

(043) 1998 SOR

1600196780X



24 JUL. 1998

E: 3606 S:



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agrària de Lleida

*EL ESCALDADO SUPERFICIAL EN MANZANA
GRANNY SMITH. FISILOGIA DE LA ALTERACIÓN
Y ESTUDIO DE MÉTODOS DE CONTROL
ALTERNATIVOS A LA DIFENILAMINA.*

V.P.
LA DIRECTORA

LA AUTORA



Tesis Doctoral
Yolanda Soria Villalonga
Julio 1998

Universitat de Lleida

1805-4936

0147-41860

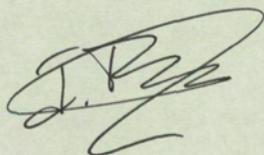
**EL ESCALDADO SUPERFICIAL EN MANZANA GRANNY SMITH.
FISIOLOGIA DE LA ALTERACION Y ESTUDIO DE
METODOS DE CONTROL ALTERNATIVOS A LA DIFENILAMINA**

Memoria de Tesis Doctoral presentada por Yolanda Soria Villalonga,
Ingeniero Agrónomo, para optar al grado de Doctor

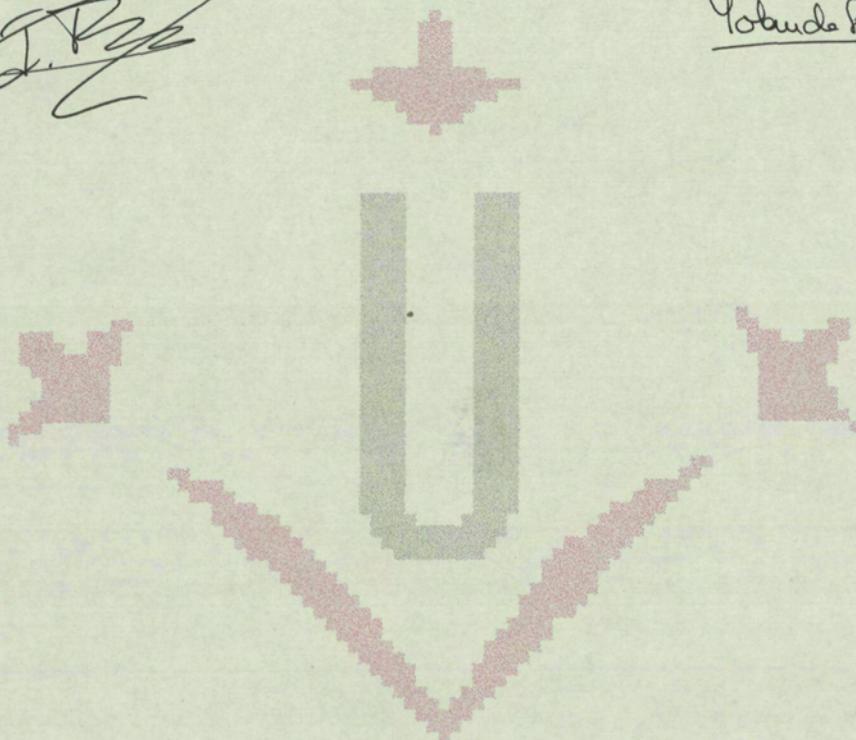
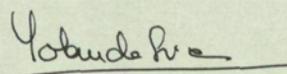
El presente trabajo ha sido realizado en la Unidad de Fisiología Vegetal, del
Departamento de Hortofructicultura, Botànica i Jardineria de la UdL, y en
el Area de Postcollita del Centro UdL-IRTA, bajo la direcció de la Dra.
Inmaculada Recasens Guinjuan, Profesora Titular de la Universitat de Lleida

Lleida, 23 de julio de 1998

Vº Bº
LA DIRECTORA



LA AUTORA



Universitat de Lleida

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de los Programas de Investigación CICYT (Nº ALI91-1122-CO3-02) y EC ECLAIR Programme (Nº AGREE OO15) y se ha realizado con el apoyo financiero de una beca FPI concedida por la CIRIT, bajo la Dirección de la Dra. Inmaculada Recasens Guinjuan, profesora Titular de la Universitat de Lleida, a la que agradezco la valiosa aportación de sus conocimientos y su apoyo en cualquier momento, para poder llevarla a término.

Gracias también al “Department of Agricultural Botany”, de la Universidad de Reading (Reino Unido), y en especial a la Dra. Anne-Dominique Bauchot y al Dr. Philip John, así como al Sr. Godfrey Curtis de la empresa “Surface Systems International” por su colaboración en el diseño de los ensayos y en la discusión de los resultados.

Asimismo, manifiesto mi agradecimiento a todas aquellas personas que de alguna manera han colaborado en la realización de este trabajo, en especial a los miembros del Area de Postcollita, del Centro UdL-IRTA y del Departament de Hortofructicultura, Botànica i Jardineria, de la Universitat de Lleida.

Mi gratitud también hacia las instituciones que han facilitado sus instalaciones y equipos poder realizar la parte experimental: laboratorio de Fisiología Vegetal, de la E.T.S.E.A (UdL), laboratorio de Fisiología, del Centro UdL-IRTA, Servei de Reproducció d’Imatge de la UdL, Departamento de Química (UdL), y las cámaras frigoríficas de LA SEO, UNFESA y PINYANA, de Lleida.

Finalmente quiero dar las gracias a mi querida familia por confiar en mi y darme ánimos para seguir adelante y les dedico, especialmente a mi padres y a mi marido Paco, esta Tesis Doctoral, por el tiempo que empleado en su elaboración, no he podido dedicar a ellos.

RESUMEN

El escaldado superficial es una alteración fisiológica que se manifiesta en manzanas y peras después de un periodo de frigoconservación, durante la comercialización de los frutos. Los síntomas se caracterizan por manchas irregulares en la piel de color marrón más o menos oscuro. Pese a no afectar al sabor ni a la textura, esta alteración causa importantes pérdidas económicas, ya que en el mercado europeo no se admiten frutos con síntomas de escaldado para el consumo en fresco. La variedad de manzanas Granny Smith es especialmente sensible, pudiendo llegar a alcanzar incidencias del orden del 100%, tras varios meses de frigoconservación.

Para un control efectivo del escaldado superficial es importante conocer el origen bioquímico de la alteración, el cual todavía no ha sido determinado completamente. Se cree que está relacionado con la oxidación del α -fanaserno, compuesto volátil de la cutícula de los frutos. Los productos de esta oxidación, comúnmente conocidos como trieno conjugados, podrían alterar las células epidérmicas causando su desorganización y muerte, y por tanto la alteración en el color de la piel.

Hasta la fecha, el escaldado superficial se ha controlado mediante tratamientos poscosecha con difenilamina o con etoxiquina, siendo ambos antioxidantes muy efectivos para evitar su desarrollo. Sin embargo, existe una preocupación creciente por el nivel de residuos tóxicos en los frutos, que ha obligado a buscar nuevos métodos de control. Desde hace unos años se están ensayando otros compuestos menos polémicos, tanto a nivel de legislación como a nivel de consumidor. Así, los recubrimientos a base de ésteres de sacarosa, formulados únicamente con ingredientes permitidos en los alimentos, o los antioxidantes asimismo de uso alimentario, tienen una mayor aceptación. Los métodos físicos, consistentes en la modificación de la concentración gaseosa durante la conservación, también son bien considerados y además están consiguiendo resultados muy satisfactorios.

El objetivo del presente estudio ha sido ensayar diversos tratamientos, alternativos a la utilización de difenilamina, para el control del escaldado superficial. Asimismo se evaluó el efecto de los tratamientos a nivel fisiológico y cualitativo, para intentar determinar su mecanismo de acción sobre la alteración.

Los ensayos se llevaron a cabo con manzanas Granny Smith (*Malus domestica* Borkh.) recolectadas en Lleida, en campos comerciales. En un estudio de cuatro años, correspondiente a cuatro campañas frutícolas, se ensayaron diversos métodos de control para el escaldado, concretamente tratamientos poscosecha durante las dos primeras, y conservación en atmósferas controladas durante las dos últimas. Las manzanas se trataron mediante baños poscosecha con disoluciones acuosas de difenilamina (DPA); de "Semperfresh" (recubrimiento sucroéster) aplicado solo o junto con butilhidroxitolueno, palmitato de ascorbiloy/o galato de propilo o α -tocoferol; y de CaCl_2 . Los baños se realizaron inmediatamente después de la cosecha o a las 6 semanas de permanecer los frutos en la cámara frigorífica de atmósfera normal, para evaluar el efecto del momento de aplicación sobre la eficacia del tratamiento. Los frutos control no se bañaron. En las dos últimas campañas los frutos se recolectaron en dos

fechas distintas, para evaluar el efecto del estado de madurez en el momento de la recolección sobre la incidencia de alteración. Tras cada cosecha, los frutos se conservaron en cámaras de atmósfera controlada (AC) con distintas condiciones gaseosas: AC estándar, AC con bajo oxígeno (LO) y AC con muy bajo oxígeno (ULO). Como control los frutos se conservaron en atmósfera normal. En la cuarta campaña se ensayó la conservación en atmósfera normal, en AC estándar, o en LO, con y sin tratamiento previo de DPA.

Las determinaciones analíticas se realizaron después de cada cosecha y después de varios meses de conservación, durante los 10 días siguientes a la salida de la cámara, considerándose este intervalo de tiempo a 20 °C el periodo de vida útil del fruto. En las tres primeras campañas se realizaron las siguientes evaluaciones fisiológicas: producción de etileno, contenido de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), actividad de la enzima ACC oxidasa y producción de CO₂ (para la medida de la respiración de los frutos). Como parámetros cualitativos se determinaron el peso, la firmeza, la acidez y el contenido en sólidos solubles. La incidencia de escaldado se evaluó visualmente y se determinó un índice de escaldado en base al porcentaje de superficie de fruto afectada. En las dos últimas campañas se evaluó también el contenido en la piel del frutos de α -farneseno y de compuestos trieno conjugados (CTH). Adicionalmente, en este trabajo se han considerado los resultados obtenidos en el "Department of Agricultural Botany" de la Universidad de Reading (Reino Unido), donde se realizaron ensayos paralelos a los de Lleida, y fruto de ambos se elaboraron dos publicaciones que se presentan en esta Tesis en el apartado correspondiente a los resultados.

El mecanismo de acción de los diversos tratamientos sobre el metabolismo del etileno fue distinto. El recubrimiento con Semperfresh creó una atmósfera interna en el fruto con un elevado nivel de CO₂ que redujo la producción de etileno, reduciendo el contenido de ACC. La adición al recubrimiento de palmitato de ascorbilo bajó el nivel de O₂ interno, lo cual pudo afectar a la actividad de la enzima ACC oxidasa. La concentración gaseosa mantenida en las cámaras de AC también afectó a la síntesis de etileno, inhibiéndola. Los baños poscosecha con CaCl₂ disminuyeron la producción de etileno pero sin afectar al contenido de ACC ni a la actividad de la ACC oxidasa. El tratamiento con DPA, en cambio, no redujo la producción de etileno después de 4 y 6 meses de frigoconservación, detectándose niveles semejantes a los del control.

Los tratamientos que retrasaron el proceso de maduración, al inhibir la producción de etileno, retrasaron también el descenso de los parámetros de calidad durante la conservación en frío, especialmente la firmeza y la acidez. Los frutos recubiertos con Semperfresh presentaron mejores índices de calidad, respecto a los parámetros estudiados, que los tratados con DPA o los frutos control. Asimismo, los frutos conservados en AC estándar o con bajo O₂ mantuvieron valores de firmeza, acidez y sólidos solubles superiores a los alcanzados en atmósfera normal.

El tratamiento con DPA evitó o redujo el desarrollo del escaldado superficial, confirmándose su eficacia en el control de esta alteración. El recubrimiento con Semperfresh aplicado solo o junto con un antioxidante de uso alimentario no evitó el desarrollo de escaldado, en las condiciones del presente estudio. Solamente la aplicación de Semperfresh más palmitato de ascorbilo, y también Semperfresh más palmitato de ascorbilo y galato de propilo, ejercieron un limitado control. El tratamiento con CaCl₂ fue el más efectivo de los baños poscosecha, exceptuando el DPA. En general, la aplicación de los tratamientos a las 6 semanas de la

frigoconservación fue menos eficaz que la aplicación realizada inmediatamente después de la cosecha. Adicionalmente, la interrupción de la frigoconservación para aplicar el tratamiento, modificó los parámetros de calidad de los frutos, reduciendo la firmeza, la acidez y el contenido en sólidos solubles.

La conservación en AC, especialmente con baja concentración de O₂, redujo la incidencia de escaldado, a niveles equiparables a los obtenidos con DPA. La menor incidencia de la alteración tuvo una alta correlación positiva con el contenido de CTH determinados al principio del periodo de frigoconservación y una alta correlación negativa con los valores de firmeza y acidez, determinados al final de dicho periodo.

La susceptibilidad al escaldado superficial varió en función de la fecha de cosecha. Todos los tratamientos ensayados, incluido el DPA, perdieron eficacia en frutos de cosechas tempranas. El comportamiento de esta alteración y la manifestación de sus síntomas es típico de la enfermedad del frío (más conocida como “chilling injury”). La mayor susceptibilidad de los frutos en estado prematuro, nos ha llevado a considerar que las manzanas de la variedad Granny Smith son sensibles al frío en función de su edad fisiológica, de manera que como menos avanzado sea su estado de madurez, mayor es la sensibilidad al frío.

Palabras clave: *Malus domestica*, manzanas, Granny Smith, escaldado superficial, fisiología poscosecha, etileno, calidad, difenilamina, antioxidantes de uso alimentario, recubrimientos, calcio, frigoconservación, atmósfera controlada, α -farnaseno, compuestos trieno conjugados.

ABREVIATURAS PRINCIPALES

AC : Atmósfera Controlada
ACC : Acido 1-aminociclopropano-1-carboxílico
BHA : Butilhidroxianisol
BHT : Butilhidroxitolueno
CA : Controlled atmosphere (atmósfera controlada)
CTH : Conjugated triene hydroperoxides (hidroperóxidos trieno conjugados)
CT258 : abreviación empleada para definir los CTH determinados a $\lambda = 258$ nm
CT281 : abreviación empleada para definir los CTH determinados a $\lambda = 281$ nm
DO : Densidad Optica
DPA : Difenilamina
ILOS : Initial Low-Oxygen Stress (estrés inicial por muy bajo oxígeno)
LO : Low Oxygen (bajo oxígeno)
NCF : Nu Coat Flo (nombre comercial)
PC : Principal Component (componente principal)
PC1 : First Principal Component (primer componente principal)
PC2 : Second Principal Component (segundo componente principal)
PCA : Principal Component Analysis (análisis por componentes principales)
PLS : Partial Least Square (mínimos cuadrados parciales)
PPO : Polyphenoloxidase (polifenoloxidasas)
SF : Semperfresh (nombre comercial)
SPE : Sucrose polyester (poliésteres de sacarosa)
SS : Sólidos Solubles
SSC : Soluble Solids Content (contenido en sólidos solubles)
ULO : Ultra Low Oxygen (muy bajo oxígeno)
X· o R· : Radical libre

INTRODUCCION

La provincia de Lleida se distingue por ser una importante zona frutícola, donde se concentra el 44,1% de la producción total española de manzanas y el 52,3% de la producción total de peras. Las producciones absolutas son igualmente muy elevadas, del orden de 300.000 toneladas o más de manzanas y una cantidad similar de peras, por año. Esta concentración de la producción ha sido posible en parte gracias a la existencia de una amplia red de instalaciones frigoríficas, que permiten la conservación y la comercialización escalonada, de forma que prácticamente se enlaza una campaña frutícola con la siguiente. En 1996 estaban censadas en Lleida 348 instalaciones frigoríficas, con una capacidad de aproximadamente 2.400.000 m³ (García de Otazo, 1996a).

A pesar de esta gran capacidad frigorífica, las elevadas producciones son a menudo excedentarias y difíciles de comercializar. Ello, unido a la globalización de los mercados, obliga mejorar la calidad frente a la cantidad, lo cual también queda reflejado en la reforma de la Organización Común de Mercados de frutas y hortalizas. Los criterios de valoración de la calidad son bastante aleatorios y difíciles de establecer, existiendo diferentes puntos de vista entre las diversas figuras implicadas en el proceso de producción y comercialización, además de los intereses de los consumidores, que cada vez son más exigentes. En general, aspectos como tamaño, color, forma, textura, contenido de ácidos y azúcares, sabor, aroma, presentación, etc, juegan un papel fundamental en la calidad de los frutos y en su aceptación comercial (Smith, 1995).

Otro parámetro muy importante relacionado con la calidad es la ausencia de alteraciones fisiológicas. Estas alteraciones, que pueden aparecer antes, durante o después del periodo de frigoconservación, constituyen un problema de gran interés tanto económico, por las pérdidas que se derivan de ellas, como científico, por los escasos conocimientos que se tienen de su origen y de los mecanismos bioquímicos que las controlan. Las pérdidas por fisiopatías se cifran entre un 2% y un 3% de la producción total conservada, constituyendo un capítulo incluso más importante que las pérdidas provocadas por podredumbres, que se estiman entre un 0,25% y un 2% (García de Otazo, 1996a). De entre todas las alteraciones fisiológicas, la que se considera más importante es el escaldado superficial (García de Otazo, 1996a). El escaldado superficial es una alteración fisiológica de la epidermis de las manzanas y peras, que se manifiesta después de un periodo de frigoconservación. A pesar de no afectar el sabor ni la textura del fruto, el escaldado reduce notablemente su valor comercial, ya que el mercado europeo no admite frutos con síntomas de escaldado para el consumo en fresco, por pequeña que sea la superficie afectada (Dodd et al., 1993).

Actualmente, para prevenir el escaldado, los frutos se suelen tratar con productos antioxidantes, como la difenilamina y la etoxiquina, que pueden tener un cierto grado de toxicidad para el consumidor. La ingestión continuada de restos de plaguicidas presentes en los productos vegetales en el momento del consumo, representa un motivo de gran preocupación por parte de los organismos responsables de autorizar la comercialización de los productos fitosanitarios (García de Otazo, 1996b). Paralelamente, la ausencia de residuos es un valor añadido cada día más apreciado a nivel comercial. Por ello la tendencia

actual es la de reducir los tratamientos químicos, sustituyéndolos por compuestos de origen natural, de mayor aceptación, o bien actuar directamente sobre la fisiología del fruto mediante tratamientos físicos.

En los últimos años se ha observado en Lleida un notable incremento de cámaras frigoríficas con atmósfera controlada, que actualmente ya representa el 64,10% del total de capacidad de frío en la provincia. Recientemente, además, existe una tendencia progresiva en esta provincia hacia la implantación de nuevas técnicas de conservación en bajo oxígeno, conocidas como Low Oxygen (LO) y Ultra Low Oxygen (ULO), de las que en 1996 se cifraba un total de 96500 m³ (García de Otazo, 1996a).

