsea. Mich.
- Larsen, M. y Watkins, C. (1995). Firmness and concentrations of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmosphere. *Postharvest Biol. Technol.*, 5, 39-50.
- Laties, G.G. (1978). The development and control of respiratory pathways in slices of plant storage organs. En: *Biochemistry of wounded tissues*, ed. G. Kahl, p. 421. Walter de Gruyter y Co., Berlín. 42-51.
- LeBlanc, D.I., Stark, R., MacNeil, B., Goguen, B. y Beaulieu, C. (1996). Perishable food temperatures in retail stores. En: *New Developments in refrigeration for food safety and quality*, Refrigeration Science and Technology. Paris. International Institute of Refrigeration, 16 p.
- Lee, J.Y. y Deniniger, R.A. (2000). Survival of bacteria after ozonation. *Ozone Sci. Eng.*, 22, 65-75.
- Lee, L., Arul, J., Lencki, R. y Castaigne, F. (1995). A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruit and vegetables. Physiological basis and practical aspects. *Packaging Technol. Sci.*, 9, 1-17.
- Lee, S.K. y Young, R.E. (1984). Temperature sensitivity of avocado fruit in relation to C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> treatment. *J. Amer. Hort. Sci.*, 109, 689-692.
- Leiguarda, R.H., Peso, O.A. y Palazzolo, A.Z. (1949). Bactericidal action of ozone. *Water Pollut.*, resumen, 22, 268.

- Lester, G. (1988). Comparisons of Honeydew and netted muskmelon fruit tissues in relation to storage life. *HortScience*, 23, 180-182.
- Lester, G. (1996). Calcium alters senescence rate of postharvest muskmelon fruit discs. *Postharvest Biol. Technol.*, 7, 91-96.
- Lester, G.E. y Dunlap, J.R. (1985). Physiological changes during development and ripening of 'Perlita' muskmelon fruits. *Scientia Hort.*, 26, 323-331.
- Lester, G.E. y Grusak, M.A. (1999). Postharvest application of calcium and magnesium to honeydew and netted muskmelon: effects on tissue ion concentrations, quality, and senescence. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 124(5), 545-552.
- Lester, G.E. y Whitaker, B.D. (1996). Gamma-ray-induced changes in hypodermal mesocarp tissue plasma membrane of pre and poststorage muskmelon. *Physiol. Plant.*, 98, 265-270.
- Lester, G., Baizabal-Aguirre, V.M., Gonzalez de la Vara, L.E. y Michalke, W. (1998). Calcium-stimulated protein kinase activity of the hypodermal-mesocarp plasma membrane from preharvest-mature and postharvest muskmelon. *J. Agric. Food Chem.*, 46, 1242-1246.
- Lewis, L., Zhuang, H., Payne, F.A. y Barth, M.M. (1996). Betacarotene content and color assessment in ozone-treated broccoli florets during modified atmosphere packaging. Institute of Food Technologists Annual Meeting, libro de resúmenes, 99.
- L'Herault, P. y Chung, Y.S. (1984). Mutagenicity of ozone in different repair-deficient strains of *Escherichia coli*. *Mol. Gen. Genet.*, 197, 472-477.
- Li, C. y Kader, A.A. (1989). Residual effects of controlled atmospheres on postharvest physiology and quality of strawberries. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 114, 629-634.
- Liao, C.H. y Wells, J.M. (1987). Diversity of pectolytic, fluorescent pseudomonads causing soft rot of fresh vegetables at produce markets. *Phytopathology*, 77, 673-677.
- Liew, C.L. y Prange, R.K. (1994). Effect of ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Caucus carota* L.). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 119, 563-567.
- Liebermann, M. y Wang, S.Y. (1982). Influence of calcium y magnesium on ethylene production by apple tissue slices. *Plant Physiol.*, 69, 1150-1155.
- Lidster, P.D., Tung, M.A., Garland, M.R. y Porritt, S.W. (1979). Texture modification of processed apple slices by a postharvest heat treatment. *J. Food Sci.*, 44, 998-1000, 1007.
- Lingle, S.E. y Dunlap, J.R. (1987). Sucrose metabolism in netted muskmelon fruit during development. *Plant Physiol.*, 84, 386-389.

- Lipton, W.J. (1978). Chilling injury of 'Honey Dew' muskmelon, symptoms and relation to degree of ripeness at harvest. *HortScience*, 13, 45-46.
- Lipton, W.J. y Mackey, B.E. (1984). Ethylene and low temperature treatments of honeydew melons to facilitate long distance shipments. USDA Agricultural Research Service, ARS-10.
- Loiza-Velarde, J.G., Tomás-Barberán, F.A. y Saltveit, M.E. (1997). Effect of intensity and duration of heat-shock treatments on wound-induced phenolic metabolism in Iceberg lettuce. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 122, 873-877.
- López, A. (1987). A complete course in canning, 12<sup>th</sup> edit., Vol. III. Baltimore: The canning Trade.
- López-Gálvez, G., Salveit, M. y Cantwell, M. (1996). Wound-induced phenylalanine ammonia lyase activity: affecting its induction and correlation with the quality minimally processed lettuces. *Postharvest Biol. Technol.* 9, 223-233.
- López-Gálvez, G., El-Bassuoni, R., Nie, X. y Cantwell, M. (1997). Quality of red and green fresh-cut peppers stored in controlled atmosphere. In: J.R. Gorny (Ed.), *Proceeding of the 7<sup>th</sup> international controlled atmosphere research conference*, Davias, CA, USA. Vol. 5, 152-157.
- Luna-Guzmán, I., Cantwell, M. y Barrett, D.M. (1999). Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl<sub>2</sub> dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biol. Technol.* 17, 201-203.
- Luna-Guzmán, I. y Barret, D.M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biol. Technol.*, 19, 61-72.
- Lurie, S., Sonogo, L. y Ben Arie, R. (1987). Permeability, microviscosity and chemical changes in the plasma membrane during storage of apple fruit. *Sci. Hortic.*, 32, 73-83.
- Luwe, M.W.F, Takahama, U., Heber, U. (1993). Role of ascorbate in detoxifying ozone in the apoplast of spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves. *Plant Physiol.*, 101, 969-976.
- Lyons, J.M. (1973). Chilling injury in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 24, 445-466.
- Lyons, J.M., McGlasson, W.B. y Pratt, H.K. (1962). Ethylene production, respiration, and internal gas concentrations in cantaloupe fruits at various stages of maturity. *Plant Physiol.*, 37, 31-36.
- MacLeod, R.F., Kader, A.A. y Morris, L.L. (1976). Stimulation of ethylene and carbon dioxide production of mature-green tomatoes by impact bruising. *HortScience*, 11, 604-606.
- Madrid, M. (1993). Postharvest physiology and quality of intact or lightly processed melon fruit stored in air or controlled atmosphere. M.S. Thesis, University of California, Davis, CA. 96 p.
- Madrid, M. y Cantwell, M. (1993). Use of high CO<sub>2</sub> atmosphere to maintain quality of intact and fresh-cut melon. En: *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Controlled Atmosphere Research Conf.*, Ithaca, NY, 736-745.
- Maguirre, Y.P. y Solverg, M. (1980). Influence of atmospheric oxygen and ozone on ripening indices of normal (Rin) and ripening inhibited (rin) tomato cultivars. *J. Food Biochem.*, 4, 99-110.

