

DAÑOS POR FRÍO EN LA POSTRECOLECCIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS

F. Artés y F. Artés-Hernández

Grupo Postrecolección y Refrigeración. Departamento de Ingeniería de Alimentos. Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII , 48. 30203 Cartagena. Murcia. España. Telf: 34-968-325510. Fax: 34-968-325433. Correo electrónico: fr.artes@upct.es

RESUMEN

Se estudia la etiología y desarrollo de las alteraciones causadas por temperaturas superiores al punto de congelación, en un amplio rango entre $-0,5^{\circ}\text{C}$ y unos 15 a 20°C , durante la conservación de ciertos productos hortofrutícolas y que provocan importantes pérdidas económicas. Son sensibles a los daños por el frío la mayoría de productos tropicales y subtropicales, numerosos productos mediterráneos y algunas especies de clima templado. Se distinguen los daños primarios sobre las biomembranas vegetales y los verdaderos daños que suceden como consecuencia de desviaciones del metabolismo, una vez superada la fase de latencia. Se efectúa una amplia revisión de los muy diversos síntomas que manifiestan los órganos vegetales alterados y de los diversos métodos químicos y físicos propuestos para reducir la gravedad de los daños por el frío, entre los que destacan los térmicos y gaseosos, que no generan residuos y ofrecen un interés práctico relevante, prestando especial atención a la aportación española más destacada en este campo. Se concluye en la necesidad de profundizar en los fundamentos bioquímicos y fisiológicos del efecto beneficioso de los tratamientos físicos, investigar la obtención de especies transgénicas de productos sensibles, mediante transferencia de genes resistentes al frío, y la aplicación de técnicas de cultivo, recolección y postrecolección apropiadas para facilitar la conservación frigorífica de las cosechas sensibles.

1.- ETIOLOGÍA DE LOS DAÑOS POR EL FRÍO EN LA REFRIGERACIÓN HORTOFRUTÍCOLA

La intensidad a la que tienen lugar los procesos metabólicos de los órganos vegetales depende estrechamente de la temperatura del organismo y de la del medio exterior. Mientras que los animales disponen de sistemas de regulación térmica, los vegetales no, por lo que son particularmente sensibles a las bajas temperaturas. La aplicación a los vegetales de frío moderado, superior al punto de congelación (entre -1 y -3°C según los productos), reduce la velocidad de las reacciones metabólicas al modificar la energía de activación, la velocidad máxima y la constante de Michaelis de las reacciones enzimáticas y las concentraciones de sustratos y de productos de la reacción. Lance y Moreau (1992) Publicado en Avances en Ciencias y Técnicas del Frío-1. Editores: A López, A. Esnoz y F. Artés. Edit.: UPCT 1 y SECYTEF. 299-310. 2003.

exponen que tanto la respiración y la fotosíntesis, los principales procesos ligados al metabolismo energético de la planta, como todo el metabolismo general, se perturban por las temperaturas de refrigeración. Son muy numerosas las disfunciones celulares y las alteraciones fisiológicas y bioquímicas que induce el frío no congelante: generalmente estimula la tasa respiratoria y la emisión de etileno, reduce la fotosíntesis, interfiere la producción de energía, aumenta la energía de activación, retrasa la fluidez del protoplasma, aumenta la permeabilidad de la membrana, inactiva algunos enzimas, desarregla la membrana y altera la estructura celular (Wang, 1982, 2000). También se ha comprobado un aumento en la biosíntesis de ácido 1-amino ciclo propano 1-carboxílico, ácido abscísico y putrescina en pimiento (Serrano *et al.*, 1997).

El efecto de las bajas temperaturas no congelantes, se manifiesta de inmediatamente sobre la estructura y composición de las biomembranas vegetales, aumentando la microviscosidad de la matriz lipídica y la rigidez de las membranas, que adquieren una estructura gel-cristalina, y se redistribuyen las proteínas integradas, que son expulsadas de las zonas lipídicas rígidas. Los cambios en la temperatura del medio afectan también al funcionamiento de las enzimas y de los transportadores incluidos en la matriz lipídica de las membranas y con esto a los intercambios a través de ella, lo que altera la permeabilidad y perturba las funciones celulares, que, en los casos más graves, produce un trasvase de electrolitos y metabolitos entre los diversos compartimentos celulares y entre las células y el medio, llegando incluso a la ruptura de las membranas, necrosis y muerte del órgano o de la planta (Mazliak, 1992). Todo ello conduce a desviaciones metabólicas y fisiológicas de las células, de los tejidos, del órgano o de la planta.

Pero también se ha comprobado que la cutícula juega algún papel en el desarrollo de la alteración. Así, en el pomelo, el flavedo es más poroso bajo refrigeración que a temperatura ambiente, facilitando el aporte de O₂ hacia la membrana y la salida de agua, que provoca la deshidratación Nordby y Mc Donald (1991).

Estas enfermedades o desórdenes fisiológicos se denominan daños por el frío (DF) y suceden tras una cierta permanencia de los productos a temperaturas entre -0,5°C y unos 15°C. Inicialmente se pensó que este fenómeno sucedía solo en los productos de origen tropical, pero también los productos de clima templado desarrollan estos desórdenes fisiológicos cuando sufren el estrés de temperaturas no congelantes. En efecto, la mayoría de productos tropicales y subtropicales, numerosos productos mediterráneos y algunas especies de clima templado son sensibles a los DF y se ha observado que las especies climatéricas son más proclives a sufrir DF cuando tienen un metabolismo muy activo, con elevada tasa respiratoria. En el desarrollo de los DF intervienen una serie de factores genéticos, fisiológicos y bioquímicos e incluso de las condiciones térmicas del cultivo (Bramlage, 1982; Watada, 1982; Marcellin y Ulrich, 1983; Luchsinger y Artés, 2000).

La temperatura crítica a la que aparecen los DF, varía de un órgano a otro o de una especie a otra, y puede ser de -0,5 a 4°C para los poco sensibles, de 4 a 7°C para algunas especies de clima templado, y desde unos 8 hasta 15 e incluso 20°C para las tropicales y subtropicales más sensibles. Por ello, los órganos vegetales se consideran resistentes al frío cuando pueden almacenarse sin alteraciones a temperaturas próximas al punto de congelación, moderadamente sensibles si se alteran entre 2 y 7°C, y muy sensibles, cuando no soportan temperaturas por debajo de 15 a 20°C (Artés, 2001).