La modificación de la atmósfera que rodea el fruto, aumentando la proporción de dióxido de carbono y reduciendo la de oxígeno en las cámaras frigoríficas, o también mediante la aplicación sobre el fruto de recubrimientos diferencialmente permeables a los gases, puede mejorar los resultados de la conservación frigorífica. Los efectos fisiológicos provocados por la combinación de una baja concentración de O₂, alta concentración de CO₂, junto con la baja temperatura, son básicamente disminuir la intensidad respiratoria y la producción de etileno por parte del fruto. En consecuencia, se retrasan numerosos procesos metabólicos relacionados con la maduración y senescencia, y parámetros de calidad como la firmeza, el color, la acidez y el contenido en sólidos solubles se mantienen durante más tiempo. Asimismo se interviene, directa o indirectamente, sobre podredumbres y fisiopatías, aumentando la resistencia a ciertas alteraciones como los daños por frío y el escaldado superficial.

Para el asegurar la calidad final del producto, además del sistema de conservación, es conveniente considerar los factores precosecha que influyen en la evolución del fruto después de su recolección. Concretamente, el desarrollo del escaldado superficial está muy afectado por factores precosecha como las condiciones climáticas previas a la cosecha y el estado de madurez en el momento de la recolección, entre otros. El conocimiento de estos factores puede ayudar a prevenir la alteración, y junto con el desarrollo de métodos de conservación adecuados, se dará un paso más hacia el control del escaldado y por tanto hacia la mejora de la calidad de determinadas variedades de manzana muy sensibles a esta alteración.

A continuación se presenta una revisión bibliográfica del escaldado superficial, donde se incluyen las teorías existentes actualmente sobre su origen bioquímico, los factores fisiológicos, ambientales y de poscosecha que influyen en su desarrollo, así como los métodos de control que se han utilizado a lo largo del tiempo para combatir esta alteración. Complementando esta revisión, se describen los métodos de control del escaldado que se han ensayado en la presente Tesis Doctoral, que son la aplicación de antioxidantes de uso alimentario junto con recubrimientos semipermeables y la conservación en atmósfera controlada con bajo nivel de oxígeno, propuestos como alternativa a los métodos que se utilizan habitualmente a nivel comercial, sobre todo la aplicación de difenilamina. Se desarrollan aspectos como el mecanismo de acción y los efectos fisiológicos y cualitativos de estos tratamientos sobre el fruto.

Referencias bibliográficas

DODD, M.C., HURNDALL, R.F., LOTZ, E., COMBRINK, J.C. 1993. Thermofogging apples with DPA. Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal, Vol.4. Nº 2. 21-23.

GARCIA DE OTAZO, J. 1996a. Las mermas de post-cosecha de peras y manzanas. Soluciones avanzadas. Fruticultura profesional, 82:36-37.

GARCIA DE OTAZO, J. 1996b. Problemática de los residuos. Futuro de la lucha postcosecha. Fruticultura profesional, 83:119-126.

SMITH, N.J.S. 1995. Recognizing and achieving commercial quality in fresh produce. Postharvest News and Information, 6:28N-31N.

INDICE

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

ABREVIATURAS PRINCIPALES

INTRODUCCIÓN

PARTE I: ANTECEDENTES

El escaldado superficial de la manzana2
Y. SORIA, I. RECASENS

Diversos métodos de control del escaldado superficial alternativos a la aplicación de difenilamina 19
Los productos antioxidantes
Los recubrimientos semipermeables de sucroésteres
La conservación en atmósfera controlada

PARTE II: RESULTADOS

Sucrose ester-based coatings formulated with food-compatible antioxidants in the prevention of superficial scald in stored apples50
A.D. BAUCHOT, P. JOHN, Y. SORIA, I. RECASENS

Multivariate analysis of superficial scald susceptibility on Granny Smith apples dipped with different postharvest treatments 57
Y. SORIA, I. RECASENS, F. GATIUS, J. PUY

Cambios fisiológicos y cualitativos provocados por tratamientos alternativos a la difenilamina aplicados para el control del escaldado superficial en manzanas Granny Smith 71
Y. SORIA, I. RECASENS

Carbon dioxide, oxygen, and ethylene changes in relation to the development of scald in Granny Smith apples after cold storage 102
A.D. BAUCHOT, P. JOHN, Y. SORIA, I. RECASENS

Efecto de la frigoconservación en atmósferas bajas en oxígeno sobre el metabolismo y la calidad de manzanas Granny Smith Y. SORIA, I. RECASENS	108
--	-----

Relationship between α-farnesene, conjugated trienes and scald development on Granny Smith apples stored in air or in controlled atmosphere conditions Y. SORIA, I. RECASENS	127
--	-----

PARTE III: CONCLUSIONES

Discusión general previa a las conclusiones	148
Conclusiones finales	162

I

ANTECEDENTES

EL ESCALDADO SUPERFICIAL DE LA MANZANA

Y. SORIA , I. RECASENS

Area de Postcollita. CeRTA. Centro UdL-IRTA. Universitat de Lleida, Av. Rovira Roure,
177, 25198 Lleida, España.

Publicado en:

Información Técnica Económica Agraria (ITEA), Vol. 93V N°1, 1997

EL ESCALDADO SUPERFICIAL DE LA MANZANA

Y. Soria
I. Recasens

Área de Postcollita. CeRTA.
Centro UdL-IRTA. Lleida
Av. Alcalde Rovira Roure, 177
25198 Lleida. España

RESUMEN

El escaldado superficial es una alteración fisiológica que se manifiesta en la epidermis de los frutos y que puede originar elevadas pérdidas económicas. El conocimiento del origen del escaldado así como de los factores que predisponen al mismo constituyen una importante ayuda para su control. En el presente trabajo se realiza una amplia revisión bibliográfica en la que se incluye el origen bioquímico del escaldado, los factores fisiológicos, ambientales y de almacenamiento que influyen en la alteración y diversos métodos de control, desde los más ampliamente utilizados, como son los antioxidantes difenilamina y etoxiquina, hasta los más novedosos, consistentes en las atmósferas controladas con bajo oxígeno. Aunque los tratamientos químicos no pueden ser de momento totalmente eliminados, la preocupación cada vez mayor por los residuos así como los buenos resultados obtenidos con métodos físicos parecen indicar que el control del escaldado superficial en un futuro próximo se llevará a cabo únicamente con dichos métodos.

Palabras clave: Escaldado superficial, α -farnaseno, Hidroperóxidos trieno conjugados, Antioxidantes, Atmósferas controladas.

SUMMARY

SUPERFICIAL SCALD IN APPLES

Superficial scald is a physiological disorder that appears on the skin (epidermis) of fruits and can originate substantial economic loss. Understanding the etiology of scald and the factors that predispose fruits to it will help to control scald. This paper reviews scald biochemistry, influential factors, including physiological, preharvest and storage factors, and control methods, from those more widely used –like diphenylamine and ethoxiquin antioxidants– to the more recent ones – like low oxygen controlled atmosphere storage. At present, agricultural chemicals cannot be totally eliminated in scald control, but the increase of residues problem and the good results obtained with non-chemical treatments suggest that non-chemical control may be essential in the future.

Key words: Superficial scald, α -farnesene, Conjugated triene hydroperoxides, Antioxidants, Controlled atmosphere storage.

Introducción

El escaldado superficial es una alteración fisiológica de la epidermis de las manzanas y peras que se manifiesta después de su conservación frigorífica. Esta alteración también se conoce con los nombres de escaldadura, scald, escaldado común o simplemente escaldado y se considera como la verdadera escaldadura frente a otras similares como son el escaldado blando, el de senescencia, la escaldadura solar, la escaldadura por dióxido de carbono y el escaldado lenticelar.

Los síntomas del escaldado superficial se manifiestan por la aparición de manchas pardas de bordes difusos y de color más o menos intenso que afectan la epidermis del fruto sin dañar a la pulpa, en porcentaje variable según la gravedad de la incidencia. Sin embargo, en determinadas circunstancias el pardeamiento se acentúa muy rápidamente, incluso puede volverse granuloso, hundiéndose un poco las partes más afectadas. Así, en variedades sensibles el pardeamiento puede alcanzar las capas celulares subyacentes si los frutos se mantienen durante algún tiempo a temperatura ambiente después de la conservación frigorífica, sobre todo para las salidas tardías y también en el caso de recolecciones prematuras.

A pesar de no afectar el sabor ni la textura del fruto, el escaldado reduce su valor comercial causando daños variables que pueden llegar a ser muy elevados. En algunas zonas está considerada como una fisiopatía muy grave que en casos concretos ha llegado a provocar un desastroso nivel de pérdidas de hasta el 50 % de la fruta almacenada en cámaras frigoríficas.

Origen bioquímico y desarrollo del escaldado

La causa bioquímica del escaldado es compleja y no del todo conocida. A principios de siglo (1919) Brooks y colaboradores propusieron que la acumulación en la piel de sustancias volátiles generadas por la manzana provocaba el escaldado superficial en los frutos almacenados. Años más tarde se identificó el α -farnaseno como el compuesto volátil inductor del escaldado en la piel del fruto (MURRAY *et al.*, 1964; HUELIN, MURRAY, 1966). Este compuesto es un sesquiterpeno biosintetizado a partir del farnesil pirofosfato vía farnesol. En 1968, Huelin y Coggiola comprobaron que no era el α -farnaseno sino su oxidación a hidroperóxidos trieno conjugados (Conjugated Triene Hydroperoxides ó CTH) lo que estaba relacionado con el desarrollo del escaldado. Estos compuestos alteran las células epidérmicas causando su desorganización y muerte, y por tanto la decoloración de la piel.

A partir de entonces se desarrollaron numerosos estudios *in vitro* de la oxidación del α -farnaseno en hexano. Anet (1969) separó dos CTH de α -farnaseno peroxidado *in vitro* presentando ambos máximos de absorción a 251, 260, 269 y 281 nm. HUELIN y COGGIOLA (1970a) y MEIR y BRAMLAGE (1988) observaron similares máximos de absorción (a valores de 258, 269 y 281 nm) a partir de extractos de hexano de superficies de frutos escaldados. Se supuso que estos máximos representaban los CTH en la epidermis. Dados los altos valores de absorbancia de fondo a 260 nm y con el fin de evitar enmascaramientos de CTH, ANET (1972) propuso medir únicamente a 281 nm. Además, debido a las interferencias a esta última longitud de onda, propuso determinar la absorbancia a 290 nm. Desde ese momento, el valor de la densidad óptica a

281 nm menos la densidad óptica a 290nm ($DO_{281-290}$) ha sido utilizado repetidamente para calcular la concentración de los hidroperóxidos trieno conjugados en la piel de los frutos.

Las correlaciones entre $DO_{281-290}$ y la incidencia de escaldado constituyen la base de la generalizada hipótesis según la cual el α -farnaseno se peroxida a CTH, lo cual conduce a la destrucción celular y a la manifestación de la fisiopatía. Recientemente han sido identificados los compuestos trieno conjugados los cuales han sido extraídos de la capa cerosa de las manzanas y separados por Cromatografía gaseosa- Espectrometría de masas (GC-MS) y Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) de fase normal y reversa (ROWAN *et al.*, 1995).

En 1988, MEIR y BRAMLAGE detectaron algunas incongruencias en coeficientes de correlación entre las absorbancias $DO_{281-290}$, $DO_{269-290}$ y $DO_{258-290}$ y la incidencia de escaldado. Sabiendo además que la oxidación del α -farnaseno en vivo puede dar lugar a una mezcla de hidroperóxidos compleja y variable según las condiciones de oxidación, DU y BRAMLAGE (1993) han modificado la hipótesis del papel de los CTH en el desarrollo de escaldado superficial. Estos autores han visto que concentraciones de CTH de extractos de hexano de la piel de los frutos, medidas a $DO_{281-290}$ (que denominan CT_{281}) no siempre se corresponden con concentraciones medidas a $DO_{258-290}$ (CT_{258}) y proponen que estas mediciones representan distintos grupos o especies de compuestos trieno conjugados, estando los compuestos CT_{269} influenciados por ambos grupos. Mientras que las concentraciones de CT_{281} están correlacionadas positivamente con el desarrollo del escaldado (HUELIN, COGGIOLA, 1970a, 1970b; MEIR, BRAMLAGE, 1988), las de CT_{258} se correlacionan de forma negativa. Si estas concentraciones se

representan con el ratio CT_{258}/CT_{281} , en general, altos y bajos ratios están asociados de forma negativa o positiva respectivamente, con la incidencia de escaldado. Se propone que los CT_{281} producen metabolitos tanto tóxicos, es decir inductores del escaldado, como no tóxicos mientras que los CT_{258} representarían los metabolitos no tóxicos (DU, BRAMLAGE, 1993).

Según CURRY y KUPFERMAN (1993) en el desarrollo del escaldado se diferencian tres fases. La primera fase se da entre el primer y segundo mes de conservación frigorífica. Durante este periodo el α -farnaseno se autooxida, en presencia de oxígeno, dando lugar a los compuestos trieno conjugados. La formación de estos hidroperóxidos tiene lugar gracias a moléculas intermedias conocidas como radicales peróxidos las cuales son muy reactivas y capaces de inactivar proteínas, oxidar lípidos de membrana, formar polímeros y causar disfunciones orgánicas en la célula. La segunda fase en el desarrollo del escaldado está marcada por la reducción de los niveles de α -farnaseno debido a su autooxidación y por el incremento de los trieno conjugados que comienzan a dañar componentes celulares. Este proceso continúa durante uno o dos meses, normalmente sin síntomas visibles. El daño, sin embargo, es irreversible. La tercera y última fase se define cuando el daño en los tejidos es tal, que empiezan a aparecer manchas oscuras. Probablemente estas manchas se deben a la oxidación de polifenoles así como de lípidos de membrana que provoca alteraciones en la célula cada vez mayores y que culmina con la muerte celular.

DUVENAGE y DE SWARDT (1973) fueron los primeros autores en investigar la relación de los polifenoles en el escaldado superficial. Esta hipótesis parece interesante debido a la elevada cantidad de polifenoles presentes en la piel de la manzana y a su

capacidad de inducir reacciones de pardeamiento (PIRETTI *et al.*, 1996). El contenido de ciertos compuestos fenólicos de la piel, tipo glicósidos de quercitina, epicatequina, procianidina B2 y otros no identificados, disminuye progresivamente a la vez que incrementa el daño por escaldado (PIRETTI *et al.*, 1994). Para explicar el descenso de los glicosidos de quercitina, se ha planteado una hipotética relación entre la oxidación del α -farnaseno y la reducción de quercitina a moléculas tipo flavanes, la polimerización de las cuales daría lugar a compuestos proantocianidínicos (HASLAM, 1989a; PIRETTI *et al.*, 1994). Estos nuevos compuestos poliméricos podrían formar enlaces irreversibles con matrices proteicas de la piel escaldada (HASLAM *et al.*, 1989b; PIRETTI *et al.*, 1996). Si las membranas celulares estuviesen alteradas, la interacción entre los sustratos polifenólicos formados y las polifenoloxidasas produciría manchas oscuras en la piel, típicas del escaldado superficial (PIRETTI *et al.*, 1996).

Al ser el escaldado un proceso de oxidación depende de la disponibilidad de O_2 por parte del fruto así como de la actividad de los antioxidantes naturales del mismo. La relación de los antioxidantes respecto al α -farnaseno y a los trieno conjugados en el periodo de crecimiento del fruto puede ser de gran importancia en el desarrollo del escaldado durante el almacenamiento (EMONGOR *et al.*, 1994). Un amplio rango de antioxidantes naturales como algunos compuestos con grupos amino, grupos fenólicos o grupos sulfuro pueden inhibir la oxidación del α -farnaseno a CTH y por tanto el desarrollo del escaldado (ANET, COGGIOLA, 1974; JOHNSON *et al.*, 1986; MEIR, BRAMLAGE, 1988). La cantidad de antioxidantes necesaria depende de la cantidad de α -farnaseno producido antes y/o durante el almacenamiento (EMONGOR *et al.*, 1994).

Factores de predisposición

Factores fisiológicos

La variedad es el primer y principal factor de predisposición. En manzanas son muy sensibles Granny Smith, Belleza de Roma, Stayman, Winesap, Idared y variedades del grupo Delicious. En peras son sensibles las variedades Anjou, Blanquilla, Alejandrina y Decana de Comice.

La diferente concentración de antioxidantes naturales en la piel del fruto puede marcar diferencias entre variedades en cuanto a la susceptibilidad al escaldado (MEIR, BRAMLAGE, 1988). Sin embargo, en el nivel de hidroperóxidos influye tanto la concentración de antioxidantes como la capacidad de síntesis de α -farnaseno por parte del fruto. El α -farnaseno es un constituyente de los aceites esenciales y de las ceras de muchos cultivos entre ellos las manzanas y las peras; el contenido y composición de dichos compuestos depende de la expresión genética del cultivo que a su vez está influenciada por los factores ambientales (BERNATH, 1986; EMONGOR, CHWEYA, 1989). La incidencia de escaldado aumenta paralelamente a la producción de α -farnaseno así como a la sensibilidad de las células a los efectos negativos de sus compuestos de oxidación. La diferencia varietal también viene marcada por la facilidad de intercambio gaseoso entre la atmósfera y el fruto, donde ejerce un papel importante la cutícula. Así, en Golden Delicious la superficie de la cutícula vista al microscopio electrónico presenta fuertes depresiones o grietas que favorecen los cambios gaseosos, lo que podría explicar la débil sensibilidad de esta variedad al escaldado.

Otro factor fisiológico muy importante es el estado de madurez en la recolección, de manera que la intensidad de la alteración

es tanto mayor cuanto más precoz haya sido la cosecha. ANET (1972) observó que los productos de oxidación del α -farneseno se acumulaban con mayor rapidez en los frutos recolectados precozmente. Estos frutos no producen más α -farneseno que los recolectados más tardíamente por lo que la mayor incidencia de escaldado sería debida a una menor eficacia de los antioxidantes presentes en el fruto. BARDEN y BRAMLAGE (1994a, 1994b) han realizado experiencias con frutos recolectados tardíamente o premadurados con etefón para determinar la concentración de antioxidantes que contienen en la piel. Se ha observado que en ambos tratamientos el nivel de antioxidantes aumenta y que el desarrollo del escaldado es notablemente menor en los frutos de recolección tardía y ligeramente menor en los tratados con etefón.

Existe una relación directa entre la pigmentación y la incidencia de escaldado. Cualquier razón que provoque una coloración incompleta, como frutos procedentes de la parte interior del árbol o frutos inmaduros, aumenta el riesgo. Es conocido que la parte verde del fruto está más estrechamente ligada al desarrollo de la fisiopatía que la roja. Si bien es cierto que la concentración de antocianos tiene una correlación negativa con la de CTH (BARDEN, BRAMLAGE, 1994b), experiencias con dos variedades mostraron que para valores muy desiguales de antocianos, el nivel de CTH fué el mismo. Por ello, el papel de los antocianos como antioxidantes hidrosolubles (WINSTON, 1990) es dudoso hoy en día. El tamaño del fruto también influye en la alteración. Los frutos grandes son más susceptibles al escaldado que los pequeños (FIDLER, 1956; GINSBURG, 1961; SMOCK, 1961) probablemente debido a su menor nivel de calcio que en general predispone a desórdenes durante

el almacenamiento (FERGUSON, WATKINS, 1992).

Factores ambientales durante el desarrollo del fruto

Mientras que la susceptibilidad varietal al escaldado está muy ligada a la concentración de antioxidantes endógenos, la actividad de los mismos puede estar muy influenciada por los factores ambientales antes de la cosecha (MEIR, BRAMLAGE, 1988). De entre éstos se distinguen la climatología, la nutrición mineral y los tratamientos químicos.