- Main, G.L., Morris, J.R. y Wehunt, E.J. (1986). Effect of preprocessing treatments on the firmness and quality characteristics of whole and sliced strawberries after freezing and thermal processing. *J. Food Sci.* 51, 391-394.
- Mammapperuma, J.D. y Singh, R.P. (1990). Modeling of gas exchange in polymeric packages of fresh fruits and vegetables. IFT Annual Meeting, Anaheim, CA. Abstract 646 (p.227).
- Mammapperuma, J.D., Zagory, D., Singh, R.P. y Kader, A.A.(1989). Design of polymeric packages for modified atmosphere storage of fresh produce. Intern. Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, USA, 225-233.
- M.A.P.A. (2001). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Estadísticas agrarias. [www.maypa.es](http://www.maypa.es)
- Markhart, A. (1986). Chilling injury: A review of possible causes. *HortScience*, 21, 1329-1333.
- Maroto, J.V. (1995). Hortalizas aprovechables por sus frutos. En: *Horticultura herbácea especial*. J.V. Maroto. Ed.: Mundi-Prensa. Cap. 6, 355-548.
- Marrero, A. y Kader, A.A. (2001). Factors affecting the post-cutting life and quality of minimally processed pineapple. Proc. 4<sup>th</sup> Conf. On Postharvest. Eds. Ben-Aire, R. y Philosoph-Hadas, S. Vol., II. *Acta Hort.*, 553, ISHS, 705-706.
- Mateos, M., Ke, D., Cantwell, M. y Kader, A.A. (1993). Phenolic metabolism and ethanolic fermentation of intact and cut lettuce exposed to CO<sub>2</sub>-enriched atmosphere. *Postharvest Biol. Technol.*, 3, 225-233.
- Mathooko, F.M. (1996). Regulation of respiratory metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide. *Postharvest Biol. Technol.*, 9, 247-264.
- Mathooko, F.M., Kubo, Y., Inaba, A. y Nakamura, R. (1995). Induction of ethylene biosynthesis and polyamine accumulation in cucumber fruit in response to carbon dioxide stress. *Postharvest Biol. Technol.*, 5, 51-65.
- Matsunaga, T., Takahashi, H., Otani, T., Akisawa, S. y Ono, A. (1995). Method for sterilising food. Japanese Patent Application 6-327448.
- Mattoo, A.K. y Anderson, J.D. (1984). Wound-induced increase in 1-aminocyclopropane-1-carboxylic synthase activity: Regulatory aspects and membrane association of the enzyme. En "Ethylene: Biochemical, Physiological and Applied Aspects", ed. Y. Fuchs y E.Chalutz, p.139. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague.
- Mayer, A.M. (1987). Polyphenol oxidases in plants. Recent progress. *Phytochemistry*, 26, 11-20.
- Mayer, A.M. y Harel, E. (1979). Polyphenol oxidase in plants. *Phytochemistry*, 18, 193-215.
- Mazliak, P. (1983). Plant membrane lipids: Changes and alterations during aging and senescence. En: "Postharvest Physiology and Crop Preservation". Ed. M.Lieberman, p.123. Plenum Press, New York.

- Mehlhorn, H., O'Shea, J.M. y Wellburn, A.R. (1991). Atmospheric ozone interacts with stress ethylene formation by plants to cause visible plant injury. *Plant Cell Envir.*, 13, 971-976.
- McCollum, T.G., Huber, D.J. y Cantliffe, D.J. (1988). Soluble sugar accumulation and activity of related enzymes during muskmelon fruit development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 113, 399-403.
- McGlasson, W.B. y Pratt, H.K. (1963). Fruit-set patterns and fruit growth in cantaloupe. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 83, 495-505.
- McGlasson, W.B. y Pratt, H.K. (1964). Effects of wounding on respiration and ethylene production by cantaloupe fruit tissue. *Plant Physiol.* 39, 128-139.
- McGuire, R. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27,(12), 1254-1255.
- McKenzie, C.B. (1994). Preliminary results of calcium and potassium uptake from foliar spray. *Sensation mango. South American Mango Growers Association Yearbook. Vol., 14, pp.24-25.*
- McKenzie, K.S., Sarr, A.B., Mayura, K., Bailey, R.H., Miller, D.R., Rogers, T.D., Norred, W.P., Voss, K.A., Plattner, R.D., Kubena, L.F. y Phillips, T.D. (1997). Oxidative degradation and detoxification of mycotoxins using a novel source of ozone. *Food Chem. Toxicol.*, 35, 807-820.
- McLeod, R.F., Kader, A.A. y Morris, L.L. (1976). Stimulation of ethylene and carbon dioxide production of mature-green tomatoes by impact bruising. *HortScience*, 11, 604-606.
- Meigh, D.F., Norris, K.H., Craft, C.C. y Lieberman, M. (1960). Ethylene production by tomato and apple fruits. *Nature* 186 (2): 902-903.
- Meir, S., Naiman, D., Akerman, M., Hyman, J.Y., Zauberman, G. y Fuchs, Y. (1997). Prolonged storage of 'Hass' avocado fruit using modified atmosphere packaging. *Postharvest Biol. Technol.*, 12, 51-60.
- Melgarejo, P., Salazar, D.M. y Artés, F. (2000). Organic acids and sugar composition of harvested pomegranate fruits. *Eur. Food Res. Technol.* 211:185-190.
- Mencarelli, F. y Saltveit, M.E. Jr. (1988). Ripening of mature-green tomato fruit slices. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 113 (5), 742-745.
- Mencarelli, F., Saltveit, M.E. Jr. y Massantini, R. (1989). Lightly processed foods: Ripening of tomato fruit slices. *Acta Hort.* 244, 193-200.
- Mendlinger, S. (1994). Effect of increasing plant density and salinity on yield and fruit quality in muskmelon. *Scientia Horticulturae*, 57, 41-49.
- Miccolis, V. y Saltveit M.E. Jr. (1991). Morphological and physiological changes during fruit growth and maturation of seven melon cultivars. *J. Am Soc. Hort. Sci.*, 116, 1025-1029.

- Mignani, I., Greve, L.C., Ben-Arie, R., Stotz, H.U., Li, C., Shackel, K. y Labavitch, J. (1995). The effects of GA<sub>3</sub> and divalent cations on aspects of pectin metabolism and tissue softening in ripening tomato pericarp. *Physiol. Plantarum*, 93, 108-115.
- Miklus, M.B. y Beelman, R.B. (1996). CaCl<sub>2</sub> treated irrigation water applied to mushroom crop increases Ca concentration and improves postharvest quality and shelf life. *Mycologia* 88: 403-409.
- Minolta Corp. (1994). *Precise Color Communication*. Minolta Corporation Instrument Systems Division. Ramsey. NJ., 45-49.
- Mir, N.A., Bhat, J.N. y Bhat, A.R. (1993). Effect of calcium infiltration on storage behavior of Red Delicious apples. *Indian J. Plant Physiol.*, 36, 65-66.
- MOCA Ozone. Annexe 3. Table des valeurs de saturation en O<sub>3</sub> dissous.
- Moleyar, V. y Narasimham, P. (1994). Modified atmosphere packaging of vegetables: an appraisal. *J. Food Sci. Technol.*, 31, (4), 267-278.
- Monsalve-González, A., Barbosa-Cánovas, G.V. y Cavalieri, R.P. (1993). Mass transfer and textural changes during processing of apples by combined methods. *J. Food Sci.*, 58, 1118-1124.
- Mootoo, A. (1991). Effect of postharvest calcium chloride dips on ripening changes in "Julie" mangoes. *Trop. Sci.*, 31, 243-248.
- Morrell, J., Serra, J.A., Andueza, E. y Moreno, E. (1993). Tratamiento con ozono en conservas de champiñón como alternativa al uso sulfuroso. *Alimentación, equipos y tecnología*, 5, 62- 68.
- Morris, E.R. (1980). Physical probes of polysaccharide conformations and interactions. *Food Chem.*, 6, 15-39.
- Morris, L.L. (1982). Chilling injury of horticultural crops: an overview. *HortScience*, 17, 161-162.
- Morris, J.R., Sistrunk, W.A., Sims, C.A., Main, G.L. y Wehunt, E.J. (1985). Effects of cultivar, postharvest storage, preprocessing dip treatments and style of pack on the processing quality of strawberries. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 110, 172-177.
- Multon, J.L. (2000). *Aditivos y Auxiliares de Fabricación en las Industrias Agroalimentarias*. 2ª ed. Acribia, Zaragoza. 286 p.
- Mura, C. y Chung, Y.S. (1990). In vitro transcription assay of ozonated T7 phage DNA. *Environ. Mol. Mutagen.*, 16, 44-47.
- Murray, R.G., Pumela, S. y Elson, H.E. (1965). The location of the mucopeptide of sections of the cell wall of *Escherichia coli* and other gram negative bacteria. *Can., J. Microbiol*, 11, 3, 547-560.
- Mutton, L.L. Cullis, B.R. y Blakeney, A.B. (1981). The objective definition of eating quality in rock melons (*Cucumis melo*). *J. Sci. Food Agric.*, 32, 385-391.