Comúnmente, la acción del frío moderado produce unos efectos directos y rápidos sobre las membranas, con la alteración de la célula, cuya gravedad depende de la intensidad y duración de la baja temperatura. Pero también puede tener una acción más gradual y duradera, que conduce a una alteración primaria e indirecta del metabolismo, e incluso a un desequilibrio hídrico, que da lugar a una alteración secundaria y puede tener consecuencias reparables, aunque dependiendo del estado fisiológico. (Levitt, 1980, citado por Marcellin, 1992). En efecto, se ha observado que los frutos inmaduros o precoces son más sensibles al frío que los maduros o tardíos de la misma cosecha, con independencia de que sean climatéricos o no. Por ejemplo, en tomate "Daniela" los frutos pintones fueron menos sensibles a los DF que los verdes (Artés, 1999a). El melocotón "Paraguay" verde es más sensible a los DF que cuando está maduro, manifestándose síntomas de DF en frutos de ambos estados de madurez simultáneamente a un incremento en la actividad respiratoria y en la emisión de etileno, seguida de una fuerte reducción de ésta tras 2 semanas a X°C (Fernández-Trujillo y Artés, 1997; Artés y Fernández-Trujillo, 1999). En pimiento "Lamuyo", los frutos rojos no mostraron picado a 2°C, mientras los verdes fueron muy sensibles (Serrano *et al.*, 1997). Por otra parte, existe una clara susceptibilidad varietal, como se ha comprobado en mandarina (las variedades "Clementina" y "Clemenules" son mucho menos sensibles que la "Nova" y "Fortune"), de acuerdo con Sala, (1998).

Sin embargo, un estrés severo por un choque de frío, que produce daños de manera muy rápida, ejerce una acción irremediable y a veces letal, sin que llegue a producir la congelación de los tejidos. Con el retorno a una temperatura superior al umbral crítico de DF, se manifiesta claramente el estado reversible o irreversible de los desórdenes (Marcellin y Ulrich, 1983; Jackman *et al.*, 1988; Marcellin, 1992; Artés, 1995b).

2.- SÍNTOMAS DE LOS DAÑOS POR EL FRÍO

Aunque no se conoce exactamente el desarrollo de los DF, se sabe que tiene lugar en dos fases sucesivas. La primera se prolonga desde algunas horas (caso de la banana o de la chirimoya) hasta algunos meses (en manzana y pera), aunque lo más frecuente es una duración de unas dos semanas (como sucede en pepino, judía verde, tomate, melocotón o en los cítricos). En esta fase inicial las

alteraciones son tan poco severas que no se manifiestan los síntomas, lo que se denomina umbral de inducción o fase de latencia, y los productos pueden retornar a un estado normal, por simple calentamiento superior a la temperatura crítica (es el caso de las alteraciones de tipo primario indirecto). La segunda fase tiene lugar cuando, superado el umbral de inducción, aparecen los síntomas, su establecimiento es ya irreversible, y la aplicación de una elevación moderada de la temperatura solo contribuye a acelerar su desarrollo (Marcellin, 1992; Artés, 1995a).

Los síntomas con los que se manifiestan los desórdenes fisiológicos provocados por el frío en frutas y hortalizas recolectadas son muy diversos, distinguiéndose dos categorías, que pueden coexistir y desarrollarse simultáneamente, lo que sucede con frecuencia en frutos tropicales y subtropicales. La primera muestra una naturaleza cualitativa y consiste en anomalías del desarrollo o del metabolismo, como la maduración incompleta del tomate, papaya, mango, melocotón y nectarina, el endulzado de las patatas, o el insuficiente sabor y aroma en banana, plátano, piña, papaya, sandía o melón (Hardenburg *et al.*, 1990; Marcellin, 1992; Artés, 1995a,b, 2000a). Varios metabolitos gaseosos como el CO₂, C₂H₄, etanol y acetaldehído, pueden ser bio-indicadores para evaluar y detectar las alteraciones organolépticas, fisiológicas y patológicas antes de que se manifiesten los síntomas (Couey, 1982). Como caso particular, en melocotón y nectarina la aparición de DF está asociada a una disminución en la producción de C₂H₄ (Luchsinger, 1996; Fernández-Trujillo y Artés, 1997; Artés y Fernández-Trujillo, 1999), lo que difiere del comportamiento del resto de productos, en los que el DF suele ir acompañado de aumento en la emisión de CO₂ y C₂H₄.

La segunda categoría de DF la integran verdaderas enfermedades que presentan muy variadas manifestaciones: depresiones de la piel o picado, que afecta al 60% de las especies de frutas y hortalizas de regiones tropicales y subtropicales, o la peteca del limón, descomposición de tejidos (en fruta de hueso y de pepita), pardeamientos internos o superficiales (escaldadura), típicos de la fruta de pepita, cítricos, granada, aguacate, piña y patata, infiltración de agua en los espacios intercelulares (frecuente en tomate, pepino, papaya o jícama), desarrollo de textura algodonosa o harinosidad o lanosidad (en melocotón y nectarina), pardeamiento de las membranas carpelares o membranosis (frecuente en limón y granada), debilitamiento de la resistencia a daños mecánicos y al ataque microbiano (muy generalizado), y otras específicas de algunas frutas y hortalizas, como la consistencia gelatinosa de la pulpa (ciruela), el enrojamiento (judía verde) o el ablandamiento de la punta del espárrago (Hardenburg *et al.*, 1990; Marcellin, 1992; Artés, 1995a,b, 2000a), e incluso un incremento en la deshidratación en jícama, tras 2 semanas a temperatura inferior a 13°C (Mercado-Silva y Cantwell, 1998). En el Cuadro 1 se resumen los DF más comunes en la postrecolección hortofrutícola.