El clima tiene una clara influencia en la aparición de escaldado, debido a la acción conjunta de diversos parámetros como son la temperatura, humedad, insolación, etc. Parece ser que la temperatura ambiente antes de la cosecha es el factor determinante a la hora de predisponer el fruto a la incidencia de escaldado. En general, temperaturas bajas tienden a reducir el escaldado mientras que las altas lo inducen. También es importante el contraste de temperaturas en las 4-6 semanas previas a la recolección; dicho contraste favorece la coloración de los frutos y por tanto incide negativamente sobre el escaldado. Según BARDEN y BRAMLAGE (1994c) temperaturas bajas previas a la cosecha pueden ser más efectivas para reducir la susceptibilidad al escaldado que la acumulación de antioxidantes en la piel del fruto.

En zonas de clima seco el riesgo de escaldado es mayor que en climas húmedos. Asimismo el déficit de agua está directamente relacionado con la incidencia de esta alteración. Se sabe que el estrés hídrico afecta a la naturaleza de la piel del fruto, ya que puede aumentar la formación y acumulación de aceites esenciales y ceras como

mecanismo para reducir la pérdida de agua. En variedades coloreadas, una buena insolación e aireación ayudan a obtener una correcta pigmentación antocianica por lo que, indirectamente, perjudican el desarrollo de escaldado. BARDEN y BRAMLAGE (1994a) han observado que reduciendo la intensidad de la luz desciende la concentración de antioxidantes en la piel y aumenta la susceptibilidad al escaldado.

La nutrición mineral no es muy decisiva pero un aporte excesivo de nitrógeno (rebasando las 200-250 unidades/ha) favorece la aparición de la fisiopatía. La fertilización nitrogenada incrementa el nivel de α -farnaseno, entre otros terpenos, en los aceites esenciales (FRANZ, 1983; EMONGOR, 1988). Por contra, el fósforo reduce la susceptibilidad al escaldado ya que disminuye el contenido de α -farnaseno en los aceites esenciales (EMONGOR, 1988). También se ha comprobado que las manzanas con bajos contenidos de calcio y/o altos contenidos de potasio son más sensibles al escaldado. DRAKE *et al.* (1979) y BRAMLAGE *et al.* (1985) correlacionaron negativamente el nivel de calcio en el fruto con el nivel de escaldado. Según BRAMLAGE *et al.* (1974) el riesgo al escaldado aumenta cuando el nivel de calcio en la piel es menor de 700 mg l⁻¹.

Los tratamientos químicos que se aplican en el campo son tan variados que se hace muy difícil establecer globalmente los efectos de los mismos. Mención aparte puede hacerse para comentar la influencia de los tratamientos hormonales en el desarrollo de escaldado. Tratamientos precosecha con etefón para inducir la maduración han reducido tanto el porcentaje como la intensidad de escaldadura en el fruto. DU y BRAMLAGE (1994) han estudiado el papel del etileno en los cambios bioquímicos que preceden al desarrollo de escaldado después del almacenamiento en frío. Para ello se realizaron tra-

tamientos con etefón antes, después o en el momento de la cosecha. El etefón provocó en el fruto respuesta a corto y a largo plazo. Al principio se estimuló la producción de etileno, α -farnaseno y CTH en la piel, lo cual podría favorecer el escaldado; más tarde, durante el almacenamiento en frío, el nivel de los compuestos CT₂₅₈ incrementó muy por encima del de los CT₂₈₁, lo cual está asociado con una reducción de la fisiopatía. Estos resultados sugieren que el etileno está relacionado con la incidencia de escaldado. Tratamientos con daminozida o con paclobutrazol para controlar el desarrollo vegetativo del árbol favorecen la aparición de escaldado durante la frigoconservación en manzanas Starking Delicious (ARBIOL *et al.*, 1991; GRAELL, RECASENS, 1992) debido probablemente a la recolección del fruto en un estado menos avanzado del desarrollo por la acción de los retardantes del crecimiento.

Factores de conservación

Recientemente, se ha considerado al escaldado como una típica enfermedad del frío. Existen diversos hechos que parecen soportar esta hipótesis: 1) Muchos estudios demuestran que el escaldado se desarrolla a temperaturas por debajo de los 15 °C. 2) La relación tiempo-temperatura de almacenamiento influye en la expresión de los síntomas. Así, mientras que a temperaturas cercanas a 10 °C el escaldado se desarrolla antes, al bajar la temperatura el daño es más severo. 3) Tratamientos que controlan el escaldado (antioxidantes, atmósferas controladas, tratamientos de calor) también inhiben el desarrollo en el fruto de daños por frío (WANG, 1993). WATKINS *et al.* (1995) comprobaron que la concentración de CTH en manzanas Granny Smith almacenadas era más elevada a 0 y 4 °C que a 10,



Figura 1. Manzanas Granny Smith afectadas con escaldado superficial, después de tres meses y medio de frigoconservación a 0°C en atmósfera convencional y tras cinco días a temperatura ambiente

15 y 20 °C. Mantener los frutos a 10 °C durante 5 días antes de la conservación frigorífica no redujo el escaldado pero una interrupción del almacenamiento a 0 °C con un periodo de calentamiento de 3-5 días a 20 °C sí lo hizo. Estos resultados llevaron a los autores a concluir que el frío induce el escaldado superficial en manzanas Granny Smith. Por lo tanto, existe más riesgo de escaldadura cuanto más baja sea la temperatura de conservación, dentro del rango permitido por la variedad. Sin embargo, aunque las temperaturas bajas inducen el escaldado, también retrasan su aparición.

En cuanto a la concentración gaseosa, la incidencia de escaldado es mayor en atmósfera convencional que en atmósfera controlada. Las condiciones favorables para conseguir un buen control de la fisiopatía

consisten en mantener bajos niveles de oxígeno, hasta los límites permitidos para evitar fermentaciones, y altos niveles de dióxido de carbono justo por debajo del límite de toxicidad. La humedad relativa elevada reduce la transpiración y las pérdidas de peso, pero incide negativamente sobre el escaldado. Una buena recirculación del aire dentro de la cámara ayuda a frenar esta alteración. En cualquier caso, el peligro aumenta cuanto más larga sea la conservación.

Control del escaldado

Para combatir el escaldado lo ideal sería utilizar conjuntamente índices de predicción y métodos de control con el fin de reducir al máximo esta fisiopatía.

Previsión

Atendiendo a la influencia de los factores ambientales así como a la respuesta del tejido del fruto, ha sido posible desarrollar una serie de índices que predicen el potencial de escaldado en cámara.

Es conocido que las temperaturas bajas antes de la cosecha disminuyen la susceptibilidad al escaldado. MERRIT *et al.* (1961) encontraron que con 100 horas por debajo de 10 °C antes de la cosecha, la susceptibilidad empezaba a disminuir y que con 150 horas, ésta era mucho menor. Resultados similares obtuvieron GORINI (1965) y BRAMLAGE y BARDEN (1989). Para MORRIS (1964) fué mejor utilizar como temperatura base 12,8 °C. En otros casos se ha visto una buena relación de la temperatura entre 5 y 15 °C y la incidencia de escaldado. Diversos autores han confirmado que el número de horas por debajo de 10 °C es un buen índice para predecir el riesgo de escaldado, aunque ello dependerá de la variedad y zona de que se trate. Por ejemplo, BLANPIED *et al.* (1991) encontraron una buena relación entre el número de horas por debajo de 10 °C y la severidad de escaldado en la variedad Starkrimson Delicious, mientras que LOUGHEED *et al.* (1992) vieron que en Mc Intosh y Delicious esta relación no era tan buena.

El estado de la maduración y más concretamente la fecha de recolección están reconocidos como buenos sistemas de previsión desde hace muchos años. WATKINS (1993) sugiere utilizar el índice de almidón para determinar el estado de madurez del fruto. Sin embargo para LAU (1993) las predicciones basadas en las horas por debajo de 10 °C dan mejores resultados que las basadas en el índice de almidón. Otras medidas pueden ser la concentración de pigmentos antocianicos y el número de días después de máxima floración. También es posible com-

binar índices. Así, MORRIS (1964) y BLANPIED *et al.* (1991) obtuvieron una mejor predicción del escaldado usando el índice de madurez junto con las temperaturas anteriores a la cosecha.

MEIR y BRAMLAGE (1988) encontraron que la actividad antioxidante en el momento de la cosecha estaba relacionada más estrechamente con el desarrollo del escaldado que el nivel de α -farnaseno o de hidroperóxidos. Por ello, estos autores pensaron que el nivel de antioxidantes en la cosecha podría ser un buen índice químico para determinar la susceptibilidad al escaldado. Se correlacionaron los cambios en α -farnaseno, CTH y antioxidantes en la piel del fruto durante la maduración y almacenamiento con el desarrollo de la fisiopatía. Se encontró que el valor DO_{200} de extractos de hexano de la superficie del fruto representa la actividad antioxidante.

La experiencia realizada por Bramlage y colaboradores durante varios años, les ha llevado a la conclusión de que las horas por debajo de 10 °C es mejor índice de predicción que el índice de almidón o el valor DO_{200} . En cualquier caso, la funcionalidad de estos índices viene determinada por las condiciones ambientales y por la variedad.

Métodos de control

Los posibles métodos de lucha tienen por objeto evitar la formación o favorecer la eliminación de α -farnaseno o bien impedir su oxidación. Se distinguen los métodos que se basan en tratamientos químicos de los que utilizan medios físicos.

Los primeros tratamientos químicos contra el escaldado superficial se hicieron envolviendo los frutos en papel impregnado de aceites minerales para absorber el α -far-

naseno del fruto. Esta técnica no siempre fué satisfactoria, además era costosa y necesitaba mucha mano de obra, por ello ha sido sustituida por el empleo de antioxidantes. Los aceites usados como antioxidantes dieron buenos resultados en las variedades FUJI y MUTSU (KANG, LEE, 1987). Recientemente se han probado diversos tipos de aceites vegetales como aceite de palma y de cacahuete aplicados manualmente en manzana Granny Smith. Estos tratamientos reducen el escaldado relacionándose el control más con un efecto físico que con la estructura química del aceite (SCOTT *et al.*, 1995b).

Las aplicaciones de antioxidantes intentan evitar la oxidación del α -farnaseno a hidroperóxidos, que en definitiva son los que originan el escaldado. Entre los diferentes antioxidantes que se han experimentado, la difenilamina (DPA) y la etoxiquina han demostrado ser los más eficaces. Actualmente, en España, ambos compuestos están autorizados y son los que más se usan en el control del escaldado. Los tratamientos suelen realizarse mediante baños o duchas. Según NARDIN (1985) la difenilamina es más efectiva y puede utilizarse a dosis más bajas. Así, en los tratamientos con baños para las variedades más sensibles, se utilizan entre 1500 y 2000 ppm de DPA o más de 2000 ppm de etoxiquina. CHEN y VARGA (1993) han estudiado la efectividad de tratamientos poscosecha con DPA mediante ducha a distintas dosis entre 500 y 2000 ppm, en peras Anjou. Los tratamientos sólo son efectivos si no se almacena el fruto más de 3 meses y además pueden causar fitotoxicidad. Varios investigadores han ensayado la termonebulización con DPA o con etoxiquina para controlar el escaldado obteniendo buenos resultados junto con un bajo nivel de residuos (CHAPON *et al.*, 1987; SIVE, RESNIZKY, 1989; LOTZ, COMBRINK, 1993a).

La legislación de los diferentes países cada vez es más exigente en cuanto al nivel de residuos permitido en los frutos. Ello conlleva a que, además de nuevos métodos de aplicación, se ensayen otros antioxidantes autorizados para el uso alimentario, como el ácido ascórbico, el butilhidroxitolueno (BHT) o los tocoferoles, con más o menos éxito según los casos. LOTZ y COMBRINK (1993b) probaron diversos antioxidantes naturales (palmitato de ascorbilo, α -tocoferol, aceite de sésamo) y otros sintéticos (BHT, Butilhidroxianisol) y compararon su eficacia con la del DPA. Según estos ensayos, el DPA sigue siendo, con diferencia, el tratamiento más efectivo. BLANPIED (1993) consiguió buenos resultados con BHT, incrementando la dosis hasta 5000 ppm así como el número de tratamientos poscosecha.

La aplicación de ceras en manzanas, utilizadas para mejorar su conservación y presentación externa, ha resultado ser parcialmente eficaz para el control del escaldado común. Se han señalado resultados similares con films de naturaleza polisacárida tales como Semperfresh, Pro-long, etc. Para KERBEL *et al.* (1989), el tratamiento con Semperfresh no redujo el desarrollo del escaldado y en los frutos de cosechas tempranas agravó la incidencia. En otros casos se han obtenido buenos resultados, tanto si se usa el recubrimiento sólo (KOKSAL *et al.*, 1994; LAU, MEHERIUK, 1994) como si se combina con antioxidantes. Tratamientos de Semperfresh con palmitato de ascorbilo o con galato de n-propilo disminuyeron la incidencia de escaldado en la variedad Red Chief y Golden Delicious (BAUCHOT *et al.*, 1995). Con BHT a concentraciones por encima de 750 ppm más Semperfresh el escaldado descendió de forma significativa según KALLAY y SASS (1994).

El tratamiento precosecha con etefón puede reducir ligeramente la incidencia de escaldado, sobre todo cuando la predisposición a la fisiopatía no es elevada (LURIE *et al.*, 1987), pero no es una solución definitiva. Los tratamientos con calcio pueden ayudar a reducir el escaldado. SHARPLES *et al.* (1979) vieron que el escaldado se controlaba de forma efectiva con baños poscosecha de 0,25 M de CaCl_2 . Si además del baño con calcio se realiza un calentamiento de los frutos previamente a su entrada en cámara, ambos tratamientos actúan de forma sinérgica en la reducción de la severidad del escaldado (KLEIN, LURIE, 1994). Por otro lado, VANG-PETERSEN (1990) no encontró relación alguna entre frutos tratados con calcio aplicado por pulverización en campo y el desarrollo de escaldado. Se ha podido controlar el escaldado superficial en manzanas Granny Smith con un tratamiento de vapor de etanol a dosis de 0,5 o 1 g fruto⁻¹. Para evitar la contaminación cruzada con el etanol, los frutos se almacenaban en bolsas de polietileno (SCOTT *et al.*, 1995a).

Aunque la difenilamina y la etoxiquina normalmente reducen la incidencia de escaldado, no siempre proporcionan un completo control (LAU, 1990). Por otra parte, es creciente la preocupación por el medio ambiente y la salud, reflejada en el nivel de residuos no sólo en el fruto sino también en la naturaleza. La limitación y seguramente la futura prohibición de los antioxidantes químicos utilizados ha obligado a buscar métodos de tipo físico para el control del escaldado. Tratamientos físicos previos al almacenamiento y determinadas condiciones de atmósfera controlada parecen ser prometedoras alternativas al uso de compuestos químicos.

Se han probado diferentes tratamientos de calor para reducir el escaldado. Según MORAS *et al.* (1980), una premaduración de

la manzana Granny Smith antes del almacenamiento en frío ejerce una reducción muy eficaz del escaldado. La duración del tratamiento (entre 8 y 15 días) depende de la fecha de recolección y la temperatura debe situarse entre 18 y 20 °C. LURIE y KLEIN (1993) probaron distintas temperaturas y tiempos de tratamiento de manera que 38 °C durante 72 horas y 46 °C durante 12 horas, resultaron ser tan efectivos como las aplicaciones de DPA en la prevención del escaldado de manzanas almacenadas 6 meses en atmósfera controlada más 2 meses en atmósfera normal. Incluso en otros casos (PIRETTI *et al.*, 1994) el tratamiento físico (20 °C durante 10 días) fue más efectivo que el químico (DPA, 2000 ppm). Esto podría ser debido a que el tratamiento de calor inhibe la acumulación tanto de α -farneseno como de CTH, mientras que el DPA solamente inhibe los CTH (EMENGOR *et al.*, 1994). CURRY (1989) realizó baños con agua caliente y comparó diversas temperaturas (20, 30, 40, 50 y 60 °C). 50 °C durante 60 segundos fué el mejor tratamiento, aunque sólo se consiguió una reducción aceptable del nivel de escaldado en cosechas tardías. A 60 °C, el sistema antioxidante natural del fruto sufría un considerable daño.

Desde hace unos diez años, se ha desarrollado la posibilidad de reducir el etileno presente en la atmósfera de la cámara hasta niveles de 1 ppm con el fin de mantener la calidad del fruto y reducir la incidencia de escaldado. Sin embargo los resultados no son consistentes para diferentes años y autores. Algunas veces, manteniendo la concentración de etileno por debajo de 1 ppm se lograron buenos resultados a la hora de reducir la fisiopatía (KNEE, HATFIELD, 1981) pero en otros casos no (LAU, 1990). Asimismo, GRAELL y RECASENS (1992) estudiando el barrido de etileno en dos campañas sucesivas, obtuvieron un resultado

satisfactorio en la primera, pero no en la segunda.

La atmósfera controlada tradicional (aproximadamente 3% O₂ / 5% CO₂) permite mantener la calidad del fruto a lo largo de su almacenamiento. En los últimos años se ha visto que si se disminuye la concentración de estos gases, la calidad se mantiene aún mejor y que algunos desórdenes, como el escaldado y el bitter-pit, se reducen. Por contra, pueden aparecer nuevas lesiones. A niveles de O₂ demasiado bajos la respiración pasa de ser aeróbica a anaeróbica, produciéndose etanol y acetaldehído. También puede verse reducida la capacidad de producir aromas por parte del fruto una vez finalizada la conservación (KE, KADER, 1989).

La biosíntesis de α -farneseno y su oxidación a CTH puede estar inhibida tanto por bajos niveles de oxígeno como por altos niveles de dióxido de carbono (BEN-ARIE *et al.*, 1993; BLANPIED, CREASY, 1993). Según estos autores, manteniendo un 10% de CO₂ y 10-15% de O₂ (para evitar daños por CO₂) se pudo controlar el escaldado. En otros casos, un 6-8% de CO₂ fue suficiente para neutralizar este desorden (RASMUSSEN, 1990). Sin embargo, al colocar los frutos a temperatura ambiente se agravó el problema. Otro inconveniente del uso de concentraciones de CO₂ demasiado elevadas es que puede provocar pardeamiento del corazón, siendo Granny Smith una variedad especialmente sensible a esta alteración.

En cuanto al oxígeno, se ha visto que la reducción de los niveles de O₂ (Ultra Low Oxygen o ULO) pueden constituir un eficaz remedio para el control del escaldado. Para manzanas resultó ser más efectivo un nivel de O₂ del 1% frente al 2%. Además, para evitar la proliferación de la fisiopatía al trasladar los frutos a temperatura ambiente se combinó el ULO con el barrido de etileno

(JOHNSON *et al.*, 1989). Por su parte, Nardin (1993) recomienda niveles de O₂ entre 0,9-1,2%, siempre que no se usen antioxidantes antes del almacenamiento. Igualmente en peras es mejor usar 1 o 2% de O₂ que 2,5% (FRANCILE, BATTAGLIA, 1992).