- Myers, R.A. (1989). Packaging considerations for minimally processed fruits and vegetables. *Food Technol.*, 129-131.
- Namesny, A. (1999). Melón. Tomate. Post-recolección de Hortalizas. Ediciones de Horticultura. Cap. 10 y 15, 147-180; 241-283.
- National Food Authority (1996). Amendment N° 29 to the Food Standards Code: Commonwealth of Australia Gazette. N° P6, 4 April 1996. Australian Government Publishing Service, Canberra.
- National Research Council (1989). Diet and health: Implications for reducing chronic disease risk. National Academy Press, Washington, D.C.
- Naudin, C. (1985). Essai d'une monographie des espèces et des variétés du genre Cucumis. *Ann. Sci. Nat. Ser. Bot.*, 11, 5-87.
- Nelson, L.D. y Cox, M.M (2001). Glucólisis y catabolismo de las hexosas. En: *Lehninger Principios de bioquímica*, ed. Omega, 527-566.
- Nickols, D. y Varas, A.J. (1992). Ozonation. En: *Disinfection alternatives for safe drinking water*. Bryant, E.A., Fulton, G.P., Budd, G.C. Van Nostrand Reinhold, New York. 197-258.
- Nguyen-the, C. y Carlin, F. (1994). The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 34, 371-401.
- Nogata, Y., Ohta, H. y Voragen, A.G.J. (1993). Polygalacturonase in strawberry fruit. *Phytochemistry*, 34, 617-620.
- Norris, R.F. y Bukovac, M.J. (1968). Structure of the pear leaf cuticle with special reference to cuticular penetration. *Amer. J. Bot.*, 55, 975-983.
- Norton, J.S., Charing, A.J. y Demoranville, I.E. (1968). The effect of oxone on storage of canberries. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 93, 792-796.
- O'Beirne, D., Van Buren, J.P. y Mattick, L.R. (1981). Two distinct pectin fractions from senescence apples extracted using nondegradative methods. *J. Food Sci.*, 47, 173-176.
- O'Connor-Shaw, R.E., Roberts, R. Ford, A.L. y Nottingham, S.M. (1994). Shelf-life of minimally processed Honeydew, Kiwifruit, Papaya, Pineapple and Cantaloupe. *J. Food Sci.*, 59, 6, 1202-1206.
- O'Connor-Shaw, R.E., Roberts, R. Ford, A.L. y Nottingham, S.M. (1996). Changes in sensory quality of sterile cantaloupe dice stored in controlled atmospheres. *J. Food Sci.*, 61 (4):847-851.
- Odet, J. (1985). La plante. En: *Le melon*. Editado por CTIFL, 59-101.
- Odet, J. y Dumoulin, J. (1993). Un accident physiologique complexe: la vitescence du melon. *Info-CTIFL*, 89, 31-34.

- Ogawa, J.M., Feliciano, A.J., y Manji, B.T. (1990). Evaluation of ozone as a disinfectant in postharvest dump tank treatments for tomato. *Phytopathology*, 80, 1020-1026.
- Olsen, R.W., Barron, R.W., Huggart, R.L. y Wenzel, F.W. (1966). Effect of calcium salts on the firmness of canned grapefruit sections. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 79, 326.
- Olson, D.C., White, J.A., Edelman, L., Harkins, R.N. y Kende, H. (1991). Differential expression of two genes for 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase in tomato fruits. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 88, 5340-5344.
- Omarkhayyam, R. (1986). Free radicals and senescence. En: "Processes and Control of Plant Senescence", ed. Y.Y. Leshem, A.H. Havelly y C. Frenkel, p.100. Elsevier Press, New York.
- Orozco-Cardenas, M. y Ryan, C.A. (1999). Hydrogen peroxide is generated systematically in plant leaves by wounding and systemin via the octadecanoid pathway. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 96, 6533-6557.
- Page, T., Harris, R.H. y Epstein, S.S. (1976). Drinking water and cancer mortality in Louisiana. *Science*, 193, 55-57.
- Pal, R.K. y Buescher, R.W. (1993). Respiration and ethylene evolution of certain fruits and vegetables in response to carbon dioxide in controlled atmosphere storage. *J. Food Sci. Technol.*, 30, 29-32.
- Paliyath, G. y Droillard, M.J. (1992). The mechanisms of membrane deterioration and disassembly during senescence. *Plant Physiol. Biochem.*, 30, 789-812.
- Paliyath, G. y Poovaiah, B.W. (1984). Calmodulin inhibitor in senescing apples and its pharmacological significance. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 81, 2065-2068.
- Paliyath, G. y Poovaiah, B.W. (1985). Identification of naturally occurring calmodulin inhibitors in plants and their effects on calcium and calmodulin promoted phosphorylation. *Plant Cell Physiol.*, 26, 201-204.
- Palou, L., Crisosto, C.H., Smilanick, J.L., Adaskaveg, J.E. y Zoffoli, J.P. (2002). Effects of continuous 0,3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and tables grapes in cold storage. *Postharvest Biol. Technol.*, 24, 39-48.
- Parish, M.E., Beuchat, L.R., Suslow, T.W., Harris, L.J., Garret, E.H., Farber, J.N. y Busta, F.F. (2003). Methods to reduce eliminate pathogens from fresh and fresh-cut produce. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*. 161-173.
- Paull, R.E. y Chen, W. (1997). Minimal processing of papaya (*Carica papaya* L.) and the physiology of halved fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, 12, 93-99.
- Paull, R.E, Robert, E. y Ching-Cheng, C. (2003). Postharvest Physiology, Handling and Storage of Pineapple. In: *The pineapple: Botany, Protection and Uses*. D.P. Bartholomew, R.E. Paull and K.G. Rohrbach (eds.). CAB International. Chapter 10, 253-280.

- Pérez, A.G., Sanz, C., Ríos, J.J., Olías, R. y Olías, J.M. (1999). Effects of ozone treatment on postharvest strawberry quality. *J. Agric. Food Chem.*, 47, 1652-1656.
- Pérez, S., Cháfer, M. y Ortolá, M.D. (2002). Elaboración y factores de calidad en ensaladas procesadas en fresco. *Alimentaria*, 11, 77-85.
- Pesis, E., Ampunpong, C., Shushiri, B. y Hewett, E.W. (1994). Enhancement of ethylene and CO<sub>2</sub> production in apple fruit following short-term exposure to high CO<sub>2</sub>. *Postharvest Biol. Technol.*, 4, 309-317.
- Pesis, E., Aharoni, D., Aharon, Z., Ben-Aire, R., Aharoni, N. y Fuchs, Y. (2000). Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, 19, 93-101.
- Pesis, E., Dvir, O., Feygenberg, O., Ben Aire, R., Ackerman, M. y Lichter, A. (2002). Production of acetaldehyde and ethanol during maturation and modified atmosphere storage of litchi fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, 26, 157-165.
- Piagentini, A.M., Güemes, D.R. y Pirovani, M.E. (2002). Sensory characteristics of fresh-cut spinach preserved by combined factors methodology. *J. Food Sci.*, 67, 1544-1549.
- Picchioni, G.A., Watada, A.E., Whitaker, B.D. y Reyes, A. (1996). Calcium delays senescence related membrane lipid changes and increases net synthesis of membrane lipid components in shredded carrots. *Postharvest Biol. Technol.*, 9, 235-245.
- Picchioni, G.A., Watada, A.E., Whitaker, B.D. y Wergin, W.P. (1994). Membrane lipid metabolism, cell permeability, and ultrastructural changes in lightly processed carrot. *J. Food Sci.*, 69, 597-605.
- Picchioni, G.A., Watada, A.E., Conway, W.S., Whitaker, B.D. y Sams, C.E. (1998). Postharvest calcium infiltration delays membrane lipid catabolism in apple fruit. *J. Agric. Food Chem.*, 46, 2452-2457.
- Pirovani, M. Güemes, R., Piagentini, A. y Pentima, J. (1997). Storage quality of minimally processed cabbage in plastic films. *J. Food Qual.*, 20 (5), 381-389.
- Pittia, P., Nicoli, M.C., Comi, G. y Massini, R. (1999). Shelf-life extension of fresh-like ready-to-use pear cubes. *J. Sci. Food Agric.*, 79, 955-960.
- Philips, C. (1996). Review: Modified atmosphere packaging and its effects on the microbial quality and safety of produce. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 31, 463-479.
- Polya, G.M. y Chandra, S. (1990). Ca<sup>2+</sup> dependent protein phosphorylation in plants: regulation, protein substrate specificity and product phosphorylation. *Curr. Top. Plant Biochem. Physiol.*, 9, 164-180.
- Ponting, J.D., Jackson, R. y Watters, G. (1972). Refrigerated apple slices: preservative effects of ascorbic acid, calcium and sulfites. *J. Food Sci.*, 37, 434-436.