Una interpretación razonable sobre la aparición de pardeamientos en los tejidos vegetales que sufren DF, es que son una consecuencia de desarreglos celulares producidos por la refrigeración, sin

que ocurran daños mecánicos, que incrementan la permeabilidad del tonoplasto. Ello posibilitaría la reacción entre compuestos fenólicos disueltos en la vacuola, con enzimas polifenoloxidasas del citoplasma produciendo el pardeamiento (Côme y Corbineau, 1994). Como ejemplo que apoya esta hipótesis, se ha demostrado un aumento en la fuga de electrolitos y en las actividades fenilalanina amonio liasa (responsable de la biosíntesis de substratos fenólicos) y polifenoloxidasa en cítricos sometidos a DF (Martínez-Téllez y Lafuente, 1993; Vázquez *et al.*, 1998; Salvador *et al.*, 2000).

En los productos hortofrutícolas procesados en fresco, derivados de productos sensibles a los DF, no se suelen observar estas alteraciones, debido a que la duración de su vida comercial suele ser de tan solo una a dos semanas, por lo que no es probable que se supere la fase de latencia de las enfermedades (la translucencia del tomate, un DF asociado a excesiva presencia de C₂H₄ y a sobremaduración, puede ser la excepción). En consecuencia, durante su distribución comercial, estos productos no suelen manifestar síntomas de DF (Artés *et al.*, 2002).

3.- CONTROL DE LOS DAÑOS POR EL FRÍO

Todavía son insuficientes las investigaciones que relacionan los DF con las modificaciones del metabolismo en la postrecolección hortofrutícola aunque en la pasada década se han producido notables progresos (Klein y Lurie, 1992; Wang, 1993; Artés, 1995a,b,c). Los DF pueden reducirse bien aumentando la tolerancia de los productos, bien retrasando el desarrollo de los síntomas (Wang, 2000). En general no existen medios de lucha totalmente eficaces para evitarlos, excepto quizás los que limitan el estrés hídrico, estimulado secundariamente por la baja temperatura (Marcellin, 1992), y también los tratamientos que dificulten los flujos de gases de interés fisiológico (O₂, CO₂ y C₂H₄) a través de las membranas celulares, generando una atmósfera modificada (AM) en el interior del fruto.

Se ha demostrado que una tensión de vapor de agua próxima a la saturación durante la conservación en atmósfera controlada (AC) o en AM, inhibe el estrés hídrico de la postrecolección y favorece la tolerancia al frío de numerosas especies sensibles (cítricos, tomate, pimiento, pepino o berenjena), reduciendo o suprimiendo los DF (Grierson *et al.*, 1982; Ben-Yehoshua *et al.*, 1983). Excepcionalmente se han observado efectos opuestos, y con una baja HR el "coreflush" y la descomposición interna de manzanas se redujeron (Grierson y Wardowsky, 1978).

Aunque obviamente el mejor paliativo es mantener los productos a una temperatura superior al umbral crítico, se han propuesto diversos métodos para reducir la gravedad de los DF y algunos de ellos ofrecen un interés práctico relevante.

CUADRO 1: DAÑOS CAUSADOS POR TEMPERATURAS DE REFRIGERACIÓN A LAS FRUTAS Y HORTALIZAS

PRODUCTO	Tª MÍNIMA INFERIOR (°C)	SÍNTOMAS MÁS FRECUENTES
Aceituna	5-7	Picado, pardeamiento (pard.) de la piel, susceptibilidad a podredumbres (suscep. podre.)
Aguacate	5-13	Pard. de piel y pulpa, suscep. podre.
Alcachofa	0-3	Pard. de las puntas y bordes de hojas
Albaricoque	0	Pard. De la pulpa junto al hueso
Arándano	2	Textura gomosa, enrojecimiento de la pulpa
Banana verde o madura	12-14	Coloración (color.) de la piel anómala: apagada, grisácea o parda, suscep. podre.
Batata / boniato	13	Pard. interno, picado, descomposición (desc.) interna, endurecimiento de la pulpa en la cocción
Berenjena	7-10	Escaldadura superficial, podredumbre (<i>Alternaria</i> sp.)
Círuela	0-1	Pulpa translúcida, consistencia gelatinosa de la pulpa
Calabaza/calabacín	10	Picado, desc. interna, suscep. podre.
Chirimoya	8-10	Pard. de piel y pulpa, desc. interna
Chayote	10-12	Picado, color. anómala, suscep. podre.
Espárrago	1-2	Color. anómala, ablandamiento de la punta
Gombo	7	Picado, color. anómala, infiltración acuosa
Guayaba	5-10	Picado, pard. de la piel, desc. interna
Granada	5	Picado, pard. de la piel, membranosis, suscep. podre.
Jícama	13-18	Ablandamiento, suscep. podre. y a deshidratación, pard. interno, infiltración acuosa
Judía verde	7-8	Picado y manchas pardo-rosáceas ("russeting")
Lima	7-10	Picado, pard. del flavedo
Limón	11-14	Picado, adustiosis, membranosis, oleocelosis, pard. del flavedo, peteca, necrosis peripeduncular, suscep. podre.
Mango	10-13	Escaldadura, pard., maduración incompleta (madur. incomp.)
Melón Honey Dew y Pintasapo	7-15	Picado, madur. incompleta, color. anómala, desc. interna, suscep. podre.
Melón Amarillo	15-17	Picado, madur. Incompleta, desc. interna, suscep. podre.
Melón Cantaloup	2-5	Picado, suscep. podre.
Melocotón y nectarina	2-7	Textura algononosa, harinosidad, pard. y desc. interna, mal radiante, enrojecimiento de la pulpa, madur. incomp., vitrescencia
Manzana (variedades europeas)	2-4	Escaldadura superficial o blanda, corazón rosáceo, pard. interno
Naranja y mandarina	3-9	Picado, escaldadura superficial, necrosis peripeduncular, pard. del flavedo, membranosis, desc. acuosa, suscep. podre.
Ocra o gumbo	7	Picado, color anómalo, infiltración acuosa, suscep. podre.
Patata	4-5	Color interno anómalo, ennegrecimiento y endulzado de la pulpa
Papaya	7	Picado, madur. incomp., desc. interna, sabor y aroma anómalos, suscep. podre.
Pepino	7-10	Picado, infiltración acuosa, ablandamiento, desc. interna, amarillamiento de la pulpa, suscep. podre.
Pimiento	7	Picado, pard. de la semilla, podredumbre (<i>Alternaria</i> sp.)
Piña	7-10	Color apagado, sabor anómalo, suscep. podre.
Pomelo	10	Pard. del flavedo, picado, desc. acuosa, suscep. podre.
Sandía	5-10	Picado, sabor anómalo o amargo
Tamarillo	3-4	Picado, color. anómala
Tomate verde	13	Ablandamiento, infiltración acuosa, desc. interna
Tomate maduro	7-10	Ablandamiento y color anómalos, madur. incomp., suscep. podre.