Otra técnica desarrollada con éxito para el control del escaldado ha sido someter al fruto a un estrés inicial de muy bajo oxígeno (ILOS) y/o de alto dióxido de carbono. Ya en 1985 se comprobó que un estrés inicial de O₂ (0-0,5%) seguido de una conservación en ULO (O₂ < 1,7%, 0 °C, 92-96% HR) conseguía reducir satisfactoriamente la sensibilidad al escaldado (LITTLE *et al.*, 1985). Comparando distintos estados de maduración del fruto, con un tratamiento ILOS más conservación ULO se obtuvieron niveles bajos de escaldado en todos los casos, mientras que sin el tratamiento inicial, solamente las manzanas almacenadas en ULO con un estado óptimo de maduración consiguieron un buen control (COMBRINK, 1993). Este estrés inicial de bajo O₂ / alto CO₂ inhibe la acumulación de α -farneseno y CTH en la piel del fruto. El efecto inhibidor persiste durante la conservación pero puede desaparecer en atmósfera normal (CHEN *et al.*, 1993). Sin embargo, estos autores consiguieron un control total del escaldado en frutos sometidos a este estrés cuando, una vez fuera de la cámara, permanecieron 9 semanas en atmósfera normal a -1 °C y 7 días a 20 °C. El único inconveniente es que el elevado nivel de CO₂ puede provocar pardeamientos del corazón.

En cualquier caso, los resultados obtenidos con atmósferas con bajo oxígeno, sobre todo en la última década, son esperanzadores. Cabe señalar, sin embargo, que si bien se han obtenido conservaciones exitosas, se hace difícil una solución de aplicación universal, dada la necesaria y correcta consideración de diversos factores que influyen en

el grado final de escaldado: variedad, estado de madurez, periodo de almacenamiento, temperatura, nivel de O₂ y CO₂, principalmente.

MEHERIUK (1993) ha realizado un estudio sobre las condiciones en atmósfera controlada por variedades y países. Concretamente, en España, para la variedad Granny Smith considera que las mejores condiciones son: 2,5% O₂ / 4-5% CO₂ / 1 °C. Finalmente, se pueden citar algunas recomendaciones que NARDIN (1993) considera importantes para que el control del escaldado, sin el uso de productos químicos, sea exitoso:

1. Que el fruto no sea recolectado antes del inicio del climaterio.

2. Puesta a punto inmediata de las condiciones de la atmósfera controlada.

3. Mantener una circulación de aire suficiente en la cámara (por lo menos 5-6 horas/día). Dejar pasillos entre hileras de envases y que éstos sean suficientemente abiertos.

4. Mantener una humedad relativa óptima (90-93% para la variedad Granny Smith).

5. No prolongar demasiado la estancia de la fruta a temperatura ambiente, una vez sale de la cámara (máximo 10-12 días).

Conclusiones

Aunque no está totalmente aclarado el origen bioquímico del escaldado superficial, la mayoría de los autores opinan que es un proceso oxidativo el que determina el desarrollo de la fisiopatía. Es importante considerar todos los compuestos que intervienen en dicho proceso, especialmente el

contenido en α -farnaseno, hidroperóxidos trieno conjugados y antioxidantes naturales.

Para evitar el escaldado también hay que tener en cuenta los factores que condicionan esta oxidación, como son la variedad, estado de madurez, climatología, estado nutricional, tratamientos químicos y sistema de conservación. El control del escaldado debe pasar por un conocimiento previo de los factores de predisposición algunos de los cuales son utilizados como índices de predicción. Dada la necesidad de reducir el nivel de residuos, ha existido una evolución en los métodos de control, desde tratamientos químicos a físicos aunque los primeros no pueden ser de momento totalmente eliminados. Teniendo en cuenta que no pueden generalizarse los resultados obtenidos, los tratamientos físicos previos al almacenamiento y determinadas condiciones de atmósfera controlada parecen ser prometedoras alternativas al uso de compuestos químicos. Se propone seguir la investigación en esta línea.

Bibliografía

- ANET, E.F.L.J. 1969. Autoxidation of α -farnesene. *Austral. J. Chem.*, 22:2403-2410.
- ANET, E.F.L.J. 1972. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. IX. Effect of maturity and ventilation. *J. Sci. Food Agric.*, 23:763-769.
- ANET, E.F.L.J.; COGGIOLA, I.M. 1974. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. X. Control of α -farnesene autoxidation. *J. Sci. Food Agric.*, 25:293-298.
- ARBIOL, E.; SALAS, J.; RECASENS, I., CANELA, I.; BLANCO, A. 1991. Influencia de la reducción de etileno en cámara sobre la calidad de manzanas Starling tratadas con paclobutrazol o etoxiquina. En: El etileno en la maduración y post-recolección de frutos y hortalizas. I. Recasens, J. Graell y M. Vendrell (Editores). 204-212 pp.

- BARDEN, C.L.; BRAMLAGE, W.J. 1994a. Separating the effects of cool temperatures, ripening, and light on development of scald resistance in apples before harvest. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 119:54-58.
- BARDEN, C.L.; BRAMLAGE, W.J. 1994b. Relationships of antioxidants in apple peel to changes in a-farnesene and conjugated trienes during storage, and to superficial scald development after storage. *Postharvest Biology and Technology*, 4:23-33.
- BARDEN, C.L.; BRAMLAGE, W.J. 1994c. Accumulation of antioxidants in apple peel as related to preharvest factors and superficial scald susceptibility of the fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 119(2):264-269.
- BAUCHOT, A.D.; JOHN P.; SORIA, Y.; RECASENS, I. 1995. Sucrose ester-based coatings formulated with food-compatible antioxidants in the prevention of superficial scald in stored apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 120(3):491-496.
- BEN-ARIE, R.; LEVIN, A., ZUTKHI, Y. 1993. Elevated CO₂ for control of superficial scald on CA-stored apples. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*. Vol.4. N° 2. 42-43.
- BERNATH, J.B. 1986. Production ecology of secondary plant products. En: E.C. Cracker and J.E. Simon (Editors), *Herbs, Spices and Medicinal Plants*. Recent advances in Botany, Horticulture, and Pharmacology. Vol. 1, Oryx Press, Phoenix Ariz., pp.185-234.
- BLANPIED, G.D. 1993. Effect of repeated postharvest of butylated hydroxytoluene (BHT) on storage scald apples. *Proceedings from the Sixth International Controlled Atmosphere Research Conference*, Ithaca, New York. Vol. 2. 466-469.
- BLANPIED, G.D.; BRAMLAGE, W.J.; CHU, C.L.; INGLE, M.; KUSHAD, M.M.; LAU, O.L.; LIDSTER, P.D. 1991. A survey of the relationships among accumulated orchard hours below 10 °C, fruit maturity, and the incidence of storage scald on Starkrimson Delicious apples. *Can. J. Plant Sci.*, 71:605-608.
- BLANPIED, G.D.; CREASY, L.L. 1993. Concentrations of farnesene and conjugated trienes in the skin of Cortland apples stored in 2% and 4% oxygen with 1%, 3% and 5% carbon dioxide at 2,2 °C. *Proceedings from the Sixth International Controlled Atmosphere Research Conference*, Ithaca, New York. Vol.2. 481-486.
- BRAMLAGE, W.J.; BARDEN, C.L. 1989. Predictability of scald susceptibility of apples. *Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference*, Wenatchee, Washington. Vol.1. 137-143.
- BRAMLAGE, W.J.; DRAKE, M.; BAKER, J.H. 1974. Relationships of calcium content to respiration and postharvest condition of apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 99:376-378.
- BRAMLAGE, W.J.; WEIS, S.A., DRAKE, M. 1985. Predicting the occurrence of poststorage disorders of McIntosh apples from preharvest mineral analyses. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 110:493-498.
- BROOKS, C.; COOLEY, J.S.; FISHER, D.F. 1919. *J. Agric. Res.* 18:221.
- CHAPON, J.F.; NGUYEN, C., BOMPEIX, G. 1987. Apple scald. Treatment with diphenylamine applied by thermofogging. *Infos, Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes*, 33:21-23.
- CHEN, P.M.; VARGA, D.M. 1993. Reevaluating DPA postharvest drenching of Anjou pears to control superficial scald disorder. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*. Vol. 4. N° 2. 35-38.
- CHEN, P.M.; VARGA, R.J.; XIAOY, Q. 1993. Inhibition of a-farnesene biosynthesis and its oxidation in the peel tissue of d'Anjou pears by low O₂ / elevated CO₂ atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 3:215-223.
- COMBRINK, J.C. 1993. Control of superficial scald of apples by ultra-low and stress levels of oxygen as an alternative to diphenylamine. *Proceedings from the Sixth International Controlled Atmosphere Research Conference*, Ithaca, New York. Vol.2. 470-480.
- CURRY, E.A. 1993. Scald reduction in Granny Smith apples with hot water. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*. Vol.4. N° 2. 31-32.
- CURRY, E.A., KUPFERMAN, E.M. 1993. A systems approach to scald control. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*. Vol.4. N° 2. 3-5.
- DRAKE, M.; BRAMLAGE, W.J.; BAKER, J.H.; 1979. Effects of foliar calcium on McIntosh apple storage disorders. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.*, 10:303-309.
- DU, Z.; BRAMLAGE, W. J. 1993. A modified hypothesis on the role of conjugated trienes in superficial scald development on stored apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 118:807-813.

- DU, Z.; BRAMLAGE, W.J. 1994. Roles of ethylene in the development of superficial scald in Cortland apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 119(3):516-523.
- DUVENAGE, A.J.; DE SWARDT, G.H. 1973. Superficial scald on apples: the effect of maturity and diphenylamine on the flavonoid content in the skin of two cultivars. *Z. Pflanzenphysiol.*, 70:222-234.
- EMONGOR, V.E. 1988. The effect of nitrogen and phosphorus on growth, yield of flowers, and essential oil of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) grown under Kenyan conditions. Master of Science Thesis, Faculty of Agriculture, University of Nairobi, 131pp.
- EMONGOR, V.E.; CHWEYA, J.A. 1989. Effect of plant age on chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) flower yield, essential oil content and composition. *Discovery Innovation J.*, 1(4):63-66.
- EMONGOR, V.E.; MURR, D.P.; LOUGHEED, E.C. 1994. Preharvest factors that predispose apples to superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*, 4:289-300.
- FERGUSON, I.B.; WATKINS, C.B. 1992. Crop load effects on mineral content and incidence of bitter pit in Cox's Orange Pippin apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 117:373-376.
- FIDLER, J.C. 1956. Scald and weather. *Food Sci. Abstr.*, 28:545-554.
- FRANCILE, A.S.; BATTAGLIA, M. 1992. Control of superficial scald in Beurré d'Anjou pears and Granny Smith apples. *Rivista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale*, 86(2):397-410.
- FRANZ, C. 1983. Nutrient and water management of medicinal and aromatic plants. *Acta Hort.*, 132:203-215.
- GINSBURG, L. 1961. Superficial scald and its control on South African apples. *Symposium on Refrigerated Storage of Fruits and Vegetables*, Wageningen, May 23-26. *Int. Inst. Refrig. Bull., Annex 1961-1*, 179-193 pp.
- GORINI, F.L. 1965. Influenze della temperatura pre-raccolta sul riscaldamento della mela Stayman. *Riv. Ortofruttic. Ital.*, 49:290-294.
- GRAELL, J.; RECASENS, I. 1992. Effects of ethylene removal on Starking Delicious apple quality in controlled atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology*, 2:101-108.
- HASLAM, E. 1989a. Proanthocyanidins. In: *Plant Polyphenols - Vegetable Tannins Revisited*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 14-89.
- HASLAM, E. 1989b. Polyphenol complexation. In: *Plant Polyphenols - Vegetable Tannins Revisited*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 154-219.
- HUELIN, F.E.; COGGIOLA, I.M. 1968. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. IV. Effect of variety, maturity, oiled wraps and diphenylamine on the concentration of α -farnesene in the fruit. *J. Sci. Food Agr.*, 19:297-301.
- HUELIN, F.E.; COGGIOLA, I.M. 1970a. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. V. Oxidation of α -farnesene and its inhibition by diphenylamine. *J. Sci. Food Agr.*, 21:44-48.
- HUELIN, F.E.; COGGIOLA, I.M. 1970b. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. VII. Effects of applied farnesene, temperature, and diphenylamine on scald and the concentration and oxidation of α -farnesene in the fruit. *J. Sci. Food Agr.*, 21:584-589.
- HUELIN, F.E.; MURRAY, K.E. 1966. α -Farnesene in the natural coating of apples. *Nature (London)*, 210:1260-1261.
- JOHNSON, D.; KNEE, M.; SMITH, S.; DOVER, C. 1986. Measures to take to combat scald. *Grower*, 106(16):45-47.
- JOHNSON, D.S.; PRINJA, J.; SMITH, S.M. 1989. The use of controlled atmosphere (CA) conditions for the control of bitter-pit and superficial scald in Bramley's Seedling apples. *Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington*. Vol.1. 157-168.
- KALLAY, T.; SASS, P. 1994. New measures against superficial scald of apples. *Acta Hort.*, 368:220-224.
- KANG, S.D.; LEE, S.K. 1987. Nature and control of apple during cold storage. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, 28(4):343-351.
- KE, D.; KADER, A.A. 1989. Tolerance and responses of fresh fruits to oxygen levels at or below 1%. *Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington*. Vol.2. 209-216.
- KERBEL, E.L.; MITCHELL, F.G.; KADER, A.A.; MAYER, G. 1989. Effects of Semperfresh coating on post-

- harvest life, internal atmosphere modification and quality maintenance of Granny Smith apples. Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington. Vol.1. 247-254.
- KLEIN, J.D.; LURIE, S. 1994. Time, temperature, and calcium interact in scald reduction and firmness retention in heated apples. *Hortscience*, 29(3):194-195.
- KNEE, M.; HATFIELD, S.G.S. 1981. Benefits of ethylene removal during apple storage. *Ann. appl. Biol.*, 98:157-165.
- KOKSAL, A.I.; DUMANOGLU, H.; TUNA, N.; SASS, P. 1994. The effect of Semperfresh on the storage of Williams pear and Starkspur Golden Delicious apple cultivars. *Acta Hort.* 368:793-801.
- LAU, O.L. 1990. Efficacy of diphenylamine, ultra-low O₂, and ethylene scrubbing on scald control in Delicious apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115:959-961.
- LAU, O.L. 1993. Prediction and non-chemical control of Delicious apple scald. Proceedings from the Sixth International Controlled Atmosphere Research Conference, Ithaca, New York. Vol.1. 435-446.
- LAU, O.L.; MEHERIUK, M. 1994. The effect of edible coatings on storage quality of McIntosh, Delicious and Spartan apples. *Can. J. Plant Sci.*, 74(4):847-852.
- LITTLE, C.R., TAYLOR, H.J.; MCFARLANE, F. 1985. Postharvest and storage factors affecting superficial scald and core flush of Granny Smith apples. *Hortscience*, 20(6):1080-1082.
- LOTZ, E.; COMBRINK, J.C. 1993a. Thermofogging apples with DPA. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*. Vol. 4. N° 2. 21-23.
- LOTZ, E.; COMBRINK, J.C. 1993b. Alternative antioxidants for control of superficial scald. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*. Vol. 4. N° 2. 33-34.
- LOUGHEED, E.C.; WILSON, K.; CHU, C.L.; WILEY, L.S.; TSCHANZ, R.; COULING, S.; HUSTWIT, K.; SUTTON, N. 1992. Storage scald of Ontario apples. *Can. J. Plant Sci.*, 72(4):1287-1288.
- LURIE, S.; KLEIN, J.D. 1993. Prestorage heat and anaerobic treatments to control apple scald. Proceedings from the Sixth International Controlled Atmosphere Research Conference, Ithaca, New York. Vol.2. 447-452.
- LURIE, S.; MAIER, S.; BEN-ARIE, R. 1987. Superficial scald on Granny Smith apples: The effect of preharvest ethephon sprays. *Alon Hanotea*, 42(1):53-57.
- MEHERIUK, M. 1993. CA Storage conditions for apples, pears and nashi. Proceedings from the Sixth International Controlled Atmosphere Research Conference, Ithaca, New York. Vol.2. 819-854.
- MEIR, S.; BRAMLAGE, W.J. 1988. Antioxidant activity in Cortland apple peel and susceptibility to superficial scald after storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 113:412-418.
- MERRITT, R.H.; STILES, W.C.; HAVENS, A.V.; MITTERLING, L.A. 1961. Effects of preharvest air temperatures on storage scald of Stayman apples. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 78:24-34.
- MORAS, P.; CHAPON, J.F.; FERRE, G. 1980. L'échaudure de la pomme Granny Smith. Influence d'une pré-maturation avant l'entreposage et d'un traitement à l'éthoxiquine. *L'Arboriculture Fruitière*, 314:49-51.
- MORRIS, J.R. 1964. The relationship of preharvest air temperature and several maturity indices to storage scald on Stayman and Rome Beauty apples. Ph. D. Diss., Rutgers Univ., New Brunswick, New Jersey.
- MURRAY, K.E.; HUELIN, F.E.; DAVENPORT, J.B. 1964. Occurrence of a-farnesene in the natural coating of apples. *Nature (London)*. 204:80.
- NARDIN, C. 1985. Post-harvest scald treatments with ethoxiquin and diphenylamine on different apple cultivars: effectiveness and residues. *Trattamenti alla frutta dopo la raccolta*, pp.39-56.
- NARDIN, C. 1993. Control of scald of apples by ultra-low oxygen storage. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*. Vol.4. N° 2. 49-52.
- PIRETTI, M.V.; GALLERANI, G.; BRODNIK, U. 1996. Polyphenol polymerisation involvement in apple superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*, 8:11-18.
- PIRETTI, M.V.; GALLENARI, G.; PRATELLA, G.C. 1994. Polyphenol fate and superficial scald in apple. *Postharvest Biology and Technology*, 4:213-224.
- RASMUSSEN, P.M. 1990. Storage experiments with apples 1984-89. *Tidsskrift for Planteavl.*, 94(1):39-49.

- ROWAN, D.D.; ALLEN, J.M.; FIELDER, S.; SPICER, J.A.; BRIMBLE, M.A. 1995. Identification of conjugated triene oxidation products of α -farnesene in apple skin. *J. Agric. Food Chem.*, 43:2040-2045.
- SCOTT, K.J.; YUEN, C.M.C.; GHARAMANI, F. 1995a. Ethanol vapour- a new anti-scald treatment for apples. *Postharvest Biology and Technology*, 6:201-208.
- SCOTT, K.J.; YUEN, C.M.C.; KIM, G.H. 1995b. Reduction of superficial scald of apples with vegetable oils. *Postharvest Biology and Technology*, 6:219-223.
- SHARPLES, R.O.; REID, M.S.; TURNER, N.A. 1979. The effects of postharvest mineral element and lecithin treatments on the storage disorders of apples. *J. Hortic. Sci.*, 54:299-304.
- SIVE, A.; RESNIZKY, D. 1989. Thermal fogging with DPA and ethoxyquin. *Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington*. Vol.1. 457-464.
- SMOCK, R.M. 1961. Methods of scald control on the apple. *Bull. Cornell Univ. Agric. Exp. Stn.*, 970:1-55.
- VANG PETERSEN, O. 1990. Calcium for apple trees. V. The effect of early spraying with calcium. *Tidsskrift for Planteavl.*, 94(1):33-37.
- WANG, C.Y. 1993. Approaches to reduce chilling injury of fruits and vegetables. *Hort. Rev.*, 15:63-95.
- WATKINS, C. 1993. Preharvest factors affecting superficial scald. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*. Vol.4. Nº 2. 16-20.
- WATKINS, C.B.; BRAMLAGE, W.J. CREGOE, B.A. 1995. Superficial scald of Granny Smith apples is expressed as a typical chilling injury. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 120(1):88-94.
- WINSTON, G.W.M. 1990. Physiochemical basis for free radical formation in cells: production and defenses. En: R.G. Alscher and Cucuming (Editors), *Stress Responses in Plants. Adaptation and Acclimation Mechanisms*. Wiley-Liss, Inc., New York, pp. 57-86.