- Poovaiah, B.W. (1979). Post-harvest calcium infiltration system for apple fruits. *HortScience*, 14(3): 465-467. (supl.).
- Poovaiah, B.W. (1986). Role of calcium in prolonging the storage life of fruits and vegetables. *Food Technol.*, 40, 86-89.
- Poovaiah, B.W. y Leopold, A.C. (1973). Deferral of leaf senescence with calcium. *Plant Physiol.*, 52, 236-239.
- Poovaiah, B.W., Glenn, G.M. y Reddy, A.S.N. (1988). Calcium and fruit softening: Physiology and biochemistry. *Horticultural Reviews*, 10, 107-152.
- Poovaiah, B.W., Shekhar, V.C., y Patterson, M.E. (1978). Postharvest calcium and other solute infiltration into apple fruits by pressure and vacuum methods. *HortScience*, 13(3), 357-358. (Supl.).
- Porreta, S., Poli, G. y Palmieri, L. (1995). Optimization of the addition of calcium chloride to canned diced tomatoes. *Sciences des Aliments*, 15, 99-112.
- Portela, S.I. y Cantwell, M.I. 1998. Quality changes of minimally processed honeydew melons stored in air or controlled atmosphere. *Postharvest Biol. Technol.*, 14: 315-357.
- Portela, S.I. y Cantwell, M.I. (2001). Cutting blade sharpness affects appearance and others quality attributes of fresh-cut cantaloupe melon. *J. Food Sci.* 66, 1265-1270.
- Portela, S., Nie, X., Suslow, T. y Cantwell, M. (1997). Changes in sensory quality and fermentative volatile concentrations of minimally processed cantaloupe stored in controlled atmosphere. En: Gorny, J.R. editor. *Proc 7<sup>th</sup> Int. Controlled Atmosphere Research Conf.* July, 13-18. Davis, Calif. Postharvest Outreach Program, Univ of California, Davis, Calif. Postharvest Hort. Series N° 19, vol. 5, 123-129.
- Prasad, T.K (1996). Mechanisms of chilling-induced oxidative stress injury and tolerance in developing maize seedlings: changes in antioxidant system, oxidation of proteins and lipids and protease activities. *Plant J.*, 10, 1017-1026.
- Preston, R.D. (1979). Polysaccharide formation and cell wall function. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 30, 55-78.
- Produce Marketing Association. Fresh-cut Produce Industry, 2002. <http://www.pma.com>
- Pror, A. (1998). Ozone toxicology and guidelines for safe use in food processing ozonation systems. EPRI Ozone workshop, Memphis, May. Citado por Xu (1999).
- Purseglove, J.W. (1968). Cucurbitaceae-Cucumis melo L. En: *Tropical Crops: Dicotyledons 1*. Publicado por Longman Green & Co. Ltd., Bristol (UK), 110-113.
- Qi, L., Wu, T. y Watada, A.E. (1999). Quality changes of fresh-cut honeydew melons during controlled atmosphere storage. *J. Food Qual.*, 22, 513-521.

- Qui, Y., Nishina, M.S. y Paull, R.E. (1995). Papaya fruit growth, calcium uptake, and fruit ripening. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 120, 246-253.
- Ranieri, A., D'Urso, G., Nalli, C., Lorenzini, G. y Soldatini, G.F. (1996). Ozone stimulates apoplastic antioxidant systems in pumpkin leaves. *Physiol. Plant.*, 97, 381-387.
- Ranwala, A.P., Suematsu, C. y Masuda, H. (1992). The role of b-galactosidases in the modification of cell wall components during muskmelon fruit ripening. *Plant Physiol.*, 100, 1318-1325.
- Rao, M.V. y Davis, K.R. (1999). Ozone-induced cell death occurs via two distinct mechanisms. The role of salicylic acid. *Plant J.*, 16, 603-614.
- Rao, M.V., Koch, J.R. y Davis, K.R. (2000). Ozone: a tool for probind programmed cell death in plants. *Plant Molecular Biol.*, 44, 345-358.
- Rao, M.V., Paliyath, G. y Ormrod, D.P. (1996). Ultraviolet-B and ozone-induced biochemical changes in antioxidant enzymes of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol.*, 110, 125-136.
- Ratanachinakorn, B., Klieber, A. y Simons, D.H. (1997). Effect of short-term controlled atmospheres and maturity on ripening and eating quality of tomatoes. *Postharvest Biol. Technol.*, 11, 149-154.
- Rattanapanone, N., Lee, Y., Wu, T. y Watada, A.E. (2001). Quality and microbial changes of fresh-cut mango cubes held in controlled atmosphere. *HortSci.*, 36, 6, 1091-1095.
- Razumovski, S.D. y Zaikov, G.E. (1984). *Ozone and its reactions with organic compounds*. Elsevier, NY.
- Reid, M.S. y Serek, M. (1999). Modified atmosphere packaging. En: *Guide to food transport controlled atmosphere*. Mercantila Publishers. Copenhagen, Dinamarca, pp. 33-38.
- Rego, P., Vendrell, M.C., García, F.J., Gallardo, C.S., González, J.A., Gallego, A.R. y Rodríguez, L.A. (2002). Estudio de la cinética de muerte con tratamientos de ozono a microorganismos patógenos típicos de hortalizas. *Alimentaria*, 3, 125-128.
- Rensburg, E.V. y Engelbrecht, A.H.P. (1986). Effect of calcium salts on susceptibility to browning of avocado fruit. *J. Food Sci.*, 51, 1067-1070.
- Restaino, L., Frampton, E.W., Hemphill, J.B. y Palnikar, P. (1995). Efficacy of ozonated water against various food-related microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.*, 61,9,3471-3475.
- Rice, R.G., Farquhar, J.W. y Bollyky, L.J. (1982). Review of the applications of ozone for increasing storage times of perishable foods. *Ozone Sci. Eng.*, 4, 147-163.
- Richards, K.D., Schott, E.J., Sharma, Y.K., Davis, K.R. y Gardner, R.C. (1998). Aluminum induces oxidative stress genes in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol.*, 116, 409-418.