Fuentes: Hardenburg *et al.*, (1990), Marcellin, (1992), Artés, (2001), ampliado y modificado

En relación con los métodos de evaluación de los DF, generalmente el grado de severidad de cada desorden se clasifica de acuerdo a una escala de 5 puntos en el que 0 representa ausencia (A); 1, muy leve (ML); 2, leve (L); 3, moderada (M) y 4, grave (G). Esta escala debe estar acompañada de una descripción cualitativa y cuantitativa del tipo de DF de que se trate. Solo los niveles moderado y grave se consideran habitualmente como pérdidas. Con esta escala hemos elaborado un índice por el que determinamos la extensión de DF como sigue: Índice de DF = $(0 * P_A + 1 * P_{ML} + 2 * P_L + 3 * P_M + 4 * P_G) / 4$, donde P_A , P_{ML} , P_L , P_M y P_G son los porcentajes de frutos que muestran ausencia o los diferentes grados de severidad de DF (Artés y Escriche, 1994; Artés y Fernández-Trujillo, 1999).

3.1. TRATAMIENTOS QUÍMICOS

La aplicación de diversos antioxidantes como la etoxiquina, la difenilamina, el benzoato sódico, el escualeno o el α -farnaseno, algunos fungicidas como benomilo, tiabendazol o imazalil, los vapores de etanol (reducen la respiración y la emisión de etileno), las disoluciones de calcio (mayores concentraciones de Ca^{++} en los tejidos se ha asociado a menos susceptibilidad a DF), la mayoría de los reguladores del crecimiento al afectar procesos bioquímicos y fisiológicos que pueden a su vez afectar la tolerancia al estrés por frío (etileno, ácido giberélico, ácido abscísico y análogos, el ácido jasmónico y jasmonato de metilo, triazoles), e incluso las poliaminas (por su actividad antioxidante y estabilizadora de las membranas, aunque con resultados contradictorios), se han mostrado eficaces para reducir algunos DF en numerosos productos hortofrutícolas climatéricos como manzana, pera y aguacate, y no climatéricos como cítricos, pimiento, pepino o calabacín (Wang, 1991, 2000; Marcellin, 1992; Artés, 1995a; Lurie *et al.*, 1995; Meir *et al.*, 1996, 2000; Laamin *et al.*, 1998).

Sin embargo, la preocupación de los consumidores por el empleo de sustancias químicas, que dejan residuos sobre los frutos y son potencialmente nocivas para el hombre y el medio ambiente, está erradicando su uso, que se sustituye por aplicaciones de productos naturales o, sobre todo, de tratamientos físicos alternativos, en la vía de conseguir una producción de alimentos sostenible (Artés, 1995a). Por ello, se revisan seguidamente algunos tratamientos físicos que resultan eficaces, prestando atención a la experiencia española en este campo.

3.2. TRATAMIENTOS TÉRMICOS

La plena justificación de la eficacia de ciertos tratamientos térmicos moderados para limitar los DF, como el retraso del enfriamiento, acondicionamiento térmico o curado para restaurar la alteración de los tejidos no es bien conocida, aunque depende mucho de la variedad y del estado fisiológico (Marcellin y Ulrich, 1983; Artés, 1984 y 1995a; Artés y Escriche, 1988a,b; Martínez *et al.*,

1987; Casas y Cuñat, 1990; Wang, 1991; Mc Donald *et al.*, 1993; Rodov *et al.*, 1995). Una posible explicación reside en los efectos favorables para reducir las pérdidas de peso, en aumentar la resistencia a la difusión de gases no condensables a través de la epidermis de los frutos y que, como se ha comprobado que los frutos maduros o tardíos son menos sensibles a los DF que los inmaduros o precoces de la misma cosecha, el curado puede lograr un cierto avance de la maduración de los productos, evitando el DF y, con frecuencia, diversas podredumbres al facilitar la lignificación de los tejidos y evitar la proliferación de los microorganismos de herida.

Citaremos seguidamente algunos ejemplos. El curado en aire a 35°C y 95% HR durante 3 días, de mandarina “Fortune”, sensible a temperatura inferior a 9°C, inhibió los DF durante 8 semanas a 5°C y 90% HR (Martínez *et al.*, 1994). Un curado de 3 días en aire a 33°C y 95% HR antes del almacenamiento de granada "Mollar" controló el picado y la escaldadura superficial durante 3 meses a 2°C (Artés *et al.*, 2000a). El curado en agua caliente a 53°C durante 2 minutos de naranja “Navelate”, seguido de 7 semanas a 2 °C y 90-95 % HR y 1 semana a 20°C, previno los DF (1,3%) frente al 34,5% en el testigo (Artés *et al.*, 1998b). En melocotón, una permanencia de 2 a 5 días entre 20 y 25°C, antes de almacenarlo a 0°C, evitó la textura algodonosa aunque aumentaron las podredumbres (Artés *et al.*, 1999). La refrigeración por etapas de 3 ó 4 °C en banana, aguacate y tomate, disminuyó los DF (Marcellin y Ulrich, 1983). Un acondicionamiento desde 10 hasta 4°C, bajando 2°C por semana, redujo los DF en mandarina “Fortune” (Cuquerella *et al.*, 1988). La escaldadura superficial de la manzana "Granny Smith", se redujo notablemente al almacenarlas a 4,5°C durante las 6 primeras semanas, para después mantenerlas a 0°C (Marcellin, 1992).

Los calentamientos intermitentes (CI) consisten en someter los frutos a elevaciones periódicas de la temperatura, en el curso de la conservación frigorífica convencional, durante la fase de latencia de la alteración, con duración e intensidad variables según el producto. Este tratamiento se ha considerado como el más eficaz para minimizar los DF en los órganos vegetales (Marcellin, 1992), probablemente por su capacidad para restaurar la alteración de las membranas celulares, modificada por el frío, eliminar posibles metabolitos tóxicos acumulados en células y tejidos a baja temperatura, o incluso favorecer la síntesis de algún metabolito indispensable para la célula (Marcellin y Ulrich, 1983; Artés, 1995b). Se ha demostrado que los CI restablecen en frutos con DF la respiración normal (en cítricos, melocotones y tomates) y la emisión de etileno y el equilibrio de la actividad pectinesterasa y poligalacturonasa en melocotón (Marcellin y Ulrich, 1983; Artés *et al.*, 1996).