(Aceptado para publicación el 21 de enero de 1997)

DIVERSOS METODOS DE CONTROL DEL ESCALDADO SUPERFICIAL ALTERNATIVOS A LA APLICACION DE DIFENILAMINA

LOS PRODUCTOS ANTIOXIDANTES

Procesos oxidativos implicados en el escaldado superficial

El desarrollo de escaldado superficial está relacionado con la oxidación del α -farnaseno (Huelin y Coggiola, 1968). El α -farnaseno es un sesquiterpeno prácticamente insoluble en agua y soluble en disolventes hidrocarbonados. Este compuesto es una sustancia volátil, que se produce como consecuencia del metabolismo normal del fruto, localizándose en la cutícula. Cuando su concentración es máxima, llega a alcanzar un 15% del total de los lípidos de la cutícula (Huelin y Coggiola, 1968).

Durante la autooxidación de los compuestos orgánicos se forman compuestos peróxidos. La autooxidación se manifiesta después de un periodo de latencia llamado "periodo de inducción", acelerándose enseguida por la acción catalítica de los peróxidos formados. La etapa de iniciación es impulsada por una captación de energía y se basa en la formación de un radical libre ($R\cdot$) debido a la pérdida de un protón por parte de la molécula de sustrato. Este radical es muy sensible al ataque del oxígeno atmosférico y forma un radical peróxido inestable ($ROO\cdot$) que puede combinarse con otra molécula de sustrato formando un hidroperóxido ($ROOH$) y un radical libre que inicia de nuevo el proceso. Esta fase, denominada de "propagación", consiste en una reacción en cadena que puede finalizar cuando reaccionan radicales libres entre sí dando moléculas neutras estables con lo que se rompe la cadena.

Aunque el origen del escaldado superficial esté relacionado con la oxidación del α -farnaseno y más concretamente con sus productos de oxidación, lo que todavía no se ha determinado es el proceso de deterioro celular que conduce a los síntomas característicos de la alteración, es decir, el mecanismo por el que los productos de la oxidación del α -farnaseno, incluyendo los hidroperóxidos trieno conjugados (CTH) o radicales libres intermedios (Anet, 1972), llevan a la manifestación del escaldado superficial. Además, son pocos los compuestos que se han podido identificar como productos procedentes de dicha oxidación. En un principio se pensó que estos compuestos podrían promover una oxidación simultánea de ácidos grasos de la membrana celular que provocaría la alteración, decoloración y finalmente la muerte de las células epidérmicas (Huelin y Coggiola, 1970; Anet, 1974). Recientemente, Du y Bramlage (1995) han estudiado la posible relación entre la peroxidación de estos lípidos y el escaldado superficial, lanzando una hipótesis según la cual los productos procedentes de la peroxidación pueden participar en la expresión de los síntomas. Sin embargo, se ha comprobado que no existe relación entre el escaldado superficial y los productos de peroxidación. Estos productos aumentan durante la conservación independientemente de la temperatura de almacenamiento, reflejando que es más un efecto de la senescencia del fruto que el resultado de daños por frío, mientras que el escaldado se considera una alteración propia del frío ya que los síntomas no se manifiestan hasta que el fruto no permanece en la cámara frigorífica un mínimo de 3 meses

(Bralmage y Meir, 1990). Además, los productos de peroxidación son más abundantes en variedades de manzana resistentes al escaldado que en variedades sensibles y su contenido es igual para diferentes grados de afección de la alteración. Por otro lado, enzimas como la catalasa, peroxidasa y superóxido dismutasa, relacionadas con la acumulación de productos procedentes de procesos peroxidativos, tampoco varían según la intensidad de la alteración, no observándose diferencias significativas en la actividad peroxidativa de la piel de la manzana entre frutos escaldados y no escaldados. Sin embargo, Du y Bramlage no descartan que el aumento observado en la concentración de los productos de peroxidación durante la frigoconservación podría estar asociado con el incremento de trieno conjugados o con cambios en la célula que conducen al desarrollo de los síntomas.

El oscurecimiento típico del escaldado superficial también se ha relacionado con la oxidación de compuestos fenólicos seguida de una polimerización que produce pigmentos de color oscuro (Piretti et al., 1994). En investigaciones posteriores se ha comprobado que la parte de tejido afectada por escaldado contiene hasta 1,5 veces más antocianidinas que la parte verde (Piretti et al., 1996). Según estos autores, los compuestos fenólicos característicos de la piel del fruto pueden formar proantocianidinas. En los tejidos dañados, las proantocianidinas son susceptibles de oxidarse al entrar en contacto con la enzima polifenoloxidasas (PPO), provocando finalmente los síntomas característicos del escaldado. Así, según esta hipótesis, el oscurecimiento del escaldado superficial tendría un origen semejante al del pardeamiento enzimático, ya que se ve implicado un proceso de oxidación enzimática. Reforzando esta hipótesis se ha comprobado que la actividad de la PPO es mayor en los tejidos afectados por escaldado que en los tejidos sanos (Lurie et al., 1989). Sin embargo esta teoría no deja de ser polémica ya que en otros ensayos más recientes se han obtenido resultados contrapuestos al observar que la actividad de la PPO en la piel de los frutos se mantiene igual para diferentes intensidades de escaldado superficial (Du y Bramlage, 1995).

Medidas de prevención o inhibición de los procesos oxidativos

Según Pascal (1986), la autooxidación de compuestos orgánicos se puede suprimir o retrasar por dos vías esenciales. Es posible actuar sobre los factores favorables a la propagación de las reacciones de peroxidación, reduciendo la presión de oxígeno, la temperatura, la acción de la luz y la concentración de los catalizadores (pigmentos, enzimas, metales) y también se puede frenar la velocidad de autooxidación o impedir la propagación de la reacción en cadena, al reducir o eliminar los radicales libres.

Los radicales libres o especies afines, como peróxidos e hidroperóxidos, pueden eliminarse por medios enzimáticos o mediante sustancias químicas. El radical superóxido ($O_2\cdot$) se elimina con superóxido dismutasa. Para el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) el recurso más habitual es la catalasa o también las peroxidases, aunque éstas pueden originar durante su actuación radicales libres, especialmente de sustancias fenólicas (Sabater, 1990). El radical hidroxil ($HO\cdot$) y el oxígeno singlete (1O_2), ambos oxidantes muy potentes, escapan a la acción enzimática, por lo que sólo puede prevenirse su formación por la eliminación de los metabolitos de oxígeno precursores de estos radicales (Sandalo y del Rio, 1991).

En cuanto a las sustancias químicas, conocidas como "scavengers" atrapadores o captadores de radicales, tienen una naturaleza química muy variada y su acción se basa en que reaccionan

con los radicales para dar sustancias no radicales. Captadores naturales de radicales abundan en las células (ácido ascórbico, glutatión, arginina, serina, manitol, etanol, histidina, tocoferoles y otros esteroides). Aparte de los captadores naturales, hay un gran repertorio de sustancias sintéticas utilizadas en la investigación o a nivel industrial para evitar los procesos de oxidación. Estas sustancias, naturales o sintéticas, se conocen como antioxidantes. La elección de las moléculas a utilizar depende en gran parte de la naturaleza del alimento que se desea proteger. Sería ideal disponer de captadores específicos para cada radical libre, pero en la práctica esto no ocurre y sólo es válido que las moléculas que son captadores débiles, como el etanol o el benzoato, reaccionan solamente con los radicales más energéticos, como el HO· (Sabater, 1990). Sin embargo, hay que tener presente que un antioxidante no podrá proteger eficazmente productos en los que la autooxidación ya esté muy avanzada, puesto que inhibe la propagación de la reacción en cadena actuando en la fase inicial de este fenómeno.

Los antioxidantes y su mecanismo de acción

Los antioxidantes actúan como un "catalizador negativo" reduciendo la velocidad de autooxidación o impidiendo la propagación de la reacción en cadena (Loury, 1972). Entre las moléculas dotadas de propiedades antioxidantes se encuentran numerosos compuestos de naturaleza fenólica. Estos compuestos inhiben o interfieren la formación de radicales libres al donar un átomo de hidrógeno del grupo hidroxil del anillo fenólico, con lo que restituyen el radical, formándose al mismo tiempo un radical antioxidante estable (Sherwin, 1978). El mecanismo de acción de tales moléculas propuesto por Sherwin (1976) es el siguiente (figura 1):

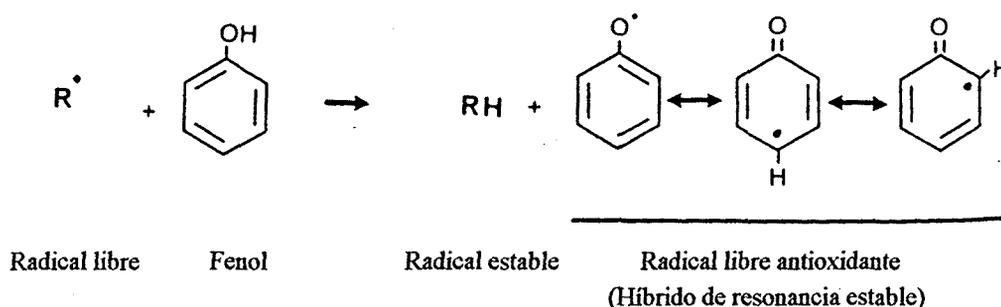


Figura 1. Mecanismo de acción de un antioxidante fenólico frente a un radical libre de lípido (Sherwin, 1976)

Existen numerosos antioxidantes de naturaleza fenólica donde se incluyen antioxidantes de origen natural, como los tocoferoles, y compuestos de síntesis, como el butilhidroxitolueno y el galato de propilo. Los tocoferoles son productos de origen natural o existentes normalmente en ciertos alimentos, aunque susceptibles de ser sintetizados. Los tocoferoles naturales se componen de una mezcla de α , γ , δ y β tocoferoles, que difieren solamente en el número y posición de grupos metilo alrededor del anillo aromático. Estos antioxidantes son liposolubles y se encuentran formando parte, como constituyentes minoritarios, de todos los aceites vegetales, siendo responsables de la estabilidad de los mismos. El α -tocoferol es el más abundante y activo de los cuatro como vitamina E aunque el menos activo como antioxidante (Dziezak, 1986). Su actividad se basa en ceder el hidrógeno del grupo hidroxil al radical peróxido, mientras que el α -tocoferol se oxida dando un radical fenoxil que puede perder otro

electrón y reaccionar con el agua formando α -tocoferil quinona (Parker, 1989). El α -tocoferol también puede inhibir el inicio de la peroxidación en la membrana celular al reaccionar con radicales libres como los radicales hidroperoxil ($\text{HO}_2\cdot$), $\text{HO}\cdot$ e $\text{O}_2\cdot$ (Fukuzawa y Gebicki, 1983) y con especies de oxígeno activado como el $^1\text{O}_2$ (Fahrenholtz et al., 1974; Foote et al., 1978). Asimismo, los tocoferoles pueden actuar reparando las proteínas de membrana (Bisby et al., 1984). Los tocoferoles presentan su máxima eficacia en grasas animales, carotenoides y vitamina A (Cort, 1974); los aceites vegetales, debido a su inherente contenido en tocoferoles, no se benefician mucho de la adición de los mismos. El α y γ tocoferol muestran efectos sinérgicos con el palmitato de ascorbilo. Conviene tener presente que los tocoferoles aplicados a ciertas concentraciones pueden comportarse como prooxidantes (Loury et al., 1966).

Una de las principales propiedades que deben cumplir los compuestos de síntesis es que sean liposolubles para asegurar su reparto homogéneo en la fase lipídica (Belitz y Grosch, 1988), requisito que cumplen los antioxidantes butilhidroxitolueno y galato de propilo. El butilhidroxitolueno (BHT) fue desarrollado para proteger el petróleo de procesos de oxidación (Porter, 1980), antes de ser aceptado en la industria alimentaria. Al principio fue uno de los antioxidantes más utilizados, junto con el butilhidroxianisol (BHA), gracias a su eficacia para estabilizar grasas, pero a partir de los años 70 se inicia un declive en su utilización, por tratarse de compuestos polémicos que presentan una cierta toxicidad en animales a nivel experimental (Pascal, 1986). Es más efectivo en grasas animales que en aceites vegetales (Dorko, 1994).

El galato de propilo es un producto de síntesis ya que si bien el ácido gálico puede encontrarse en estado natural, su esterificación en galatos de alquilo supone la intervención de la síntesis química. El galato de propilo empezó a utilizarse a gran escala después de ser aprobado por la organización "Food and Drugs Administration" en 1947. Es efectivo para inhibir la oxidación de aceites y grasas animales. Presenta un buen sinergismo con los antioxidantes BHT y BHA.

Existe otro grupo de antioxidantes que funcionan como captadores de oxígeno o agentes reductores. Este es el mecanismo de acción del ácido ascórbico, que interviene en reacciones redox gracias a su función eno-diol. El ácido ascórbico actúa captando un radical libre ($\text{X}\cdot$) y transformándose transitoriamente en un radical que sufre dismutación para dar dos sustancias no radicales (figura 2):

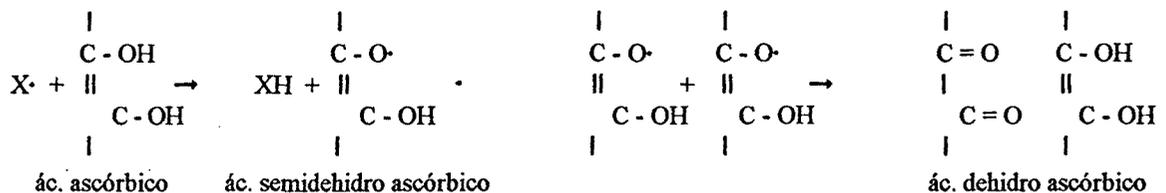


Figura 2. Mecanismo antioxidante del ácido ascórbico (Sabater, 1990)

Su oxidación a ácido dehidroascórbico se ve favorecida por la presencia de cationes divalentes de metales de transición (Fe^{++} , Cu^{++}). Sin embargo, el ácido ascórbico, que es un buen captador de radicales, puede generar radicales $\text{HO}\cdot$, lo cual puede confundir resultados en investigación (Sabater, 1990).

El ácido ascórbico es un antioxidante prácticamente insoluble en grasas y aceites. En los sistemas acuosos tiene actividad antioxidante solamente a concentraciones elevadas ($\approx 10^{-3}$ M). Las concentraciones más bajas (10^{-5} M) tienen acción prooxidante, especialmente en presencia de iones de metales pesados (Belitz y Grosch, 1988). A fin de aumentar la solubilidad en la fase oleosa se utiliza un derivado liposoluble, el palmitato de ascorbilo. La esterificación del ácido ascórbico con ácidos grasos disminuye su polaridad y aumenta la solubilidad en lípidos. Sin embargo la solubilidad del palmitato de ascorbilo sigue siendo baja comparada con la de otros antioxidantes liposolubles, como el BHT y el galato de propilo. El palmitato de ascorbilo es considerado entre los compuestos aprobados para el uso alimentario, como uno de los captadores de oxígeno más efectivos (Dziezak, 1986).

Aunque no se encuentra en la naturaleza, el palmitato de ascorbilo se hidroliza formando ácido palmítico y ácido ascórbico, ambos compuestos de origen natural. El ácido ascórbico fue descubierto en 1924 por Szent-Györgyi en el curso de un estudio sobre la oxidación celular (Moll y Moll, 1990). El ácido ascórbico se introdujo como antioxidante en la industria cervecera, para ser utilizado posteriormente en otras industrias alimentarias. Asimismo, el ácido ascórbico y sales como ascorbatos de sodio o de calcio así como el palmitato de ascorbilo son considerados frecuentemente como sinérgicos porque potencian las propiedades antioxidantes de otros compuestos. Se utilizan principalmente para estabilizar aceites vegetales.

Los antioxidantes descritos hasta el momento están clasificados como aditivos aprobados para el uso alimentario según el Real Decreto 145/1997 de 31 de enero (B.O.E. Nº 70 de 22-03-97), frente a otros antioxidantes, como la difenilamina (DPA) y la etoxiquina, que se consideran productos fitosanitarios utilizados en tratamientos poscosecha (De Liñan, 1998). El DPA es un antioxidante de tipo amino capaz de inhibir la oxidación del α -farnaseno tanto *in vitro* como *in vivo* (Ingle y D'Souza, 1989). Se trata de un compuesto liposoluble que se distribuye principalmente en la cutícula del fruto, donde tiene lugar la oxidación del α -farnaseno a compuestos trieno conjugados (Piretti et al., 1994), lo cual facilita la inhibición de este proceso por parte del antioxidante. Según Lurie et al. (1989) resulta interesante estudiar los efectos fisiológicos de la aplicación del DPA, ya que este compuesto puede controlar el escaldado gracias a su actividad antioxidante sobre procesos diversos, adicionalmente al ya reconocido sobre la oxidación del α -farnaseno. El tratamiento con DPA reduce la actividad de enzimas como la catalasa, la peroxidasa y la lipoxigenasa (Lurie et al., 1989; Du y Bramlage, 1995). El efecto inhibitorio sobre enzimas oxidativas hace pensar que el DPA actúa como antioxidante a nivel general y no sólo inhibiendo concretamente la oxidación del α -farnaseno. La aplicación de DPA también inhibe la acción de la PPO (Lurie et al., 1989) por lo que, según estos autores, este antioxidante podría frenar el desarrollo de escaldado superficial manteniendo un alto poder reductor y además disminuyendo la actividad de la PPO. También es posible que el DPA complemente la actividad de los antioxidantes endógenos del fruto (Du y Bramlage, 1995), aumentando así la resistencia de la célula al desarrollo de la fisiopatía.

Aplicación y efecto de los productos antioxidantes en los frutos

La adición de antioxidantes para evitar la oxidación de los alimentos es una técnica utilizada por el hombre desde hace mucho tiempo. En los frutos una aplicación concreta de los antioxidantes es su utilización para prevenir el escaldado superficial. Los productos que han

conseguido resultados más espectaculares son el DPA y la etoxiquina. La utilización de DPA para el control del escaldado superficial se inició en los años 50, gracias a Smock quien descubrió la acción inhibitoria de este antioxidante sobre el escaldado (Smock, 1956). Posteriormente Huelin y Coggiola (1970a) demostraron que el DPA inhibe la oxidación del α -farnaseno. A partir de esa época, el tratamiento poscosecha con DPA ha sido el principal método de control del escaldado superficial (Chen y Varga, 1993). A nivel experimental, diversos autores han probado la eficacia de este antioxidante. Una aplicación de 2000 ppm de DPA controló satisfactoriamente escaldado en manzanas Cortland (Windus y Shutak, 1977) y Bramley's Seedling (Johnson et al., 1980). En la variedad Granny Smith, especialmente sensible al escaldado, la aplicación de DPA también consiguió detener la alteración (Chapon et al., 1987; Sive y Resnizky, 1989). En los años 90 este antioxidante se ha seguido ensayando en Granny Smith y se han confirmado resultados anteriores (Dodd et al., 1993; Nardin, 1993). La máxima eficacia del tratamiento con DPA se consigue al aplicar el producto inmediatamente después de la cosecha y va disminuyendo conforme se retrasa la aplicación. Los tratamientos después de 2 meses de almacenamiento no detienen la alteración (Nardin, 1993; Ragozza et al., 1990). Según Budini et al. (1989) es probable que la eficacia del antioxidante se pierda cuando en el fruto se han alcanzado unos determinados niveles de hidroperóxidos trieno conjugados.