- Richardson, D.G. y Lombard, P.B. (1979). Cork spot of Anjou pear: control by calcium sprays. *Comm. Soil Sci. and Plant Anal.*, 10, 383-389.
- Risse, L.A. y Hatton, T.T. (1982). Sensitivity of watermelon to ethylene during storage. *HortSci.*, 17, 946-953.
- Rolle, R.S. y Chism, G.W. (1987). Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Quality*, 10, 157-177.
- Rosen, J.C. y Kader, A.A. (1989). Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *J. Food Sci.*, 54, 656-659.
- Rosenfeld, H.J., Meberg, K.R., Haffner, K y Sundell, H.A. (1999). MAP of highbush blueberries: sensory quality in relation to storage temperature, film type and initial high oxygen atmosphere. *Postharvest Biol. Technol.*, 16, 27-36.
- Roura, S.I., Davidovich, L.A. y del Valle, C.E. (2000). Quality loss in minimally processed Swiss chard related to amount of damaged area. *Lebensm. Wiss u Technol.*, 33, 53-59.
- Roy, D., Chian, E.S.K. y Engelbrecht, R.S. (1981). Kinetics of enteroviral inactivation by ozone. *J. Environ. Eng.*, 107, 887.
- Russell, N.J., Evans, R.I., Ter Steeg, P.F., Hellemons, J., Verheul, A. y Abee, T. (1995). Membranes as a target for stress adaptation. *Int. J. Food Microbiol.*, 28, 255-261.
- Sáenz, C., Berger, H., Galletti, L. y Coronado, F. (2001). Sensory and microbiological changes in minimally processed cactus pear (*Opuntia ficus indica* L.). *Proc. 4<sup>th</sup> Conf. Postharvest Sci.* Eds. Ben-Aire, R. y Philosoph-Hadas, S. Vol., II. *Acta Hort.*, 553, ISHS, 709-710.
- Saftner, R.A., Conway, W.S. y Sams, C.E. (1998a). Effects of postharvest calcium and fruit coating treatments on postharvest life, quality maintenance, and fruit-surface injury in 'Golden Delicious' apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 123, 294-298.
- Saftner, R.A., Conway, W.S. y Sams, C.E. (1998b). Effects of postharvest calcium chloride treatments on tissue water relations, cell wall calcium levels and postharvest life of "Golden Delicious" Apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 123, 893-897.
- Salama, M.S., Musafija-Jeknc, T., Sandine, W.E. y Giovannoni, S.J. (1995). An ecological study of lactic acid bacteria: isolation of new strains of *Lactococcus lactis* subspecies cremoris. *J. Dairy Sci.*, 78, 1004-1017.
- Saltveit, M.E. (1996). Fresh-cut product biology. En: *Fresh-cut products. Maintaining quality and safety.* Ed. Univ. of California. *Postharv. Hort. Ser.* 10.

- Salveit, M.E. (1997). Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. In: Tomás-Barberán FA and Robin RJ, editors. *Phytochemistry of fruits and vegetables*. Oxford, UK: Clarendon Press, 205-220.
- Saltveit, M.E. Jr. (1997). A summary of CA and MA requirement and recommendations for harvested vegetables. In: M.E. Saltveit (Ed.). *7<sup>th</sup> international Controlled Atmosphere Research Conference*, Davis, CA, USA, Vol. 4, 98-117.
- Saltveit, M.E. (1999). Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.*, 15, 279-292.
- Saltveit, M.E. Jr. y Cabrera, R.M. (1987). Tomato fruit temperature before chilling influences ripening after chilling. *HortScience*, 22, (3), 452-454.
- Sams, C.E. (1999). Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biol. Technol.*, 15, 249-254.
- Sams, C.E. y Conway, W.S. (1984). Effect of calcium infiltration on ethylene production, respiration rate, soluble polyuronide content and quality of "Golden Delicious" apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 109, 53-57.
- Sams, C.E., Conway, S.W., Abbott, J.A., Lewis, R.J. y Ben-Shalom, N. (1993). Firmness and decay of apples following postharvest pressure infiltration of calcium and heat treatment. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 118, 623-627.
- Sandermann, H. (1996). Ozone and plant health. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 34, 347-366.
- Sandermann, H., Ernest, D., Heller, W. y Langebartels, C. (1998). Ozone: an abiotic elicitor of plant defense reactions. *Trends Plant Sci.*, 3, 47-50.
- Saper, G.M. (1998). New technologies for safer produce: Chemical based treatments and decontamination by washing. En: *Proc. of fresh fruit and vegetables: Food safety challenges*, Chicago, Mayo, 12-14.
- Sapers, G.M. y Miller, R.L. (1998). Browning inhibition in fresh-cut pears. *J. Food Sci.*, 63, (2), 342-346.
- Sáray, T. (1994). Controlled atmosphere storage of vegetables: the possibilities. *Food Technol International Europe*, 69-73.
- Saring, P., Zahavi, T., Zutkhi, Y., Yannai, S., Lisker, N. y Ben-Arie, R. (1996). Ozone for control of post-harvest decay of table grapes caused by *Rhizopus stolonifer*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, 48, 403-415.
- Scandalios, J.G. (1997). *Oxidative stress and the molecular biology of antioxidant defenses*. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Plainview, NY.
- Schlimme, D.V. (1995). Marketing lightly processed fruits and vegetables. *HortSci.*, 30, 15-17.
- Schraudner, M., Moeder, W., Wiese, C., Van Camp, W., Inzé, D., Langebartels, C. y Sandermann, H. Jr. (1998). Ozone-induced oxidative burst in the ozone biomonitor plant, tobacco Bel W3. *Plant J.*, 16, 235-245.

- Schultz, C.R. y Bellamy, W.D. (2000). The role of mixing in ozone dissolution systems. *Ozone Sci. Eng.*, 22, 329-350.
- Scott, D.B.M. (1975). The effect of ozone on nucleic acids and their derivatives. En: Blogoslawski, W.J., Rice, R.G. (ed.). *Aquatic applications of ozone*. Syracuse, N.Y.: International Ozone Institute, 1.15. Citado por Khadre et al., (2001).
- Scott, D.B.M. y Leshner, E.C. (1963). Effect of ozone on survival and permeability of *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.*, 85, 567-576.
- Scott, K.J. y Chaplin, G.R. (1978). Reduction of chilling injury in avocados stored in sealed polyethylene bags. *Trop. Agric. (Trinidad)* 55, 87-90.
- Scott, K.J. y Wills, R.B.H. (1975). Post-harvest application of calcium as a control for storage breakdown of apples. *HortScience*, 10, 75-78.
- Scott, K.J. y Wills, R.B.H. (1979). Effects of vacuum and pressure infiltration of calcium chloride and storage temperature on the incidence of bitter pit and low temperature breakdown of apples. *Austral. J. Agr. Res.*, 30, 917-928.
- Scott, V.N. (1989). Interaction of factors to control microbial spoilage of refrigerated foods. *J. Food Prot.*, 52, 431-435.
- Scott, W.D., McCraw, B.D., Motes, J.E. y Smith, M.W. (1993). Application of calcium to soil and cultivar affect elemental concentration of watermelon leaf and rind tissue. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 118, 201-206.
- Serrano, M., Amorós, A., Martínez-Madrid, M.C., Pretel, M.T., Riquelme, F. y Romojaro, F. (1997). Modified atmosphere packaging minimizes increases in putrescine and abscisic levels caused by chilling injury in pepper fruit. *J. Agric. Food Chem.*, 45, 1668-1672.
- Serrano, M., Amorós, A., Pretel, M.T., Martínez-Madrid, M.C., Madrid, R. y Romojaro, F. (2002). Effect of calcium deficiency on melon (*Cucumis melo* L.) texture and glassiness incidence during ripening. *Food Sci. Tech. Int.*, 1, 1-8.
- Seymour, G.B. y McGlasson, W.B. (1993). Melons. En: Seymour, G., Taylor, J., Tucker, G. (Ed.), *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman and Hall. London, 273-290.
- Schaffer, A.A., Aloni, B. y Fogelman, E. (1987). Sucrose metabolism and accumulation in developing fruit of *Cucumis*. *Phytochemistry*, 26, 1883-1887.
- Sharma, Y.K. y Davis, K.R. (1994). Ozone-induced expression of stress-related genes in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol.*, 105, 1089-1096.