Sobre la aplicación de CI hemos realizado numerosos ensayos (Artés, 1984 y 1995b; Artés y Escriche, 1988a,b). En limón "Fino" un CI durante 2 semanas a 13°C cada 2 semanas a 2°C, durante 2 meses de almacenamiento controló eficazmente los DF (Artés *et al.*, 1993). En melocotón, 3 ciclos de 8 días a 0°C y 1 día a 20°C, redujeron el “mal radiante”, frente a los testigos conservados 1 mes a 0°C

Publicado en Avances en Ciencias y Técnicas del Frío-1. Editores: A López, A. Esnoz y F. Artés. Edit.: UPCT 8 y SECYTEF. 299-310. 2003.

(Fernández-Trujillo y Artés, 1997). La combinación de un CI de 4 ciclos de 1 día a 20°C cada 6 días a 0°C y envasado en película perforada en melocotón "Miraflores", también redujo la textura algodonosa, el mal radiante y la descomposición interna (Fernández-Trujillo y Artés, 1999). Un CI de 4 ciclos de 6 días a 9°C y 1 día a 20°C, aplicado a tomate convencional "Darío F-150" y de larga duración "Daniela", redujo los DF frente a los testigos a 9°C (Artés y Escriche, 1994; Artés *et al.*, 1998a). Un CI de 1 día a 20°C por semana, durante 7 semanas a 2 °C y 90-95 % HR en naranja "Navelate" tratada con 1g/l de tiabendazol, seguido de 1 semana a 20°C, inhibió totalmente los DF frente al 34,5% en el testigo (Artés *et al.*, 1998b). En la conservación granada "Mollar" un CI de 1 día a 20°C cada 6 días a 2°C durante 3 meses inhibió los DF (Artés *et al.*, 2000b).

Con frecuencia la eficacia del CI depende de la modulación tiempo-temperatura. En "Clementina Fina" un ciclo de 5 h por semana a 20°C durante 2 meses de conservación a 2°C controló los DF (1,5% frente al 9,8% en el testigo y un 10,7% en el ciclo 5 h a 20°C cada 2 semanas). En naranja "Navel", sometida a esas mismas modulaciones durante 3 meses a 1°C, solo la segunda controló la necrosis peripenduncular, mientras en la aparición de picado y membranosis no influyó la modulación (Martínez *et al.*, 1987).

3.3. TRATAMIENTOS GASEOSOS

Numerosos trabajos muestran la eficacia de muy diversas composiciones de la atmósfera en la reducción de DF, y con frecuencia se asocia más al efecto del aumento de CO₂ que a la disminución de O₂. Así, se ha comprobado que algunas AC como aire enriquecido en un 10%, 20% o más CO₂, reducen ciertos DF, además de podredumbres, en cítricos, melocotón, aguacate y pimiento (Artés, 1995c). En la conservación de nectarinas durante 1 mes a 0° C en AC del 20% CO₂ y del 8% o 16% O₂, con independencia del O₂, el elevado nivel de CO₂ fue determinante para los DF y mantener la firmeza (Retamales *et al.*, 1992). Pero conviene tener presente que en la aplicación de las AC y AM se efectúa un mantenimiento de elevada tensión de vapor de agua alrededor de los productos, cuyo efecto beneficioso para evitar los DF puede enmascarar la acción de la atmósfera.

En melón "Charentais" almacenado 12 días a 7°C en AM, concentraciones de CO₂ superiores al 11% inhibieron los efectos nocivos de 120 ppm de C₂H₄ acumulado en el interior de los envases (ablandamiento, color, aroma y sabor anómalos y susceptibilidad a podredumbres), con mejor apariencia y prolongando la supervivencia comercial. Similares resultados se obtuvieron en calabacín conservado 16 días a 10°C, con niveles de CO₂ próximos al 10% (Rodov *et al.*, 1998). Estos mismos autores mostraron que el almacenamiento durante 14 días de pepino a 7°C en AM, redujo DF (picado, ablandamiento y susceptibilidad a podredumbres), aunque no inhibió el amarillamiento de la pulpa.

La aplicación de altas concentraciones de CO₂ durante un corto período de tiempo (pretratamientos o choques de CO₂) o muy reducidas de O₂ (hipoxia severa) antes o durante la conservación frigorífica, suele reducir los DF y retrasar la senescencia en algunos cítricos, frutos de hueso y de pepita, frutos en baya, hortalizas, etc, aunque su aplicación industrial es todavía escasa (Marcellin y Ulrich, 1983; Artés, 1984; Artés y Escriche, 1988a; Kader, 1990). El enriquecimiento periódico del aire (1 día por semana) y breve (1 a 3 días) en CO₂ (20 a 30%), durante la conservación frigorífica disminuyó el pardeamiento interno del aguacate conservado a 4°C, o la membranosis del limón conservado a 2°C, aunque estimuló la adustiosis del limón (Artés *et al.*, 1993).

La ausencia de O₂ frena drásticamente la tasa respiratoria y el metabolismo, ya que es indispensable para la biosíntesis etilénica, no sólo para convertir ACC en etileno, sino también para facilitar el suministro del ATP necesario para la activación inicial de la metionina, además de ser imprescindible como activador del acoplamiento en la acción del etileno (Marcellin y Ulrich, 1983). Como ejemplo, el estrés inicial de O₂ o hipoxia severa (menos del 1% O₂) permite mejorar la firmeza y disminuir los DF durante la posterior conservación de las manzanas en AC (Blanpied, 1982). La razón de este efecto, aunque no es bien conocida, puede relacionarse con que el estrés oxidativo interviene en el desarrollo de DF, como se ha puesto de manifiesto en mandarina (Sala, 1998), en la que la tolerancia a DF parece asociada a la disponibilidad de un sistema antioxidante eficiente.