La acción del DPA sobre el escaldado superficial ha sido ampliamente estudiada pero apenas se conoce el efecto de este antioxidante sobre otros procesos fisiológicos del fruto. Hardenberg y Anderson (1961) determinaron que el DPA no ejerce ningún efecto negativo sobre la firmeza ni sobre la senescencia del fruto. A nivel fisiológico Sims (1962) encontró que el DPA disminuye la respiración, mientras que la etoxiquina la aumenta. Lurie et al. (1989) observaron que la respiración y la producción de etileno disminuye en las manzanas tratadas con DPA. Esta inhibición del proceso de maduración se manifestó además por una mayor retención de la firmeza y de la acidez. El mantenimiento de la calidad del fruto ayuda a retardar la senescencia y los procesos oxidativos asociados a la misma, siendo este otro probable mecanismo de control del DPA frente al escaldado.

Hasta el momento, los antioxidantes DPA y etoxiquina se continúan utilizando en el control del escaldado superficial. En España, el límite máximo de residuo autorizado en manzanas es de 5 y 3 ppm, para DPA y etoxiquina respectivamente (García de Otazo, 1996). No obstante, la preocupación de los efectos de estos compuestos químicos sobre la salud humana pone en duda su utilización a largo término. Su uso ya no está autorizado en todos los países; tanto uno como el otro tienen pocas posibilidades de ser admitidos en todos los países miembros de la Unión Europea, norte de Europa y Suiza. Como consecuencia es necesario considerar otros tratamientos alternativos para el control del escaldado como por ejemplo antioxidantes aprobados para el uso alimentario como aditivos.

Existen numerosas referencias acerca del efecto de los aditivos antioxidantes sobre alimentos procesados o no, pero apenas se describe en la bibliografía su efecto sobre los frutos para el control del escaldado superficial. En algunas de las primeras experiencias se consideró que el BHT podía reducir la incidencia de escaldado (Gough et al., 1973), pero que el α -tocoferol y BHA resultaban inefectivos (Anet y Coggiola, 1974). Más recientemente se ha comprobado que el BHT y el α -tocoferol pueden controlar parcialmente la alteración dependiendo de la dosis aplicada, aunque el palmitato de ascorbilo es el que ejerce un mejor control comparado con el resto de los aditivos antioxidantes ensayados (Dodd et al., 1993). En este ensayo se

había utilizado un aceite como portador del palmitato de ascorbilo. En cambio este antioxidante aplicado en forma de disolución acuosa no siempre resulta efectivo (Watkins et al., 1988; Chellew y Little, 1995). Si se aporta disuelto en etanol los resultados también son muy satisfactorios aunque se cree que es más un efecto del etanol que del propio antioxidante, ya que el etanol por sí solo permite una reducción significativa de la alteración (Chellew y Little, 1995; Wang et al., 1997; Lo Scalzo y Testoni, 1997). Asimismo, soluciones de BHT en etanol fueron capaces de controlar el escaldado en manzana Granny Smith (Wills y Scott, 1977). En suspensiones acuosas, el BHT parece ser que tiene que aplicarse a dosis elevadas y/o repetidamente para ser efectivo (Blanpied, 1993; Kallay, 1994), aunque ello depende de la variedad y de la campaña agrícola. El galato de propilo se ha utilizado muy poco para el control del escaldado superficial y en los escasos ensayos realizados se ha mostrado poco efectivo (Kallay, 1994; Bauchot y John, 1996).

Si poca es la información acerca del papel de los antioxidantes de uso alimentario en la prevención del escaldado superficial, más limitado resulta todavía el conocimiento de su efecto a nivel cualitativo en el fruto. Manseka y Vasilakakis (1993) observaron que baños poscosecha con ácido ascórbico mejoran ligeramente la retención de la firmeza, pero no afectan a la acidez valorable ni al contenido de ácido ascórbico del fruto. A nivel fisiológico se conoce que el galato de propilo inhibe la conversión del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (precursor inmediato del etileno) a etileno (Guy y Kende, 1984; Su, 1985).

Referencias bibliográficas

- ANET, E.F.L.J. 1972. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. IX. Effect of maturity and ventilation. *J. Sci. Food Agric.*, 23:763-769.
- ANET, E.F.L.J. 1974. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. XI. Apple antioxidants. *J. Sci. Food Agric.*, 25:299-304.
- ANET E.F.L.J., COGGIOLA, I.M. 1974. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. X. Control of α -farnesene autoxidation. *J. Sci. Food Agric.*, 25:293-298.
- BAUCHOT, A.D., JOHN, P. 1996. Scald development and the levels of α -farnesene and conjugated triene hydroperoxides in apple peel after treatment with sucrose ester-based coatings in combination with food-approved antioxidants. *Postharvest Biol. Technol.*, 7:41-49.
- BELITZ, H.D., GROSCH, W. 1988. *Química de los alimentos*. Acribia, Zaragoza. I.S.B.N.: 84-200-0631-9.
- BISBY, R.H., AHMED, S., CUNDALL, R.B. 1984. Repair of amino acid radicals by a vitamin E analogue. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 119:245-251.
- BLANPIED, G.D. 1993. Effect of repeated postharvest applications of butylated hydroxytoluene (BHT) on storage scald of apples. *Proceedings of the Sixth International Controlled Atmosphere Research Conference, Ithaca, New York. Vol.2.* 466-469.
- B.O.E. N° 70, de 22 marzo 1997. Real Decreto 145/1997, de 31 de enero, por el que se aprueba la lista positiva de aditivos distintos de colorantes y edulcorantes para su uso en la elaboración de productos alimenticios, así como sus condiciones de utilización. 9378-9418.
- BRAMLAGE, W.J., MEIR, S. 1990. Chilling injury of crops of temperate origin, p. 37-49. En: C.Y. Wang (ed.). *Chilling injury of horticultural crops*. CRC Press, Boca Raton, Fla.

- BUDINI, R.A., PRATELLA, G.C., GALLERANI, G. 1989. The role of peroxides in the pathogenesis of apple scald: a biochemical index for its prediction. *Adv. Hort. Sci.*, 3: 106-108.
- CHAPON, J.F., NGUYEN-THE, C., BOMPEIX, G. 1987. L'échaudure des pommes. Traitement à l'aide de diphenylamine appliquée par thermonébulisation. *Arb. fruitière*, N° 398.
- CHELLEW, J.P., LITTLE, C.R. 1995. Alternative methods of scald control in Granny Smith apples. *Journal of Horticultural Science*, 70:109-115.
- CHEN, P.M., VARGA, R.J., XIAO, Y.Q. 1993. Inhibition of α -farnesene biosynthesis and its oxidation in the peel tissue of d'Anjou pears by low-O₂ / elevated CO₂ atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.*, 3: 215-223.
- CORT, W.M. 1974. Antioxidant activity of tocopherols, ascorbyl palmitate, and ascorbic acid and their mode of action. *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, 51:321.
- DE LIÑAN, C. 1998. *Vademecum de productos fitosanitarios y nutricionales*. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid.
- DODD, M.C., BESTER, R., LOTZ, E., COMBRINK, J.C. 1993. Alternative antioxidants for control of superficial scald. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*, Vol.4. N° 2. 33-34.
- DORKO, C. 1994. Antioxidants used in foods. *Food Technol.*, 48:33.
- DU, Z., BRAMLAGE, W. J. 1995. Peroxidative activity of apple peel in relation to development of poststorage disorders. *HortScience*, 30:205-209.
- DZIEZAK, J.D. 1986. Preservatives: antioxidants. The ultimate answer to oxidation. *Food Technol.*, 40:94-97.
- FAHRENHOLTZ, S.R., DOLEIDEN, F.H., TROZZOLO, A.M., LAMOLA, A.A. 1974. On the quenching of singlet oxygen by α -tocopherol. *Photochem. Photobiol.*, 20:505-509.
- FOOTE, C.S., CLOUGH, R.L., YEE, B.G. 1978. Photooxidation of tocopherols. En: *Tocopherol, Oxygen and Biomembranes* (C. deDuve y O. Hayaishi, eds.). Elsevier, Amsterdam.
- FUKUZAWA, K., GEBICKI, J.M. 1983. Oxidation of α -tocopherol in micelles and liposomes by the hydroxyl, perhydroxyl, and superoxide free radicals. *Arch. Biochem. Biophys.*, 226:242-251.
- GARCIA DE OTAZO, J. 1996. Problemática de los residuos. Futuro de la lucha postcosecha. *Fruticultura profesional*, 83:119-126.
- GOUGH, R.E., SHUTAK, V.G., OLNEY, C.E., DAY, H. 1973. Effect of butylated hydroxytoluene (BHT) on apple scald. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 98:14-15.
- GUY, M., KENDE, H. 1984. Conversion of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid to ethylene by isolated vacuoles of *Pisum sativum* L. *Planta*, 160:281-287.
- HARDENBERG, R., ANDERSON, R. 1961. Further evaluation of diphenylamine for the control of apple scald. *Proc. Am. J. Hort. Sci.*, 75:47-52.
- HUELIN, F.E., COGGIOLA, I.M. 1968. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. IV. Effect of variety, maturity, oiled wraps and diphenylamine on the concentration of α -farnesene in the fruit. *J. Sci. Food Agric.*, 19:297-301.
- HUELIN, F.E., COGGIOLA, I.M. 1970a. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. V. Oxidation of α -farnesene and its inhibition by diphenylamine. *J. Sci. Food Agric.*, 21: 44-48.
- HUELIN, F.E., COGGIOLA, I.M. 1970b. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. VII. Effects of applied farnesene, temperature, and diphenylamine on scald and the concentration and oxidation of α -farnesene in the fruit. *J. Sci. Food Agric.*, 21:584-589.

- INGLE, M., D'SOUZA, M.C. 1989. Physiology and control of superficial scald of apples: a review. *HortScience*, 24:28-31.
- JOHNSON, D.S., ALLEN, J.G., WARMAN, T.M. 1980. Post-harvest application of diphenylamine and ethoxyquin for the control of superficial scald on Bramley's Seedling apples. *J. Sci. Food Agric.*, 31:1189-1194.
- KALLAY, T. 1994. New measures against superficial scald of apples. *Acta Horticulturae*, 368:220-224.
- LO SCALZO, R., TESTONI, A. 1997. Combined techniques of storage to prevent superficial scald in "Stark Delicious" apples. Seventh International Controlled Atmosphere Research Conference, Davis, California. Vol.2. 211-218.
- LOURY, M. 1972. Les antioxygènes: structure, mécanisme d'action, application aux corps gras. *Revue Française des Corps Gras*, 19:243-245.
- LOURY, M., BLOCH, C., FRANÇOIS, R. 1966. Conditions d'emploi du tocophérol comme antioxygène dans les corps gras. *Revue Française des Corps Gras*, 13:747-754.
- LURIE, S., KLEIN, J., BEN ARIE, R. 1989. Physiological changes in diphenylamine-treated Granny Smith apples. *Isr. J. Bot.*, 38:199-207.
- MANSEKA, V.S., VASILAKAKIS, M. 1993. Effect of stage of maturity, postharvest treatments and storage conditions on superficial scald and quality of apples. *Acta Horticulturae*, 326:213-224.
- MOLL, N., MOLL, M. 1990. Additifs alimentaires et auxiliaires technologiques. Masson, Paris. I.S.B.N.: 2-225-82053-8.
- NARDIN, C. 1993. Chemical control of scald on apples. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*, Vol.4. N° 2. 24-26.
- PARKER, R.S. 1989. Dietary and biochemical aspects of vitamin E. *Advances in Food and Nutrition Research*, 33:157-231.
- PASCAL, G. 1986. Antioxidantes y sinérgicos. Simposio Internacional: Los aditivos en la industria agroalimentaria. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. I.S.B.N.: 84-7479-683-0.
- PIRETTI, M.V., GALLERANI, G., PRATELLA, G.C. 1994. Polyphenol fate and superficial scald in apple. *Postharvest Biol. Technol.*, 4:213-224.
- PIRETTI, M.V., GALLERANI, G., BRODNIK, U. 1996. Polyphenol polymerisation in apple superficial scald. *Postharvest Biol. Technol.*, 8:11-18.
- PORTER, W.L. 1980. Recent trends in food applications of antioxidants. En: *Autoxidation in Food and Biological Systems* (M. G. Simic y M. Karel, eds.). Plenum Press, New York.
- RAGOZZA, L., LOVATI, F., GORINI, F. 1990. Postharvest treatments with DPA to prevent storage scald in Delicious apples. XXIII International Horticultural Congress, p. 665.
- SABATER, F. 1990. Radicales libres y especies afines. *Sociedad Española de Fisiología Vegetal. Boletín N° 14*, 3-13.
- SANDALIO, L.M., del RIO, L.A. 1991. Especies de oxígeno activado en situaciones de estrés en plantas. *Sociedad Española de Fisiología Vegetal. Boletín N° 15*, 3-10.
- SHERWIN, E.R. 1976. Antioxidants for vegetable oils. *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, 53:430-436.
- SHERWIN, E.R. 1978. Oxidation and antioxidants in fat and oil processing. *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, 55:809-814.

- SIMS, E.T. 1962. The influence of certain compounds on scald inhibition and metabolism in the apple. *Diss. Abstr.*, 23: 387.
- SIVE, A., RESNIZKY, D. 1989. Thermal fogging with DPA and ethoxyquin. *Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington. Vol.1.* 457-464.
- SMOCK, R.M. 1956. A promising new method of scald control. *Proc. N. Y. State Hortic. Soc.*, 101:102-104.
- SU, L.Y. 1985. Metabolism of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid in higher plants. *Dissertation Abstracts International, B. Sciences and Engineering*, 46:2, 384B.
- WANG, Z., McCULLY, T.J., DILLEY, D.R. 1997. The effect of ultra low oxygen, initial oxygen stress and ethanol vapor treatments on controlling superficial scald of Granny Smith, Law Rome, Red Delicious and Idared apples. *Seventh International Controlled Atmosphere Research Conference, Davis, California. Vol.2.* 105 -111.
- WATKINS, C.B., HARMAN, J.E., HOPKIRK, G. 1988. Effects of lecithin, calcium, and antioxidant formulations on superficial scald and internal breakdown of Granny Smith apples. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 16:55-61.
- WILLS, R.B.H., SCOTT, J.K. 1977. Evaluation of the use of butylated hydroxytoluene to reduce superficial scald of apples. *Scientia Hort.*, 6:125-127.
- WINDUS, N.D., SHUTAK, V.G. 1977. Effect of ethephon, diphenylamine, and daminozide on the incidence of scald development on Cortland apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 102: 715-718.

LOS RECUBRIMIENTOS SEMIPERMEABLES DE SUCROESTERES

Tipos de recubrimientos aptos para los productos vegetales

La utilización de recubrimientos para frutas y hortalizas no es una técnica nueva, existiendo referencias ya en los siglos XIII y XIV (Hardenburg, 1967). En el presente siglo, desde que se descubrieron los efectos beneficiosos del almacenamiento en atmósferas con control gaseoso (Kidd y West, 1927), se han realizado intentos para encontrar recubrimientos que simulen la acción de la atmósfera controlada, permitiendo una permeabilidad diferencial para el oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua a través de la película que envuelve al fruto.

Los compuestos aptos para el consumo más utilizados como componentes de los recubrimientos son los lípidos, resinas, polisacáridos y proteínas. Generalmente los recubrimientos están constituidos por uno o más de estos compuestos principales. Además se pueden añadir ceras y aceites para mejorar la flexibilidad y la elongación (Chuah et al., 1983; Andres, 1984; Gennadios y Weller, 1990). La adición de agentes tensoactivos permite reducir la actividad superficial del agua y retener mejor la humedad del producto hortofrutícola (Roth and Loncin, 1984). Los lubricantes pueden añadirse para evitar la pegajosidad del recubrimiento (Baldwin et al., 1995).

Un recubrimiento ideal es aquel que crea una barrera homogénea alrededor del fruto capaz de retrasar la pérdida de agua y limitar el intercambio de CO_2 y O_2 a través de la epidermis, creando una atmósfera modificada en el interior del fruto con un alto contenido de CO_2 y bajo de O_2 . Los recubrimientos compuestos por polisacáridos se adhieren bien a la superficie de los frutos y generalmente son buenas barreras para los gases, pero por su naturaleza hidrofílica constituyen una barrera débil para la humedad (Swenson et al., 1953; Kester y Fennema, 1988). Además, la temperatura y la humedad relativa de almacenamiento pueden afectar a las propiedades y comportamiento de los recubrimientos. Cuando la humedad relativa es elevada, los recubrimientos hidrofílicos pueden incorporar agua en su estructura, aumentando la permeabilidad a los gases. Las proteínas son buenas constituyentes para los films, pero en muchos casos no resisten la difusión del vapor de agua (Gennadios y Weller, 1990; Rendell-Dunn, 1990). Los recubrimientos a base de lípidos son generalmente barreras efectivas para la humedad, mientras que los que contienen resinas son más permeables al vapor de agua, aunque no tanto como los recubrimientos de polisacáridos. Por contra, algunos lípidos y muchas resinas pueden provocar condiciones anaeróbicas a elevadas temperaturas debido a su baja permeabilidad a los gases.

Los recubrimientos a base de lípidos están compuestos por ceras y aceites como cera de carnauba o de parafina, aceites minerales o vegetales, ácido esteárico, ácido láurico y ésteres de ácidos grasos y de sacarosa. Estos recubrimientos han sido investigados durante años como una medida para conservar el fruto (Trout et al., 1953). Experiencias en que se utilizaron

solamente aceites minerales y vegetales fracasaron ya que modificaban el intercambio gaseoso a través de la piel del fruto provocando anaerobiosis en su interior (Hulme, 1949). Más tarde fueron investigados los recubrimientos a base de poliésteres de ácidos grasos, siendo los recubrimientos de ésteres de ácidos grasos y de sacarosa en particular desarrollados con éxito más recientemente.

La mayoría de recubrimientos que presentan como únicas propiedades las derivadas de los sucroésteres están formados por tres tipos de compuestos aprobados para su uso directo en los alimentos: (a) sacarosa mono y/o diésteres de ácidos grasos, saturados o insaturados, de 12 a 22 carbonos de longitud. Constituyen el ingrediente activo del recubrimiento ya determinan su permeabilidad; (b) un polisacárido transportador, que modifica la viscosidad del recubrimiento cuando se dispersa en agua y permite formar un film uniforme que se adhiere a la superficie del fruto. Generalmente se utiliza carboximetilcelulosa de sodio; (c) un antiespumante que controla la formación de espuma característica de los sucroésteres. Como antiespumantes pueden utilizarse mezclas de mono y diglicéridos de ácidos grasos derivados de aceites vegetales comestibles, silicona, etc.