- Sharma, Y.K., Leon, J., Raskin, I. y Davis, K.R. (1996). Ozone-induced expression of stress-related genes in *Arabidopsis thaliana*; the role of salicylic acid in the accumulation of defense-related transcripts and induced resistance. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93, 5099-5104.
- Sharples, R.O. y Johnson, D.S. (1977). The influence of calcium on senescence changes in apples. *Ann. App. Biol.*, 85, 450-453.
- Shipway, M.R. y Bramlage, W.J. (1973). Effect of carbon dioxide on activity of apple mitochondria. *Plant Physiol.*, 51, 1095-1098.
- Shlimme, D.V. y Rooney, M.L. (1997). Envasado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas. En: *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. R.C. Wiley. Ed: Acribia. Cap. 4., 131-178.
- Shellie, K.C. y Saltveit, M.E., Jr. (1992). Respiratory climateric in attached and harvested melon fruit. *HortScience*, 27, 623 (Abstr.).
- Shewfelt, R.L. (1986). Postharvest treatment for extending the shelf life of fruit and vegetables. *Food Technol.*, 40, 70-89.
- Shewfelt, R.L. (1987). Quality of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Qual.*, 10, 143-156.
- Shewfelt, R.L. (1999). What is quality? *Postarvest Biol. Technol.*, 15, 197-200.
- Shimizu, Y., Makinott, J., Sato, J. y Iwamoto, S. (1982). Preventing rot of Kyoho grapes in cold storage with ozone. *Res. Bull. Aichi Agric. Res. Cent.* 14, 225-238 (en japonés con resumen en inglés).
- Shorter, A.J. y Joyce, D.C. (1998). Effect of partial pressure infiltration of calcium into "Kensington" mango fruit. *Aust. J. Exp. Agric.*, 38, 287-294.
- Siddiqui, S. y Bangerth, F. (1995). Effect of preharvest application of calcium on flesh firmness and cell wall composition of apples, influence of fruit size. *J. Hort. Sci.*, 70, 263-269.
- Siddiqui, S. y Bangerth, F. (1996). The effect of calcium infiltration on structural changes in cell walls of stored apples. *J. Hort. Sci.*, 71, 703-708.
- Silva, F., Chau, K., Brecht, J. y Sargents, S. (1999). Modified atmosphere packaging for mixed loads of horticultural commodities exposed to two postharvest temperatures. *Postharvest Biol. Technol.*, 17, 1-9.
- Silvers, P.E. (1994). Getting fresh-cut cleaner. *Fresh Cut* May/June 18-20.
- Simandjuntak, V., Barret, D.M. y Wrolstad, R.E. (1996). Cultivar and maturity effects on muskmelon (*Cucumis melo*) colour, texture and cell wall polysaccharide composition. *J. Sci. Food Agric.*, 71, 282-290.
- Simons, L.K. y Sanguansri, P. (1997). Advances in the washing of minimally processed vegetables. *Food Australia*, 49 (2), 75-80.

- Singh, N., Singh, R.K., Bhunia, A.K. y Stroshine, R.L. (2002a). Effect of inoculation and washing methods on the efficacy of different sanitizers against *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce. *Food Microbiol.*, 19, 183-193.
- Singh, N., Singh, R.K., Bhunia, A.K. y Stroshine, R.L. (2002b). Efficacy of chlorine dioxide, ozone, and thyme essential oil or a sequential washing in killing *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce and baby carrots. *Lebensm. Wiss Technol.*, 35, 720-729.
- Sinigaglia, M., Albenzio, M. y Rosaria-Corbo, M. (1999). Influence of process operations on shelf-life and microbial population of fresh-cut vegetables. *J. Industrial Microbio. Biotechnol.*, 23, 484-488.
- Siriphanich, J. y Kader, A.A. (1986). Changes in cytoplasmic and vacuolar pH in harvested lettuce tissue as influenced by CO<sub>2</sub>. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 111, (1), 73-77.
- Skog, L.J. y Chu, C.L. (2000). Ozone technology for shelf life extension of fruits and vegetables. *Proc. 4<sup>th</sup> Conf. On Postharvest*. Eds. Ben-Aire, R. y Philosoph-Hadas, S. Vol., II. *Acta Hort.*, 553, ISHS, 285-291.
- Sloan, A.E. (1995). Fresh cut gets fresh! *Food Technol.*, 38-40.
- Smilanick, J.L., Crisosto, C.H. y Mlikota, F. (1999). Postharvest use of ozone on fresh fruit. *Perishables Handling Qual.*, 99, 10-14.
- Smith, J.P., Ramaswamy, H.S. y Simpson, B.K. (1990). Developments in food packaging technology. Part II: storage aspects. *Trends Food Sci. Technol.*, 1 (5), 111-118.
- Smith, S., Geeson, J. y Stow, J. (1987). Production of modified atmospheres in deciduous fruits by the use of films and coatings. *HortScience*, 22, 772-776.
- Smyth, A.B., Song, J. y Cameron, A.C. (1998). Modified atmosphere packaged cut iceberg lettuce: effect of temperature and O<sub>2</sub> partial pressure on respiration and quality. *J. Agric. Food Chem.*, 46, 4556-4562.
- Sobsey, M.D. (1989). Inactivation of health-related microorganisms in water by disinfection processes. *Water Sci. Technol.*, 21, (3), 179-195.
- Soliva-Fortuny, R.C., Oms-Oliu, G. y Martín-Belloso, O. (2002). Effects of ripeness stages on the storage atmosphere, color, and textural properties of minimally processed apple slices. *J. Food Sci.*, 67, (5), 1958-1961.
- Soliva-Fortuny, R.C., Grigelmo-Miguel, N., Hernando, I., Lluch, M.A. y Martín-Belloso, O. (2002). Effect of minimal processing on the textural and structural properties of fresh-cut pears. *J. Sci. Food Agric.*, 82, 1682-1688.
- Solomos, T. (1997). . Principios físicos y biológicos del envasado en atmósferas modificadas. En: *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. R.C. Wiley. Ed: Acribia. Cap. 5., 179-220.

- Song, Y., Kim, H.K. y Yam, K.L. (1992). Respiration rate of blueberry in modified atmosphere at various temperatures. *J. American Soc. Hort. Sci.*, 11, 925-929.
- Souci, S.W., Fachmann, W. y Kraut, H. (1986). Food composition and nutrition tables. 3<sup>rd</sup> edition. Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Garching b. München. 1032 p.
- Spotts, R.A. y Cervantes, L.A. (1992). Effect of ozonated water on postharvest pathogens of pear in laboratory and packinghouse tests. *Plant Dis.*, 76, 256-259.
- Stanley, D.W., Bourne, M.C., Stone, A.P. y Wismer, W.V. (1995). Low temperature blanching effects on chemistry, firmness and structure of canned green beans and carrots. *J. Food Sci.*, 60, 327-333.
- Starrett, D.A. y Laties, G.G. (1991). Involvement of wound and climacteric ethylene in ripening avocado discs. *Plant Physiol.*, 97, 720-729.
- Surplus, S.L., Jordan, B.R., Murphy, A.M., Carr, J.P., Thomas, B. y Mackerness, S.A.H. (1998). Ultraviolet-B induced responses in *Arabidopsis thaliana*: role of salicylic acid and reactive oxygen species in the regulation of transcripts encoding photosynthetic and acidic pathogenesis-related proteins. *Plant Cell Envir.*, 21, 685-694.
- Suslow, T.V. (2003). Basics of ozone applications for postharvest treatment of vegetables. Department of Vegetable Crops. University of California, Davis. <http://postharvest.ucdavis.edu>
- Takamoto, Y, Maeba, H. y Kamimura, M. (1992). Changes in survival rates o fenzyme activities in *Escherichia coli* with ozone. *Appl. Microbial. Biotechnol.*, 37, 393-395.
- Tingey, D.T., Standley, C. y Field, R.W. (1976). Stress ethylene evolution: a measure of ozone effects on plants. *Atmos. Environ.*, 10, 969-974.
- Tingwa, P.O. y Young, R.E. (1974). The effect of calcium on the ripening of avocado (*Persea americana* Mill.) fruits. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 99, 540-542.
- Tirmazi, S.I.H. y Wills, R.B.H. (1981). Retardation of ripening of mangoes by postharvest application of calcium. *Trop. Agric.*, 58, 137-141.
- Toivonen, P.M.A. (1997). Non-ethylene, non-respiratory volatiles in harvest fruits and vegetables: their occurrence, biological activity and control. *Postharvest Biol. Technol.*, 12, 109-125.
- Tomiyasu, H., Fukutomi, H. y Gordon, G. (1985). Kinetics and mechanism of ozone decomposition in basis aqueous solution. *Inorg. Chem.*, 24, 19, 2962-2966.
- Torres, J.M. y Miquel, M.J. (2003). La geografía del comercio del melón. *Horticultura Internacional*, 40, 16-25.