Se ha estudiado la acción combinada de concentraciones de O₂ inferiores al 0,5% y/o de CO₂ del 40 al 60% como tratamiento de cuarentena hortofrutícola (lo que se denominan atmósferas insecticidas), analizando la tolerancia del insecto y los procesos fisiológicos que inducen en el vegetal (Ke y Kader, 1992; Kader, 2000). Dada la corta duración del tratamiento, los daños son reducidos y las perspectivas de aplicación comercial son favorables, como alternativa al dibromuro de etileno o al bromuro de metilo, recientemente prohibidos por su incidencia en la destrucción de la capa de ozono.

Los recubrimientos céreos, o con aceites vegetales o minerales, o con silicona y los envases plásticos suelen resultar muy efectivos para evitar los DF, al limitar los intercambios gaseosos y retrasar la deshidratación (Wang, 2000), aunque los resultados a veces son difíciles de interpretar, si modifican la atmósfera de conservación. Por ejemplo, una cera a base de resina de polietileno redujo los DF en mandarina 'Ortanique' almacenada 13 semanas a 1°C y 1 semana a 20°C (Salvador *et al.*, 2000). La AM redujo la mancha rosácea en lechuga (asociada a la acción del C₂H₄) y la escaldadura en manzanas y peras (asociada a la emisión volátil y al α -farnaseno). El picado y la escaldadura de los cítricos se llegan a inhibir mediante envolturas plásticas (Ben-Yehoshua *et al.*, 1983; Chun *et al.*, 1988; Artés *et al.*, 1998b) y la

mejor calidad sensorial y los menores DF en "Clementina" se lograron tras 40 días a 4°C en AC del 10-12% O₂ y 0-2,5% CO₂, seguidos de 7 días en aire a 12°C y 85% HR (Artés, 1999b). Un tratamiento en AM del 8% O₂ y 10% CO₂ a 2°C durante 12 semanas, seguida de 6 días a 15°C y 70% HR inhibió los DF en granada "Mollar" (Artés *et al.*, 2000b).

El tomate "Daniela" pintón, tratado con 1 g/l de iprodione, se conservó sin DF hasta 3 semanas a 9°C en bolsas de polipropileno perforadas (aire) o herméticas (10% O₂ y 5% CO₂), incluso después de 3 días complementarios a 20°C y 75-80% HR (Artés, 1999a).

Por otra parte, los melocotones y nectarinas se pueden almacenar sin DF en AC o AM entre 0 y 5°C, sin que su efecto favorable para evitar DF pueda atribuirse a la reducida deshidratación (Luchsinger y Artés, 2000; Luchsinger *et al.*, 2000). De nuevo, la menor susceptibilidad a los DF, y en particular a la textura algodonosa, se vio asociada a una madurez más avanzada al iniciar la conservación, así como a la eficacia de la AM con O₂ inferior al 5% y CO₂ superior al 12% (Fernández-Trujillo y Artés, 1997; Fernández-Trujillo *et al.*, 1998). Un posible efecto favorable de la AM para reducir DF en pimiento parece asociado a una menor biosíntesis de ácido 1-amino ciclo propano 1-carboxílico, ácido abscísico y putrescina (Serrano *et al.* 1997).

La eliminación del C₂H₄ del ambiente de conservación frigorífica convencional o en AC, se ha mostrado efectiva para reducir la escaldadura en manzana (Pratella y Biondi, 1992) y la adustiosis, oleocelosis y picado en pomelo (Artés, 1995c). Una posible explicación de este mismo efecto reductor de los DF en melocotón y nectarina, relaciona la baja temperatura con la inhibición de la emisión de C₂H₄ y la retención de la firmeza del fruto (Luchsinger, 1996).

4. CONCLUSIONES

Para reducir las importantes pérdidas cualitativas y cuantitativas que representan los DF en la postrecolección hortofrutícola se deben intensificar los estudios acerca de la relación entre maduración, composición de la atmósfera y DF, así como el desarrollo de los tratamientos físicos descritos, profundizando en los fundamentos bioquímicos y fisiológicos en que se basa su eficacia. Habrá que investigar igualmente entre las posibles soluciones para restringir los DF en los productos sensibles, la selección genética de especies más tolerantes, la obtención de especies transgénicas mediante transferencia de genes resistentes al frío a especies sensibles, y la aplicación de técnicas de cultivo, recolección y postrecolección apropiadas para facilitar la conservación frigorífica de las cosechas sensibles (Patterson y Reid, 1990; Marcellin, 1992; Kader, 2000; Wang, 2000).