Se han desarrollado numerosas formulaciones a base de poliésteres de ácidos grasos y de sacarosa. Una mezcla de sucroésteres de ácidos grasos más carboximetilcelulosa de sodio, comercializada bajo el nombre de "Prolong", fue desarrollada para retrasar la maduración en plátanos (Lowings y Cutts, 1982). Posteriormente se formuló un nuevo recubrimiento denominado "Semperfresh" que mejoraba la formulación anterior. Este compuesto, que incorpora una mayor proporción de ésteres de ácidos grasos insaturados de cadena corta, es más soluble en agua y recubre más adecuadamente el fruto (Kerbel et al., 1989). Recientemente un recubrimiento sucroéster conocido como "Nu Coat Flo", donde la carboximetilcelulosa de sodio ha sido reemplazada por goma guar, ha demostrado ser bastante prometedor (K. James, comunicación personal, director técnico de "Surface Systems International Ltd.", U.K.). Estos recubrimientos actualmente son distribuidos por la empresa citada.

Mecanismo de acción de los recubrimientos de sucroésteres de ácidos grasos

Los recubrimientos de sucroésteres de ácidos grasos ("sucrose polyester" o SPE) trabajan fundamentalmente a nivel superficial, y no mediante una migración hacia la pulpa (Dinamarca et al., 1989). El mecanismo de estos recubrimientos se basa en la restricción de la permeabilidad de la piel del fruto a los gases que controlan la maduración. El fruto respira a través de los estomas y lenticelas situados en su superficie, que permiten el paso del oxígeno atmosférico hacia el interior y la salida del dióxido de carbono formado como consecuencia de la respiración. Después de un tratamiento mediante baño, ducha o pulverización, el recubrimiento se seca en la superficie del fruto formando una membrana incolora, inodora, insípida y biodegradable que es diferencialmente permeable. Esta membrana limita el acceso del O₂ al fruto pero permite salir gran parte del CO₂, modificando el balance gaseoso de su interior, donde se produce una atmósfera modificada. La atmósfera modificada reduce la tasa de respiración y la producción de etileno e inhibe la acción de esta hormona como consecuencia del elevado contenido de CO₂ en el fruto (Sisler y Wood, 1988).

La permeabilidad diferencial a los gases podría explicarse por la naturaleza higroscópica de los recubrimientos que pueden retener una fina capa de agua. El CO₂ se disuelve y se difunde a

través del agua veinte veces más rápido que el O_2 . El O_2 al presentar una relativa dificultad para disolverse y difundirse en el agua, tiene una entrada mucho más limitada en el fruto, a diferencia del escape de CO_2 (Curtis, 1988). Ensayos sobre la permeabilidad de la piel de diversos frutos como plátanos, manzanas y peras cubiertos con sucroésteres demuestran que la permeabilidad al O_2 se reduce en un 85-95%, mientras que la permeabilidad al CO_2 se reduce tan sólo en un 10-15%.

Aunque como consecuencia del recubrimiento la concentración de CO_2 en el fruto aumenta y se mantienen niveles bajos de O_2 , no llegan a alcanzarse niveles tóxicos que puedan provocar anaerobiosis. En plátanos verdes tratados con sucroésteres, Banks (1983) detectó unos porcentajes de O_2 y CO_2 cercanos al 2% y 6,5%, respectivamente. Drake et al. (1987) en manzanas tratadas y almacenadas durante 60 días a 0 °C detectaron una concentración de CO_2 próxima al 3,5%. Así, los recubrimientos SPE actúan creando un balance gaseoso semejante al que se alcanza en el almacenamiento en atmósfera controlada.

Efectos de los recubrimientos de sucroésteres de ácidos grasos

El efecto más obvio de estos recubrimientos es la reducción de la velocidad de maduración como consecuencia de la alteración del metabolismo del fruto. El retraso de la maduración ayuda a preservar la calidad del fruto. Entre los efectos beneficiosos derivados de la utilización de recubrimientos están la retención de la firmeza y del color, la reducción de la pérdida de peso y de la incidencia de alteraciones fisiológicas (Dinamarca et al., 1989).

Los recubrimientos a base de ésteres de sacarosa han sido probados extensamente en numerosos productos vegetales como plátanos, piñas, cítricos, melones, aguacates, ciruelas, peras, manzanas etc, obteniendo en muchos casos resultados positivos. En plátanos, se ha observado que la aplicación de Prolong modifica la concentración interna de O_2 , CO_2 y etileno y mantiene el color y el contenido en azúcares (Banks, 1994a, 1994b). Este compuesto también reduce la pérdida de peso y ralentiza el proceso de maduración en otros productos de origen tropical o subtropical, como por ejemplo en mangos (Dhalla y Hanson, 1988) y en limas (Motlagh y Quantick, 1988).

Asimismo, el recubrimiento con Semperfresh en plátanos reduce la velocidad de maduración (Marchal et al., 1987) lo cual se manifiesta por una desverdización y ablandamiento más lentos de los frutos tratados (Al-Zaemey et al., 1989; Fuchs et al., 1989).

La formulación Semperfresh también se ha ensayado numerosas veces en cítricos donde se busca evitar la pérdida de peso y aumentar la capacidad de maduración, así como mejorar parámetros cualitativos como la turgencia, el contenido en zumo y el aspecto brillante de la corteza, entre otros. El tratamiento con 1,25% de Semperfresh en naranjas mejora la turgencia y el aroma, aunque también favorece la producción de etanol (Curtis, 1988). En Clementinas, la aplicación de Semperfresh incrementa el ratio ácidos/azúcares, la turgencia y mantiene el color durante más tiempo (Curtis, 1989). Únicamente el aspecto externo más brillante y un mayor control de la pérdida de peso se ven superados por la aplicación de ceras. Tratamientos alternativos como Semperfresh combinado con ceras (Curtis, 1988) u otros recubrimientos como "Jonafresh" (Bayindirli et al., 1995), que incluye ceras de carnauba en su formulación, pueden ser una solución al problema anterior.

En manzanas, al igual que en otras especies, la aplicación de Prolong provoca cambios en la atmósfera interna, disminuyendo el contenido de O₂ y aumentando el de CO₂ (Banks, 1985). Experiencias en manzana Cox's Orange Pippin muestran que el tratamiento con esta formulación antes del almacenamiento no reduce el amarilleamiento ni la pérdida de peso y firmeza, pero aplicado después de la conservación alarga el periodo de vida útil al retener el color y la firmeza, sin provocar ningún desorden fisiológico (Smith y Stow, 1984). Igualmente, en manzana McIntosh se reduce el ablandamiento durante el periodo a temperatura ambiente después de la conservación en bajo oxígeno, gracias al recubrimiento con Prolong (Chu, 1986). Tratamientos antes de la entrada en cámara pueden retener el color y la acidez (Miszcak, 1994), aunque en ocasiones la calidad de las manzanas conservadas en atmósfera controlada ha sido superior a la de las manzanas cubiertas con Prolong (Lau y Meheriuk, 1994).

Tratamientos con Semperfresh han dado resultados diversos. En manzanas Golden Delicious y Starking el tratamiento con este compuesto no provoca ningún efecto según Van Zyl et al. (1987). En peras, en cambio, el tratamiento sí que mantiene la firmeza y alarga el periodo de vida útil, aunque a veces puede dificultar el proceso natural de maduración en los frutos tratados (Meheriuk y Lau, 1985; Van Zyl y Wagner, 1986). En otras experiencias el tratamiento con Semperfresh se ha mostrado efectivo en retrasar la maduración y alargar la vida poscosecha de las manzanas, siendo los efectos más típicos la retención de la firmeza y de la coloración. Drake et al. (1987) observaron que este recubrimiento reduce la producción de etileno, retrasa la evolución del color y aumenta el contenido en ácidos en manzanas Golden Delicious conservadas en frío convencional o en atmósfera controlada. Un retraso en el desarrollo del color y una retención de la firmeza se produjo igualmente en otra experiencia con las variedades Golden Delicious y McIntosh (Santerre et al., 1989) mientras que los parámetros acidez y sólidos solubles no fueron modificados por el tratamiento. En otro ensayo continuación del anterior, realizado además con la variedad Idared, se confirmó la persistencia del color y el incremento de la firmeza, aunque en este caso el contenido en ácidos también aumentó (Chai et al., 1991). En manzanas Granny Smith tratadas con Semperfresh se mantienen el color y la firmeza, mientras que la respiración y la producción de etileno disminuyen (Kerbel et al., 1989). Otros parámetros, como la pérdida de peso pueden disminuir gracias al recubrimiento (Koksal et al., 1994).

Los recubrimientos a base de ésteres de sacarosa también influyen en la aparición de alteraciones fisiológicas como el corazón rosado ("core flush") (Lau y Meheriuk, 1994), descomposición del corazón ("core breakdown") (Kerbel et al., 1989), daños por frío ("chilling injury") (Fuchs et al., 1989), etc. Al modificar la atmósfera interna del fruto, el recubrimiento afecta un gran número de procesos fisiológicos. Concretamente, como consecuencia del efecto antioxidante, se puede reducir el desarrollo de escaldado superficial. Se ha visto que la aplicación de Semperfresh reduce esta fisiopatía en pera Bartlett (Dinamarca et al., 1989) y pera d' Anjou (Meheriuk y Lau, 1985). Según Chellew y Little (1995) este recubrimiento solamente es capaz de reducir la alteración si las manzanas tratadas se conservan en atmósfera controlada.

Desde un punto de vista sensorial, se han realizado evaluaciones para ver si el producto en sí afecta al sabor de los frutos tratados, comprobando en manzanas que ni el flavor ni la textura se ven modificados (Santerre et al., 1989). En plátanos, paneles de catadores no fueron capaces de detectar diferencias organolépticas entre frutos madurados con o sin Semperfresh (Al-Zaemey et al., 1989; Fuchs et al., 1989).

Aplicación de los recubrimientos de sucroésteres de ácidos grasos

Gracias a los efectos que producen, los recubrimientos a base de sucroésteres pueden constituir un tratamiento complementario a la frigoconservación convencional para mantener más adecuadamente la calidad. Aspectos como la persistencia del color, firmeza, turgencia, incremento de la acidez, etc, afectan directamente a la capacidad de almacenamiento y a la calidad organoléptica de los frutos. Por ello, junto con la elección de la madurez adecuada en el momento de la recolección y el mantenimiento de las condiciones óptimas en la cámara frigorífica, la utilización de recubrimientos puede resultar útil para prolongar el periodo de comercialización gracias a la extensión de la vida poscosecha que provocan, especialmente después de la salida de la cámara (Dinamarca et al., 1989). Como se ha descrito en el apartado anterior, el efecto positivo del recubrimiento depende ya no de la especie, sino de la propia variedad. Además, existen variedades susceptibles a la aparición de alteraciones internas por estos recubrimientos que modifican la atmósfera interna del fruto (Dinamarca et al., 1989). Por esta razón, se deben realizar ensayos en cada caso particular para comprobar la efectividad del tratamiento y las mejores condiciones de su aplicación. En general, el producto debería ser aplicado lo más pronto posible después de la cosecha, para evitar que el proceso de la maduración comience antes de la aplicación. En ocasiones se han observado mejores resultados suministrando el producto mediante pulverización (Dinamarca et al., 1989).

Los recubrimientos sucroésteres permiten un almacenamiento más prolongado pero como no son fungicidas, el desarrollo de mohos puede ser problemático. Sin embargo, estos recubrimientos son compatibles con la mayoría de los fungicidas convencionales. Estos recubrimientos también son compatibles, en general, con otros tratamientos poscosecha como las sales de calcio y los antioxidantes. El cloruro cálcico puede ser incorporado a los recubrimientos para mejorar la textura y el color, y los antioxidantes ayudan a proteger contra el enranciamiento oxidativo, la degradación y la pérdida de color (Baldwin et al., 1995). En champiñones enteros o troceados, la aplicación del recubrimiento redujo el pardeamiento enzimático, especialmente cuando se incorporaba junto con un antioxidante (Nisperos-Carriedo et al., 1991). En manzana, Bester (1987) comprobó que el escaldado superficial puede ser controlado con una dosis baja de difenilamina si se aplica conjuntamente con el recubrimiento, aunque los resultados son dispares según diversos autores. Van Schaik y Slaats (1990) encontraron que el Semperfresh reduce mejor el escaldado que elevadas dosis de difenilamina, mientras que para Kerbel et al. (1989), este compuesto no reduce la incidencia y en determinados casos incluso puede agravarla. Los recubrimientos a base de ésteres de sacarosa también constituyen un medio adecuado para la aplicación de antioxidantes de uso alimentario como el butilhidroxitolueno, los tócoferoles, el palmitato de ascorbilo y el galato de propilo. Little y Barrant (1989) comprobaron que los recubrimientos sucroésteres en combinación con el ácido ascórbico reducían la incidencia de escaldado superficial en manzana Granny Smith. Además, el efecto antioxidante del recubrimiento permite reducir la dosis aplicada de los compuestos antioxidantes según Kallay (1994).

Referencias bibliográficas

AL-ZAEMEY, A.B.S., FALANA, I.B., THOMPSON, A.K. 1989. Effects of permeable fruit coatings on the storage life of plantain and bananas. *Aspects of Applied Biology*, 20:73-80.

- ANDRES, C. 1984. Natural edible coating has excellent moisture and grease barrier properties. *Food Processing*, Dec:48-49.
- BALDWIN, E.A., NISPEROS-CARRIEDO, M.O., BAKER, R.A. 1995. Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, 30:35-38.
- BANKS, N.H. 1983. Evaluation of methods for the determining internal gases in banana fruit. *J. Exp. Bot.*, 34:871.
- BANKS, N.H. 1984a. Some effects of TAL Pro-long coating on ripening bananas. *J. Exp. Bot.*, 35:127.
- BANKS, N.H. 1984b. Studies of the banana fruit surface in relation to the effects of TAL Pro-long coating on gaseous exchange. *Sci. Hort.*, 24:279-286.
- BANKS, N.H. 1985. Internal atmosphere modification in Pro-long coated apples. *Acta Horticulturae*, 157:105-112.
- BAYINDIRLI, L., SÜMNÜ, G., KAMADAN, K. 1995. Effects of Semperfresh and Jonafresh fruit coatings on poststorage quality of "Satsuma" mandarins. *Journal of Food Processing and Preservation*, 19:399-407.
- BESTER, R. 1987. Superficial scald on apples. Report of the Department's Technical and Quality Control, 1986/87 season, South African Deciduous Fruit Board, 2-5.
- CHAL, Y., OTT, D.B., CASH, J.N. 1991. Shelf-life extension of Michigan apples using sucrose polyester. *Journal of Fruit Processing and Preservation*, 15:197-214.
- CHELLEW, J.P., LITTLE, C.R. 1995. Alternative methods of scald control in Granny Smith apples. *Journal of Horticultural Science*, 70:109-115.
- CHU, C.L. 1986. Poststorage application of TAL Pro-long on apples from controlled atmosphere storage. *HortScience*, 21:267-268.
- CHUAH, E.C., IDRUS, A.Z., LIM, C.L., SEOW, C.C. 1983. Development of an improved soya protein-lipid film. *J. Food Technol.*, 18:619-627.
- CURTIS, G.J. 1988. Some experiments with edible coatings on the long-term storage of citrus fruits. *Proceedings of the Sixth International Citrus Congress, Tel Aviv, Israel*. R. Goren and K. Mendel (Eds). Margraf Scientifics Books, Weikersheim, 39-44.
- CURTIS, G.J. 1989. The value of ester based fruit coatings in the conservation of citrus fruit, with particular reference to Clementines. *Citrus Technical Bulletin* N° 3.
- DHALLA, R., HANSON, S.W. 1988. Effect of permeable coatings on the storage life of fruits. II. Prolong treatment of mangoes (*Mangifera indica* L.cv. Julie). *Int. J. Food Sci. Technol.*, 23:107-112.
- DINAMARCA, E.A., MITCHELL, F.G., KADER, A.A. 1989. Use of sucrose esters as delaying agents of ripening of pears and plums. *Rev. Fruticola*, 10:116-121.
- DRAKE, S.R., FELLMAN, J.K., NELSON, J.W. 1987. Postharvest use of sucrose polyesters for extending the shelf-life of stored "Golden Delicious" apples. *J. Food Science*, 52:1283-1285.
- FUCHS, Y., TEMKIN-GORODEISKI, N., GREENBERG, S., KOPEL, A., WEKSLER, A., ROT, I., PESIS, E., MRINANSKY, R., BARKAI-GOLAN, R. 1989. Evaluation of Semperfresh as a post harvest treatment for fresh fruits and vegetables. Report of the Department of fruit and vegetable storage. Institute for Technology and Storage of Agricultural products, ARO: the Volcani Centre, Bet Dagan, Israel. 31 pp.
- GENNADIOS, A., WELLER, C.L. 1990. Edible films and coatings from wheat and corn proteins. *Food Technol.*, 44:63-69.
- HARDENBURG, R.E. 1967. Wax and related coatings for horticultural products. A bibliography. *Agr. Res. Bul.*

51-15, U.S. Dept. of Agr., Washington, D.C.

HULME, A.C., 1949. The storage of apples: interim report on skin-coatings. DSIR Food Investigation Technical Paper, N°1.

KALLAY, T. 1994. New measures against superficial scald of apples. *Acta Horticulturae*, 368: 220-224.

KERBEL, E.L., MITCHELL, F.G., KADER, A.A., MAYER, G. 1989. Effects of Semperfresh coating on postharvest life, internal atmosphere modification and quality maintenance of Granny Smith apples. Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington. Vol.1. 247-252.

KESTER, J.J., FENNEMA, O.R. 1988. Edible films and coatings: A review. *Food Technol.*, 42:47-59.

KIDD, F., WEST, C. 1927. Gas storage of fruit. DSIR Special Report Food Investigation. N° 30.

KOKSAL, A.I., DUMANOGLU, H., TUNA, N., SASS, P. 1994. The effect of Semperfresh on the storage of Williams pear and Starkspur Golden Delicious apple cultivars. *Acta Horticulturae*. 368:793-801.

LAU, O.L., MEHERIUK, M. 1994. The effect of edible coatings on storage quality of McIntosh, Delicious and Spartan apples. *Canadian Journal of Plant Science*, 74:847-852.

LITTLE, C.R., BARRAND, L. 1989. Seasonal orchard and storage conditions affecting storage scald in pome fruit. Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington. Vol.1. 177-184.

LOWINGS, P.H., CUTTS, D.F. 1982. The preservation of fresh fruits and vegetables. Proceedings of the Institute of Food Science and Technology Annual Symposium, Nottingham. 15:52-54.

MARCHAL, J., NOLIN, J., LETOREY, J. 1987. The effect on ripening of coating bananas with Semperfresh. Proceedings of the VIIth ACORBAT Meeting, Santa Maria, Columbia.

MEHERIUK, M., LAU, O.L. 1985. Effect of two polymeric coatings on fruit quality in "d'Anjou" and "Bartlett" pears. Proceedings of the Fourth National Controlled Atmosphere Research Conference. Dept. of Hort., North Carolina State Univ., Raleigh.

MISZCZAK, A. 1994. Effect of Pro-long treatment on quality of stored apples. *Acta Horticulturae*, 368:552-557.

MOTLAGH, F.H., QUANTICK, P.C. 1988. Effect of permeable coatings on the storage life of fruits. I. Prolong treatment of limes (*Citrus aurantifolia* cv. Persian). *Int. J. Food Sci. Technol.*, 23:99-105.

NISPEROS-CARRIEDO, M.O., BALDWIN, E.A., SHAW, P.E. 1991. Development of an edible coating for extending postharvest life of selected fruits and vegetables. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 104:122-125.