- Trevor, V. S., Cantwell, M. y Mitchell, J. (2003). Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha en melón honeydew y cantaloupe. Department of Vegetables Crops, University of California, Davis, CA. <http://postharvest.ucdavis.edu>.
- Tsantili, E., Konstantinidis, K., Athanasopoulos, P.E. y Pontikis, C. (2002). Effects of postharvest calcium treatments on respiration and quality attributes in lemon fruit during storage. *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, 77 (4), 479-484.
- Tuomainen, J., Betz, C., Kangasjarvi, J., Ernst, D., Yin, Z.H., Langebartles, C. y Sandermann, H. Jr. (1997). Ozone induction of ethylene emission in tomato plants: regulation by differential transcript accumulation for the biosynthetic enzymes. *Plant J.*, 33, 1151-1162.
- Unal, R., Kim, J.G. y Yousef, A.E. (2001). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, and *Lactobacillus leichmannii* by combinations of ozone and pulsed electric field. *J. Food Protection*, 64, 777-782.
- USDA (1997). Substances generally recognized as safe, proposed rule. *Federal Register*, 62, (74), 18937-18964.
- USDA (2003). Vegetables and Melons Outlook, VGS-295. Electronic outlook report from the economic research service. [www.ers.usda.gov](http://www.ers.usda.gov)
- Valero, D., Martínez-Romero, D., Serrano, M. y Riquelme, M. (1998). Influence of postharvest treatment with putrescine and calcium on endogenous polyamines, firmness, and abscisic acid in lemon (*Citrus limon* L. Burn cv. Verna). *J. Agric. Food Chem.*, 46, 2102-2109.
- Van-Buren, J.P. (1979). The chemistry of texture in fruits and vegetables. *J. Texture Stud.*, 10, 1-23.
- Van Eeden, S.J. (1992). Calcium infiltration as a possible postharvest treatment to increase storage potential of mango fruit. *South African Mango Growers "Association Yearbook*, Vol., 12, 26-27.
- Vankerschaver, K., Willocx, F., Smout, C., Hendrickx, M. y Tobback, P. (1996). Modeling and prediction of visual shelf life of minimally processed endive. *J. Food Sci.*, 61, 5, 1094-1098.
- Varoquaux, P., Lecendre, I., Varoquaux, F. y Souty, M. (1990). Changes in firmness of kiwi fruit after slicing. *Sci. Alim.* 10, 127-139.
- Varoquaux, F., Mazollier, J. y Albagnac, G. (1996). The influence of raw material characteristics on the storage life of fresh-cut butterhead lettuce. *Postharv. Biol. Technol.*, 9, 127-139.
- Venosa, A.D. (1972). Ozone as a water and wastewater disinfectant. En: F.L. Evans, III (ed.), *Ozone in water and wastewater treatment*. Ann. Arbor Science Publishers, Inc., Ann. Arbor, Mich. P.95.
- Vergani, R. (1985). Tipos de fruto de tomate, características y evolución de cara a la comercialización. *Horticultura*, 101-102.

- Victorin, K. y Stahlberg, M. (1988). A method for studying the mutagenicity of some gaseous compounds in *Salmonella typhimurium*. *Environ. Mol. Mutagen.*, 11, 65-77.
- Wager, H.G. (1974). The effect of subjecting peas to air enriched with carbon dioxide. II. Respiration and metabolism of the major acids. *J. Exp. Bot.*, 25, 338-351.
- Wang, C.Y. (1989). Chilling injury of fruit and vegetables. *Food Rev. Int.*, 5, 209-236.
- Wang, C.Y. (1993). Approaches to reduce chilling injury of fruits and vegetables. *Hort. Rev.*, 15, 63-95.
- Wang, C.Y. y Adams, D.O. (1980). Ethylene production by chilled cucumbers (*Cucumis Sativus* L). *Plant Physiol.*, 66, 841-843.
- Wang, C.Y. y Qi, L. (1997). Modified atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumbers. *Postharvest Biol. Technol.*, 10, 195-200.
- Wang, C.Y., Mellenthin, W.M. y Hansen, E. (1971). Effect of temperature on development of premature ripening in Barlett pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 96, 122-126.
- Wardowski, W.F., Grierson, W. y Edwards, G.J. (1973). Chilling injury of stored limes and grapefruit as affected by differentially permeable films. *HortScience* 8, 173-175.
- Watada, A.E. (1997). Quality maintenance of fresh-cut fruits and vegetables. *Food and Biotechnology*, 6, (4), 229-233.
- Watada, A.E. y Qi, L. (1999). Quality of fresh-cut produce. *Postharv. Biol. Technol.*, 15, 201-205.
- Watada, A.E., Abe, K. y Yamuchi, N. (1990). Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technol.*, 44, 116-122.
- Watada, A.E., Ko, N.P. y Minott, D.A. (1996). Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biol. Technol.*, 9, 115-125.
- Wei, C.I., Cook, D.L. y Kirk, J.R. (1985). Use of chlorine compounds in the food industry. *Food Technol.*, 39, 107-115.
- Wei, C.I., Huang, T.S., Kim, J.M., Lin, W.F., Tamplin, M.L. y Bartz, J.A. (1999). Growth and survival of *Salmonella montevideo* on tomatoes and disinfection with chlorinated water. *J. Food Protect.*, 58, 829-836.
- Weichman, J. (1987). Postharvest physiology of vegetables. *Food Science and Tech.*, 24, 345-353.
- Wells, J.A. y Nugent, P.E. (1980). Effect of high soil moisture on quality of muskmelon. *HortScience*, 15:258-259.
- Whitaker, B.C. (1994). Lipid changes in mature-green tomatoes during ripening, during chilling, and after rewarming subsequent to chilling. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 119 (5), 994-999.
- Wickramanayake, G.B., Rubin, A.J. y Sproud, O.J. (1984). Inactivation of *Giardia lamblia* cyst with ozone. *Appl. Environ. Microbiol.*, 48, 671-672.

- Wiekne, J. (1980). Autoradiographic localization of  $^{45}\text{Ca}$  and  $^{36}\text{Cl}$  after postharvest dipping of apple fruits. En: Mineral Nutrition of fruit trees, (Atkinson, D., Jackson, J.E., Sharples, R.O. y Walker, W.M., eds.). Butterworths, London. 334-336.
- Wilcox, F., Tobback, P. y Hendrickx, M. (1994). Microbial safety assurance of minimally processed vegetables by implementation of the Hazard Analysis Critical Control Point system. *Acta Alimentis*, 23, 221-238.
- Wiley, R.C. (1997). Introducción a las frutas y hortalizas refrigeradas mínimamente procesadas En: Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. R.C. Wiley. Ed: Acribia. Cap. 1., 1-14.
- Wiley, R.C. (1997). Métodos de conservación de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. En: Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. R.C. Wiley. Ed: Acribia. Cap. 3., 65-130.
- Wills, R.B.T. y Sirivatanapa, S. (1998). Evaluation of postharvest infiltration of calcium to delay the ripening of avocados. *Aust. J. Exp. Agric.*, 28, 801-804.
- Wills, R.B.T. y Tirmazi, S.I.H. (1979). Effect of calcium and other minerals on ripening of tomatoes. *Aust. J. Plant Physiol.*, 6, 221-227.
- Wills, R.B.T. y Tirmazi, S.I.H. (1982). Inhibition of ripening of avocados with calcium. *Sci. Hortic.*, 16, 323-330.
- Wills, R.B.T., Yuen, C.M.C., Sabari, Laksmi, S.D.L. y Suyanti, 1988. Effect of calcium infiltration on delayed ripening of three mango cultivars in Indonesia. *ASEAN Food J.*, 4, 67-68.
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D. y Joyce, D. (1998). Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. Adelaide, UNSW Press, Sydney, 4<sup>th</sup> ed., 262 p.
- Winsor, G.W., Davies, J.N. y Massey, D.M. (1962). Sugar in mature green tomato. *J. Sci. Food Agric.*, 13, 108-112.
- Wise, R. y Naylor, A.W. (1987). Chilling-enhanced photooxidation. Evidence for the role of singlet oxygen and superoxide in the breakdown of pigments and endogenous antioxidants. *Plant Physiol.*, 83, 278-282.
- Wright, K.P. y Kader, A.A. (1997a). Effect of slicing and controlled-atmosphere storage on the ascorbate content and quality of strawberries and persimmons. *Postharv. Biol. Technol.*, 10, 39-48.
- Wright, K.P. y Kader, A.A. (1997b). Effect of controlled-atmosphere storage on the quality and carotenoid content of sliced persimmons and peaches. *Postharv. Biol. Technol.*, 10, 89-97.
- Wu, Q., Szakacs-Dobozi, M., Hemmat, M. y Hrazdina, G. (1993). Endopolygalacturonase in apples (*Malus domestica*) and its expression during fruit ripening. *Plant Physiol.*, 102, 219-225.
- Wynn, C.S., Kirk, B.S. y McNabney, R. (1973). Pilot plant for tertiary treatment of wastewater with ozone. *Water Res.*, 22, 7, 933-938.
- Xu, L. (1999). Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. *Food Technol.*, 53, 10, 58-63.