5. BIBLIOGRAFÍA

- Artés, F. 1984. Pretratamientos térmicos y gaseosos en la conservación hortofrutícola. Alim. Equipos Tecnol. Nov-Dicbre. 83-86.
- Artés, F. 1995a. Innovaciones en los tratamientos físicos modulados para preservar la calidad de los productos hortofrutícolas en la postrecolección. I Pretratamientos térmicos. Rev. Esp. Ciencia Tecnol. Alim. 35: 45-64, 35: 139-149 y 35: 247-269.
- Artés, F. 1995b. Innovaciones en los tratamientos físicos modulados para preservar la calidad de los productos hortofrutícolas en la postrecolección. II. Tratamientos térmicos cíclicos. Rev. Esp. Ciencia Tecnol. Alim. 35: 139-149.
- Artés, F. 1995c. Innovaciones en los tratamientos físicos modulados para preservar la calidad de los productos hortofrutícolas en la postrecolección. III Tratamientos gaseosos. Rev. Esp. Ciencia Tecnol. Alim. 35: 247-269.
- Artés, F. 1999b. Nuevas tendencias en la postrecolección del tomate fresco. Alim. Equipos Tecnol. Junio. 5: 143-151.
- Artés, F. 1999a. Innovaciones tecnológicas para mejorar la calidad de la naranja y mandarina en la postrecolección. IV Cong. Citricultura. La Plana. Edit. Promociones LAV. 181-205.
- Artés, F. 2001. Conservación de productos hortofrutícolas en atmósferas controladas y modificadas. VII Curso Superior de Ingeniería y Aplicaciones del Frío en la Conservación de Vegetales. CTC, UPCT, CEBAS-CSIC. 28 pág.
- Artés, F. y Escriche, A.J. 1988a. Nuevas tecnologías de frigoconservación hortofrutícola. En: Maduración y Postrecolección de Frutos y Hortalizas. Edit. SEFV y CSIC. 173-194.
- Artés, F. y Escriche, A. 1988b. Maladies physiologiques des agrumes et nouvelles techniques de réfrigération. Rev. Gén. Froid, 47-51.
- Artés, F. y Escriche A.J. 1994. Intermittent warming reduces chilling injury and decay of tomato fruit. J. Food Sci. 59: 1053-1056.
- Artés, F. y Fernández-Trujillo, J.P. 1999. Recent studies on postharvest behaviour of peaches. Res. Develop. Agric. Food Chem. 3: 471-487.
- Artés, F., Cano, A. y Fernández-Trujillo, J.P. 1996. Pectolytic enzyme activities during intermittent warming storage of peaches. J Food Sci. 61, 2: 311-313.
- Artés, F., Escriche, A. y Marín, J.G. 1993. Treating 'Primofiori' lemons in cold storage with intermittent warming and carbon dioxide. HortScience 28: 819-821.
- Artés, F., Gómez, P.A. y Artés-Hdez., F. 2002. Alteraciones físicas, fisiológicas y microbianas de frutas y hortalizas procesadas en fresco. Alimentaria. En prensa.
- Artés, F., Sánchez, E. y Tijskens, L.M.M. 1998a. Quality and shelf life of tomato improved by intermittent warming. Lebens. Wiss. Technol. 31: 427-431.
- Artés, F., Tudela, J.A., Villaescusa, R. 2000a. Thermal postharvest treatments for improving pomegranate quality and shelf life. Postharvest Biol. Technol. 3: 245-251.
- Artés, F., Tudela, J.A., Villaescusa, R. 2000b. Modified atmosphere packaging of pomegranate. J. Food Sci. 65, 7: 1112-1116.
- Artés, F., Velázquez, P. y Marín, J.G. 1998b. Reduction of decay and chilling injuries in cold stored oranges. En: Non conventional Methods for the Control of Postharvest Disease and Microbial Spoilage. Edit. European Commission. Eds: Bertolini, P., Sijsmons, P.C., Guerzoni, M.E. and Serra, F. 243-248.
- Artés, F., Tudela, J.A., Villaescusa, R., Artés-Hdez., F. y Luchsinger, L. 1999. Efecto del retraso del enfriamiento y de la atmósfera modificada en los niveles de pérdidas postrecolección de duraznos "Catherine". 50 Cong. Soc. Agronómica Chile. Pucón. Temuco. Pág. 705.
- Ben-Yehoshua, S., Shapiro, B., Chen, Z.E. y Lurie, S. 1983. Mode of action of plastic film in extending life of lemon and bell pepper fruits by alleviation of water stress. Plant Physiol. 73: 87-93.
- Blanpied, G.D. 1982. Innovation in prolonging the storage life of apples. XXI th Intern. Hortic. Cong. 2: 248-253.
- Bramlage, W.J. 1982. CI of crops of temperate origin. HortScience 17(2):165-168.
- Publicado en Avances en Ciencias y Técnicas del Frío-I. Editores: A López, A. Esnoz y F. Artés. Edit.: UPCT 12 y SECYTEF. 299-310. 2003.

- Casas, A. y Cuñat, P. 1990. Physiological disorders in citrus fruit peel, produced by cold storage and refrigerated transport. En: Chilled foods. The state of the art. Edit. T.R. Gormley. Elsevier Applied Science. pp. 65-85.
- Chun, D., Miller, W.R. y Risse, L.A. 1988. Grapefruit storage decay and fruit quality after high-temperature prestorage conditioning at high and low humidity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113: 873-876.
- Cuquerella, J., Saucedo, C., Martínez, J.M. y Mateos, M. 1988. Influencia de la temperatura y envolturas plásticas en la conservación de mandarina "Fortune". *Actas III Cong. Soc. Esp. Ciencias Hortícolas.* 2: 410-416.
- Côme, D. y Corbineau, F. 1994. Effets cellulaires et métaboliques du froid sur les produits végétaux. *Institut Intern. Froid. Brest.* 5:17-28.
- Couey, H.M. 1982. Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. *HortScience* 17: 162-165.
- Fernández-Trujillo, J. P. y Artés, F. 1997. Keeping quality of cold stored peaches using intermittent warming. *Food Res. Intern.* 30, 441-450.
- Fernández-Trujillo, J.P. y Artés, F. 1999. Conservación frigorífica de melocotón bajo propileno perforado y calentamiento intermitente. *Rev. Iberoamer. Tecnol. Postcosecha.* 1:12-15.
- Grierson, W., Soule, J. y Kawada, K. 1982. Beneficial aspects of physiological stress. *Horticultural Rev.* 4: 246-271.
- Grierson W. y Wardowski W.F. 1978. Relative humidity effects on the postharvest life of fruits and vegetables. *HorstScience.* 5:22-26.
- Hardenburg, R.E. Watada, A.E. y Wang, C.Y. 1990. The commercial storage of fruits vegetables and florist and nursery stocks. *Agricultural Handbook* 66. Ed. USDA. Washington. 130 p.
- Jackman, R.L., Yada, R.Y., Marangoni, A., Parkin, K.L. y Stanley, D.W. 1988. Chilling injury. A review of quality aspects. *J. Food Quality.* 11: 253-278.
- Kader, A.A. 1990. Modified atmospheres during transport and storage of fresh fruits and vegetables. *I Intern. Cong. Food Technol. Develop. Murcia.* 1: 149-163.
- Kader, A.A. 2000. Recent advances and future research needs in postharvest technology of fruits. En: *Improving Postharvest Technologies for Fruits, Vegetables and Ornamentals.* Edit. Intern. Institute of Refrigeration. Eds: F. Artés, M.I. Gil y M.A. Conesa. I: 17-24.
- Ke, D. y Kader, A.A. 1992. External and internal factors influence fruit tolerance to low-oxygen atmospheres. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 913-918.
- Klein, J.D. y Lurie, S. 1992. Heat treatments for improved postharvest quality of horticultural crops. *Hort. Technology.* 2: 316-320.
- Laamin, M., Lapsker, Z., Fallik, E., Oubaou, A.A. y Lurie, S. 1998. Treatments to reduce chilling injury in harvested cucumbers. *Adv Hort. Sci.* 4: 175-178.
- Lance, C. y Moreau, F. Les effets métaboliques du froid. En: *Les végétaux et le froid.* Ed. D. Côme. Edit. Hermann. 2, 27-50.1992.
- Luchsinger, L. 1996. Quantification of peach fruit maturity, chilling injury and changes in cell wall composition during storage. Ph.D. Tesis. Univ. of Maryland. USA. 135 pág.
- Luchsinger, L. y Artés, F. 2000. Alleviating chilling injuries in stone fruit. En: *Improving Postharvest Technologies for Fruits, Vegetables and Ornamentals.* Edit. Intern. Institute of Refrigeration. Eds: F. Artés, M.I. Gil y M.A. Conesa. II: 474-479.
- Lurie, S., Ronen, R. y Aloni, B. 1995. Grow regulator induced alleviation of chilling injury in green and red bell pepper fruit during storage. *HortScience* 30:3, 558-559.
- Martínez-Téllez, M.A. y Lafuente, M.T. 1993. Chilling-induced changes in phenylalanine ammonia-lyase, peroxidase, and polyphenol oxidase activities in citrus flavedo tissue. *Acta Horticulturae,* 343: 257-263.
- Marcellin, P. 1992. Les maladies physiologiques du froid. En: *Les végétaux et le froid.* Ed. D. Côme. Edit. Hermann. París. 53-105.
- Marcellin, P. y Ulrich, R. 1983. Comportement des fruits et légumes en conditions modulées et programées. *Int. J. Refrigeration.* 6: 329-336.
- Martínez, J.M., Mateos, M., Cuquerella, J. y Navarro, P. 1987. Improving storage life of citrus fruits by temperature management. *XVIIth Int. Cong. Refrigeration.* 3: 321-326.