- Yamaoka, T. y Chiba, N. (1983). Changes in the coagulating ability of pectin during the growth of soybean hypocotyls. *Plant Cell Physiol.*, 24, 1281-1290.
- Yanez, L.L., Mercado, P.E., Yahia, K.E. y Armella, M.A. (2001). Ethanol accumulation patterns in different horticultural commodities in response to enriched CO<sub>2</sub> atmospheres. *Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. On Postharvest*. Eds. Ben-Aire, R. y Philosoph-Hadas, S. Vol., II. *Acta Hort.*, 553, ISHS, 657-661.
- Yang, S.F. (1985). Biosynthesis and action of ethylene. *HortScience*, 20, 41-45.
- Yapa, P., Kawasaki, T. y Matsumoto, H. (1986). Changes of some membrane-associated enzyme activities and degradation of membrane phospholipids in cucumber roots due to calcium starvation. *Plant Cell Physiol.*, 27, 223-232.
- Yildiz, F. (1997). Preparación inicial, manipulación y distribución de frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. En: *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. R.C. Wiley. Ed: Acribia. Cap. 2., 15-64.
- Yin, Z.H., Langebartels, C. y Sandermann, H. (1994). Specific induction of ethylene biosynthesis in tobacco plants by the air pollutant ozone. *Proc. R. Soc. Edinb.*, 102, 127-130.
- Yoshida, T., Borgic, D.M., Chen, P.M. y Mielke, E.A. (1986). Changes in ethylene, acids and brown-core development of 'Bartlett' pears in low oxygen storage. *HortScience*, 21, 472-474.
- Young, R.E., Romani, R.J. y Biale, J.B. (1962). Carbon dioxide effects on fruit respiration. II. Response of avocados, bananas and lemons. *Plant Physiol.*, 37, 416-422.
- Young, T.E., Juvik, J.A. y Sullivan, J.G. (1993). Accumulation of the components of total solids in ripening fruits of tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 118 (2), 286-292.
- Yu, B.B. y Yang, S.F. (1980). Biosynthesis of wound ethylene. *Plant Physiol.*, 66, 281-285.
- Yuen, C.M.C., Caffin, N. y Boonyakiat, D. (1994). Effect of calcium infiltration on ripening of avocados at different maturities. *Aust. J. Exp. Agric.*, 34, 123-126.
- Yuniarti, S. (1992). Ripening retardation of Arumanis mango. *ASEAN Food J.*, 7, 207-208.
- Zagory, D. (1996). Controlled and modified atmospheres for fresh-cut products: film technology and selection. En: *Fresh-cut products: Maintaining quality and safety*. Ed. Univ. of California. *Postharv. Hort. Ser.* 10.
- Zagory, D. (1999). Effects of post-processing handling and packaging on microbial populations. *Postharv. Biol. Technol.*, 15, 313-321.
- Zagory, D. y Kader, A.A. (1988). Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Technology*, 42 (9), 70-76.

- Zhao, J. y Cranston, P.M. (1995). Microbial decontamination of black pepper by ozone and the effect of the treatment on volatile oil constituents of the spice. *J. Sic. Food Agric.*, 68, 11-18.
- Zhuang, H., Hildebrand, D.F. y Barth, M.M. (1996). Short-term ozonated water treatment affects quality and physiology of broccoli during postharvest storage. Institute of Food Technologist annual meeting, libro de resúmenes, p.99.
- Zielinsky, R.F. (1998). Calmodium and calmodulin-binding proteins in plants. *Annu. Rev. Plant Mol. Biol.*, 49, 697-725.
- Zind, T. (1990). Age of pre-cut. *The Packer* 21 Apr. 1990.p.1<sup>a</sup>.

**TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN**

**TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN DERIVADOS DE LA PRESENTE TESIS  
DOCTORAL**

**Artículos publicados o en trámite de publicación en Revistas Científicas**

**Aguayo, E.** y Artés, F. (2001). Procesado en fresco del melón “Amarillo” y evolución de su calidad sensorial. *Alimentaria*, 25-32.

**Aguayo E.**, Giménez J. y Artés F (2001). Caracterización agronómica y atributos de calidad de dieciseis variedades de tomate para procesado en fresco. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 6, 81-88.

**Aguayo E.**, Escalona, V.H. y Artés F (2001). Procesado en fresco y conservación en atmósfera modificada de 16 variedades de tomate. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 6, 127-132.

**Aguayo E.**, Escalona, V.H. y Artés F (2001). Industrialización del melón procesado en fresco. *Horticultura Internacional*, 19, 6, 48-60.

**Aguayo, E.**, Allende, A. y Artés, F. (2003). Keeping quality and safety of minimally fresh processed melon. *Eur. Food Res. Technol.*, 216, 6: 494-499.

**Aguayo, E.**, Escalona, V.H., y Artés, F. (2003). Metabolic Behavior and Quality Changes of Whole and Fresh Processed Melon. *J. Food Sci.* En revisión.

**Aguayo, E.**, Escalona, V.H., y Artés, F. (2003). Quality of fresh-cut tomato as affected by temperature, gas composition, kind of cut and storage time. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* Remitido.

**Publicaciones presentadas en Congresos**

Artés, F. y **Aguayo, E.** (2000). Controlled atmosphere storage of fresh-cut tomato. En: Artés, F., Gil, M.I. y Conesa, M.A. (Eds), *Improving Postharvest Technologies of Fruits, Vegetables and Ornamentals*. International Institute of Refrigeration, Vol I, 432-436.

**Aguayo, E.,** Escalona, V.H. y Artés, F. (2001). Evolución de los azúcares en la comercialización del tomate procesado en fresco. En: Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. 30 Mayo – 1 Junio, Granada, España, 248-249.

**Aguayo, E.,** Escalona, V.H. y Artés, F. (2002). Comportamiento metabólico de cuatro cultivares de melón enteros y procesados en fresco. En: López, A., Esnoz, A. y Artés F. (Eds), Avances en Técnicas y Ciencias del Frío – I. CYTED, 465-470.

**Aguayo, E.,** Escalona, V.H. y Artés, F. (2002). Minimally processed ‘Amarillo’ melon washed on ozonated treated water. *Tecnologías Emergentes en la Industria Agroalimentaria*. Marzo, Madrid, España, 215.

**Aguayo, E.,** Escalona, V.H. y Artés, F. (2002). Cyclic ozone exposure affects ethylene emission and respiration on whole and fresh-cut tomato. En: Vendrell, M., Klee, H., Pech, J.C. y Romojaro, F. (Eds). *Biology and Biotechnology of the Plant Hormone Ethylene*, 423-424.

**Aguayo, E.,** Escalona, V.H. y Artés, F. (2002). Quality Improvement of Fresh-cut Tomato under Active and Passive Modified Atmosphere Packaging. En XXVI<sup>th</sup> International Horticultural Congress. 11-17 Agosto, Toronto, Canadá, 689.

**Aguayo, E.,** Escalona, V.H. y Artés, F. (2003). Minimally processed 'Amarillo' melon. En: Oosterhaven, J, y Peppelombos, H.W. (Eds), Proc 8<sup>th</sup> Int CA Conference. *Acta Hort* 600, 346-351.

**Aguayo, E.,** Escalona, V.H. y Artés, F. (2003). Evolución microbiana y del contenido de azúcares en melón “amarillo” procesado en fresco lavado con agua ozonizada. II Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 3-6 Junio, Orihuela, España, Vol II, 477-480.

**Aguayo, E.,** Escalona, V.H. y Artés, F. (2003). Microbial and Sensory Quality Changes in Fresh Processed Melon under Controlled Atmosphere. *Quality in Chain*, Holanda, Vol I, 235-237.