- Martínez, J.M., Cuquerella, J., Del Río, M.A. y Navarro, P. 1994. High temperature conditioning of 'Fortune' mandarine to reduce chilling injury during low temperature storage. En: Contribution du froid à la préservation de la qualité des fruits, légumes et produits halieutiques. Ed: A. Lahmam Bennani et D. Messaho. Edit. Actes. Rabat. Chap. 8. 87-92.
- Mazliak, P. 1992. Les effets du froid sur les biomembranes. En: Les végétaux et le froid. Ed. D. Côme. Edit. Hermann. Chap. 1:3-26.
- Mc Donald, R.E., Mc Collum, T.G. y Nordby, H.E. 1993. Temperature conditioning and surface treatments of grapefruit affect expression of chilling injury and gas diffusion. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118: 490-496.
- Meir, S., Philosoph-Hadas, S., Lurie, S., Droby, S., Akerman, M., Zauberman, G., Shapiro, B., Cohen, E. y Fuchs, Y. 1996. Reduction of chilling injury in stored avocado, grapefruit, and bell pepper by methyl jasmonate. *Canadian J Botany.* 74: 6, 870-874.
- Meir, S., Philosoph-Hadas, S., Porat, R., Davidson, H., Salim, S., Cohen, I., Weiss, W. y Droby, S. 2000. Methyl jasmonate induces resistance against postharvest pathogens of cut rose flowers and citrus fruits. *Postharvest 2000. Abstracts.* Jerusalem. March. Pág 8.
- Mercado-Silva, E. y Cantwell, M. 1998. Quality changes in Jicama roots stored at chilling and nonchilling temperatures. *J. Food Qual.* 3: 211-221.
- Nordby, H.E. y Mc Donald, R.E. 1991. Relationship of epicuticular wax composition of grapefruit to chilling. *J. Agric. Food. Chem.* 39: 957-962.
- Patterson, B.D. y Reid, M.S. 1990. Genetic and environmental influences on the expression of chilling injury. En: *Chilling injury of horticultural crops.* Ed. C.Y. Wang. Edit. CR Press. 87-112.
- Pratella, G.C. y Biondi, G. 1992. Nuevas adquisiciones en la prevención de las enfermedades de la postrecolección de la fruta. *Frutic.* 1:6-23.
- Rodov, V., Copel, A., Aharoni, N., Nir, M., Shapira, A. y Gur, G. 1998. Modified atmosphere packaging of cucurbit vegetables. *COST Meeting.* Madrid. Octubre.
- Rodov, V., Ben-Yehoshua, S., Albagli, R. y Fang, D.Q. 1995. Reducing chilling injury and decay of stored citrus fruit by hot water dips. *Postharvest Biol. Technol.* 5: 119-127.
- Retamales, J., Cooper, T., Streif, J. y Kania, J.C. 1992. Preventing cold storage disorders in nectarines. *J. Hortic. Sci.* 67: 619-626
- Sala, J.M. 1998. Involvement of oxidative stress in chilling injury in cold stored mandarin fruits. *Postharvest Biol. Technol.* 3: 255-261.
- Salvador, A., Cuquerella, J. y Navarro, P. 2000. Susceptibility of 'Ortanique' citrus fruit harvested in Valencia to chilling injury during cold storage. En: *Improving Postharvest Technologies for Fruits, Vegetables and Ornamentals.* Edit. Intern. Institute of Refrigeration. Eds: F. Artés, M.I. Gil y M.A. Conesa. II: 498-505.
- Serrano, M., Martínez-Madrid, M.C., Pretel, M.T., Riquelme, F. y Romojaro, F. 1997. Modified atmosphere packaging minimizes increases in putrescine and abscisic acid levels caused by chilling injury in pepper fruit. *J. Agric. Food Chem.* 5: 1668-1672.
- Vázquez, D.E., Martínez-Jávega, J.M. y Monterde, A. 1998. Ethylene, phenylalanine ammoniolyase and electrolyte leakage on lemons or mandarins as affected by chilling stress. *COST915 Conference.* Madrid, Spain. October.
- Wang, C.Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. *HortScience* 17: 173-186.
- Wang, C.Y. 1991. Reduction of chilling injury in fruits and vegetables. *Postharvest News Inform.* 3: 165-168.
- Wang, C.Y. 2000. Postharvest techniques for reducing low temperature injury in chilling-sensitive commodities. En: *Improving Postharvest Technologies for Fruits, Vegetables and Ornamentals.* Edit. Intern. Institute of Refrigeration. Eds: F. Artés, M.I. Gil y M.A. Conesa. II: 467-473.
- Watada, A.E. 1982. CI of horticultural crops: Introduction. *HortScience* 17(2):160.