RENDELL-DUNN, A.J. 1990. *General news: Protein films from maize, wheat and soybeans. Will they extend fruit and vegetable shelf life.* *Postharvest News, & Info.*, 1:435.

ROTH, T., LONCIN, M. 1984. Superficial activity of water. En: B.M. McKenna (ed.) *Engineering and food*. Vol.1. 433-443. Elsevier Applied Science Publishers, London.

SANTERRE, C.R., LEACH, T.F., CASH, J.N. 1989. The influence of the sucrose polyester, Semperfresh™, on the storage of Michigan grown "McIntosh" and "Golden Delicious" apples. *Journal of Fruit Processing and Preservation*, 13:293-305.

SISLER, E.C., WOOD, C. 1988. Interaction of ethylene and CO₂. *Physiol. plant.*, 73:440-444.

SMITH, S.M., STOW, J.R. 1984. The potential of a sucrose ester coating material for improving the storage and shelf-life qualities of "Cox's Orange Pippin" apples. *Ann. Appl. Biol.*, 104:383-391.

SWENSON, H.A., MIERS, J.C., SCHULTZ, T.H., OWENS, H.S. 1953. Pectinate and pectate coatings. II. Application to nut and fruit products. *Food Technol.*, 7:232-235.

TROUT, S.A., HALL, E.G., SYKES, S.M. 1953. Effects of skin coatings on the behavior of apples in storage. *Austral. J. Agr. Res.*, 4:57-81.

VAN SCHAIK, A., SLAATS, W.J. 1990. Fruitcoating mogelijk alternatief voor CA-bewaring. *Weekblad Groenten en Fruit*, 30:77-79.

VAN ZYL, H.J., TORMANN, H., VON MOLLENDORFF, L.J. 1987. Effect of wax treatment on fruit quality of pears, apples, plums and nectarines after cold storage. *Deciduous Fruit Grower*, May, 169-172.

VAN ZYL, H.J., WAGNER, J.W. 1986. Keeping quality and shelf life of Bon Chretien pears as affected by calcium, Alar and Semperfresh. *Acta Horticulturae*, 194:223-228.

LA CONSERVACION EN ATMOSFERA CONTROLADA

Sistemas de conservación en atmósfera controlada

El término conservación en atmósfera controlada (AC) se refiere generalmente al almacenamiento refrigerado de productos en un ambiente en el que se regulan las concentraciones de oxígeno y de dióxido de carbono. Aunque se ha demostrado que es una técnica adecuada para muchos productos hortícolas, su uso comercial se encuentra prácticamente restringido a la conservación de manzanas y de algunas variedades de pera. El almacenamiento en AC se utiliza como un método para alargar el periodo de comercialización de estos frutos. Para obtener beneficios comerciales significativos, la concentración de O₂ se hace disminuir del 21%, su valor en el aire, hasta un 2-5%. El CO₂ se aumenta del 0,03% al 3-5%.

La historia y evolución del almacenamiento de manzanas en AC está bien documentada por Dalrymple (1967, 1969), quien atribuye los primeros estudios del efecto de la AC en la conservación de los frutos a Berard, en Francia, hacia el año 1819. Sin embargo, las bases científicas de la conservación de productos vegetales en AC fueron establecidas cien años más tarde por Kidd y sus colaboradores en Cambridge, donde investigaron la posibilidad de utilizar la AC como una alternativa a la frigoconservación convencional (Kidd et al., 1927) y demostraron que atmósferas ricas en CO₂ y pobres en O₂ frenan la actividad respiratoria de los frutos, prolongándose su periodo de conservación (Kidd y West, 1930).

A partir de su inicial aplicación en los años 30 y 40, la tecnología de la AC se ha ido desarrollando, con el empleo de nuevos materiales y métodos constructivos para mejorar la estanqueidad de las cámaras y la utilización de nuevos sistemas de regulación del O₂ y CO₂. Durante los años 50 y 60 aparecieron los analizadores de gases paramagnéticos y por infrarrojos, que permiten una medición rápida y precisa de las concentraciones de O₂ y CO₂ en la cámara. Estos equipos y otras innovaciones tecnológicas potenciaron a finales de los años 60 el gran desarrollo industrial de la AC como una nueva tecnología de la conservación frigorífica.

Por otra parte se han ido desarrollando nuevas aplicaciones tecnológicas de la atmósfera controlada, como por ejemplo el almacenamiento a altas concentraciones de CO₂ durante un corto espacio de tiempo (técnica conocida como "choque de CO₂"); la conservación hipobárica; la AC con reducción de etileno, aunque la AC con bajos niveles de O₂ ha sido la de mayor repercusión. Los equipos utilizados para reducir rápidamente la tasa de oxígeno y absorber el exceso de gas carbónico producido por los frutos y el control automático de la atmósfera de la cámara han permitido, a partir de los años 80, la introducción de esta nueva modalidad de conservación en AC. Según el nivel de O₂ en la cámara, se diferencian varios

tipos de AC con bajo oxígeno. Los límites de las concentraciones gaseosas de O₂ y CO₂ varían según diversos autores, pero generalmente puede considerarse que la atmósfera conocida como LO (Low Oxygen) tiene un nivel de O₂ entre 2,5 y 1,5% y la atmósfera ULO (Ultra Low Oxygen) unos valores entre 1,5 hasta 0,7%. La concentración de CO₂ generalmente debe mantenerse baja, aunque pueden alcanzarse valores entre el 1 y el 3%, aproximadamente.

Efecto de la atmósfera controlada sobre el comportamiento fisiológico del fruto

Metabolismo de los frutos climatéricos durante la maduración. Comportamiento de la variedad de manzana Granny Smith

La vida del fruto se divide fundamentalmente en tres periodos: crecimiento, maduración y senescencia. La maduración puede ser definida como la secuencia de cambios en el color, sabor y textura que permiten que el fruto sea comestible. No obstante, por debajo de estos cambios visibles, y como responsables de ellos, se produce una variación en la composición hormonal, en la composición química, en los niveles de respiración y en general, en todo el metabolismo del fruto.

Los estudios sobre maduración de frutos comienzan con los trabajos de Kidd y West en manzana, a principios de los años 20. Estos autores estudiaron los cambios en la actividad respiratoria de manzanas recogidas en distintos estados de desarrollo y almacenadas a diferentes temperaturas (Kidd y West, 1922; 1923; 1924). Se observó que tras la recolección, la producción de CO₂ disminuía a unos valores mínimos, para aumentar poco después más o menos rápidamente según la temperatura. A continuación la respiración descendía de nuevo. Se consideró que esta alteración repentina en el nivel de la respiración marcaba una transición del crecimiento a la senescencia en la vida del fruto y le dieron el nombre de "climaterio".

Posteriormente se comprobó que en muchos frutos, junto con el aumento respiratorio, tiene lugar un incremento del nivel de etileno hasta concentraciones fisiológicamente activas y que una aplicación exógena de etileno puede desencadenar el climaterio en frutos inmaduros y un proceso autocatalítico de síntesis de etileno (Pratt y Goeschl, 1969). Estos frutos, en los que hay un aumento en la respiración y en la producción de etileno cuando maduran y que además son capaces de producir etileno en respuesta a bajas concentraciones del mismo, se conocen como "frutos climatéricos". En estos frutos, la transición entre la fase de crecimiento y la de senescencia viene dada por un aumento de la respiración y por un aumento de la biosíntesis de etileno hasta concentraciones estimuladoras.

Químicamente, el etileno es uno de los compuestos orgánicos más sencillos; se trata de un hidrocarburo de dos carbonos con un doble enlace (CH₂ = CH₂). Es un gas en condiciones normales de presión y temperatura. El etileno es un producto natural del metabolismo y se produce prácticamente en todas las partes de la planta (Osborne, 1978) aunque es más abundante en el fruto. El etileno se sintetiza en los tejidos vegetales a partir de la metionina, vía S-adenosílmationina (SAM) y ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), su precursor inmediato. Las enzimas responsables de la biosíntesis, ACC sintetasa y enzima formador de etileno (EFE), actualmente conocida como ACC oxidasa, constituyen los puntos claves en el control del proceso.

Se considera generalmente que el etileno es un componente fundamental de los diferentes factores hormonales del comienzo de la maduración en frutos de tipo climatérico y también es el principal responsable de la inducción de diversos procesos metabólicos, aunque no de todos, que dan lugar a la maduración final. La síntesis de etileno es el punto de partida de una serie de reacciones que conducen al fruto a un estado de madurez. Entre las reacciones bioquímicas relacionadas con la maduración, predominan las de hidrólisis (Molinas y Duran, 1970). El almidón, principal sustancia de reserva, se hidroliza para dar azúcares sencillos, responsables del sabor dulce de la fruta. La protopectina insoluble de las paredes celulares se degrada a pectinas solubles, provocando una disminución de la consistencia y un reblandecimiento de la pulpa. La clorofila se descompone y se sintetizan o desentmascaran otros pigmentos. Los ácidos orgánicos van disminuyendo y la desaparición de los taninos provoca una pérdida de astringencia de la pulpa. Los cambios en el aroma se deben a compuestos volátiles como ésteres, alcoholes, aldehidos y cetonas, que se desarrollan durante la maduración.

Los frutos climatéricos pueden recolectarse antes de estar completamente maduros ya que el proceso de maduración puede finalizar una vez separados de la planta. Incluso en ocasiones la maduración se adelanta como consecuencia de la separación, fenómeno observado en manzanas y tomates (Sawamura et al., 1978). Aunque las manzanas son frutos climatéricos, la variedad Granny Smith tiene un comportamiento algo atípico. La producción de etileno de estas manzanas no se inicia hasta pasados varios días después de la recolección (Recasens et al., 1987), alcanzándose valores bajos comparados con los de otras variedades. Además, según el estudio anterior, una recolección precoz implica un retraso en el inicio del climaterio, mientras que una recolección tardía produce una aceleración del mismo. No hay pues un adelanto en la maduración por el hecho de recolectar la fruta, ya que madura antes la que permanece más tiempo en el árbol. Este comportamiento es un tanto peculiar pues en otras variedades, como Golden Delicious y Starking Delicious, el inicio del climaterio se acelera al separar la fruta del árbol. La variedad Granny Smith parece adquirir la capacidad para madurar mientras permanece en el árbol, observándose además que las recolecciones tardías son las que adquieren mejores características cualitativas y tienen una mayor aptitud para el almacenamiento. Kaynas y Karaçali (1990), en un estudio sobre la maduración y potencial de almacenamiento de manzanas Granny Smith recolectadas en diversos estados de madurez, concluyeron que las manzanas procedentes de recolecciones tempranas son de peor calidad cuando maduran y son las que sufren mayores pérdidas de peso y de acidez durante la conservación. Estos autores sugieren que estas manzanas deben recolectarse con 7,5-8 kg de firmeza y un 12% de sólidos solubles.

Metabolismo de los frutos en la cámara de atmósfera controlada

El O_2 , CO_2 y la temperatura son los factores que más influyen en el metabolismo del fruto. La principal finalidad de la AC es alargar el periodo de conservación del fruto mediante el retraso de varios procesos catabólicos que conducen a su senescencia, lo cual se consigue con la disminución del nivel de O_2 y/o el incremento de la concentración de CO_2 , además del descenso de la temperatura.

El denominador común de la combinación de estos tres factores es reducir la síntesis y acción del etileno sobre los frutos y por tanto la capacidad de éstos para madurar rápidamente. La producción de etileno se ve afectada tanto por un contenido reducido de O_2 como por una

elevada concentración de CO₂, ya que el O₂ es necesario para la conversión del ACC a etileno (Plich, 1987) y las elevadas concentraciones de CO₂ inhiben el proceso (Cheverry et al., 1988). Los bajos niveles de oxígeno impiden asimismo el desarrollo de la actividad de la ACC sintetasa (Bufler y Bangerth, 1983). Por otra parte, la atmósfera controlada afecta a la acción del etileno. Se cree que el mecanismo de acción del etileno sobre la maduración pasa por la fijación del etileno a un receptor, lo que determina la síntesis de enzimas que intervienen en los cambios bioquímicos característicos de la maduración. La afinidad del etileno por el receptor es oxígeno-dependiente (Merodio, 1994), de manera que bajas concentraciones de O₂ impiden la unión del C₂H₄ al receptor. Asimismo el CQ es un inhibidor de la acción del etileno al competir ambos gases por la zona de unión al receptor (Burg y Burg, 1967).

El almacenamiento en AC también reduce la intensidad respiratoria y retrasa el pico climatérico en muchos frutos (Kader, 1986). El proceso de la respiración puede esquematizarse según la reacción siguiente (Hardenburg, 1986):



Un incremento de la concentración de CO₂ y/o una disminución de la concentración de O₂ producen un descenso de la intensidad respiratoria. La acción del CO₂ se basa en inhibir la glucólisis (primera fase de cualquier proceso respiratorio, tanto aerobio como anaerobio) y en frenar la actividad de enzimas específicas del ciclo respiratorio. Es de destacar su acción sobre la deshidrogenasa succínica (Kader, 1986). El descenso de la actividad respiratoria por bajo O₂ se considera que es debido a la pérdida de efectividad del sistema enzimático, actuando concretamente sobre oxidasas, como la citocromo oxidasa, que tienen una afinidad muy elevada por el oxígeno (Woltering et al., 1994).

Numerosos trabajos han demostrado el efecto inhibitorio de la AC sobre la producción de etileno y sobre la respiración en manzanas. Burg y Thimann (1959) comprobaron que una atmósfera con un 3% de O₂ reducía la síntesis de etileno en un 50%. Lidster et al. (1983) observaron que la producción era aún menor en atmósferas con muy bajo oxígeno (1% de O₂), en comparación con la AC convencional (3% de O₂); un resultado similar se obtuvo con la respiración. Stow (1989) evaluó la respuesta de manzanas Cox's Orange Pippin en atmósferas con distintos niveles de O₂, desde un 2% hasta un 0,5%, confirmando que la producción de etileno se reduce al bajar la concentración de O₂. Igualmente, los tratamientos pre-conservación con muy bajo O₂ (0,25% o 0,02%) reducen la producción de etileno y la respiración, aunque pueden favorecer la aparición de olores desagradables de naturaleza alcohólica (Ke et al., 1991).

La producción de etileno es función de la temperatura, disminuyendo cuando ésta desciende (Fidler y North, 1971). En cambio, las variaciones drásticas de temperatura provocan un aumento en la producción (Larrigaudière y Vendrell, 1993). La intensidad respiratoria también desciende al reducir la temperatura. Aunque la frigoconservación disminuye la producción de etileno, en algunos frutos no suprime todos los cambios fisiológicos. Ello es particularmente evidente en algunas variedades de pera como Bosc (Sfakiotakis y Dilley, 1974) y d'Anjou (Blakenship y Richardson, 1985), que requieren una exposición al frío para iniciar su proceso de maduración. En este sentido, la variedad de manzana Granny Smith tiene un comportamiento similar al de las peras. La conservación a bajas temperaturas incrementa el contenido de ACC en manzanas Granny Smith, y la transferencia posterior a temperatura

ambiente (22 °C) incrementa la actividad de la enzima ACC oxidasa y la respiración. En cambio, si las manzanas se conservan continuamente a 22 °C, las producciones de etileno y de CO₂ se mantienen muy bajas (Larrigaudière y Vendrell, 1993).

Como se ha visto, la acción combinada de la disminución de la temperatura y del O₂ y el aumento del CO₂ actúan sobre un mismo objetivo que es la reducción del metabolismo celular. Estos tres factores actúan por mecanismos distintos pero existe una interacción entre ellos. El efecto inhibitor sobre el etileno se debe a la acción combinada del O₂ y del CO₂ (Bufler y Streif, 1986), aunque el efecto del O₂ parece ser mucho mayor (Plich, 1987). Adicionalmente el efecto del O₂ depende de la temperatura: para temperaturas del orden de 0-2 °C, es necesario reducir el O₂ al 3-5% para que su acción sea notable. Además, una variación de 1-2 °C en la cámara frigorífica condiciona considerablemente el nivel de O₂ que deberá mantenerse en la misma. Gherghi et al. (1994) observaron en distintas variedades de manzana que la producción de etileno con una atmósfera del 5% de O₂ a 0-1 °C era semejante a la obtenida con 0,5% de O₂ a 3 °C. Asimismo existe una interrelación entre la temperatura y el O₂ en su acción sobre la respiración. A temperaturas elevadas, cualquier disminución del contenido de O₂ respecto al aire atmosférico significa una disminución de la actividad respiratoria, pero a temperaturas cercanas a 0 °C, hay que reducir el O₂ por debajo del 10% para que los efectos metabólicos empiecen a manifestarse. El O₂ y el CO₂ también actúan de forma combinada sobre la respiración. Para valores altos de O₂, la presencia de CO₂ reduce significativamente la respiración, pero para concentraciones entre un 2-3%, la disminución de la respiración se produce principalmente por la falta de O₂, aunque la presencia de CO₂ aporta un beneficio adicional (Fidler y North, 1967).

Efecto de la atmósfera controlada sobre la calidad de los frutos almacenados

Los cambios metabólicos que provoca la AC se manifiestan en una serie de efectos beneficiosos sobre la calidad de la fruta. Dos de los efectos más característicos del almacenamiento en AC son la mejor retención de la firmeza y acidez, siendo ambos parámetros de calidad muy importantes. En muchos frutos, el ablandamiento y separación de las células está asociado con un incremento de pectinas solubles. En manzanas, la degeneración de la pared celular se divide en dos etapas: durante la primera, la firmeza decrece lentamente, coincidiendo con un descenso en el contenido de galactanos de la pared; en la segunda, el contenido de poliuronidos aumenta y la firmeza decrece más rápidamente. La reducción del nivel de oxígeno en la atmósfera de conservación retrasa el comienzo de la segunda etapa (Knee, 1974) observándose que cuanto menor es la concentración de oxígeno, más despacio decrece la firmeza (Goffings y Herregods, 1994). Lidster et al. (1981) describen una mejora de este parámetro en un promedio de 0,86 kg en manzanas McIntosh almacenadas 29 semanas en 1,5/1,0 (CO₂/O₂) y también después de 7 días a 20 °C, frente a una atmósfera 5/2,8. Según Stow (1987) la firmeza en manzanas Jonagold fue notablemente mayor con un 1,25% de O₂ que con un 2% después de 7 meses de almacenamiento, e incluso a los 9 meses se mantuvieron las diferencias entre ambas condiciones atmosféricas. En Golden Delicious el almacenaje a 0,5% de O₂ resultó favorable para la firmeza, sin presentar efectos adversos (Lau, 1990). En manzanas Delicious se obtuvieron resultados similares con un 0,7 % de O₂ (Lau y Yastremski, 1993). El tiempo de exposición al bajo O₂ determina el nivel de oxígeno al que se puede llegar. En Granny Smith, tratamientos cortos (3 días) con muy bajo oxígeno (0,02% y 0,25%) ayudaron a retener la firmeza, mientras que una exposición larga provocó un cierto

ablandamiento de la pulpa (Dangyang et al., 1991). El uso de atmósferas secuenciales también se muestra efectiva a la hora de mantener la firmeza. La conservación con atmósfera LO seguida de AC estándar controló el ablandamiento en las variedades de manzana Golden Delicious, McIntosh y Spartan (Lidster et al., 1985). La secuencia inversa (AC convencional seguida de LO) no presentó ventajas (Lidster et al., 1987).

El efecto del bajo O_2 en la firmeza depende de varios factores. La influencia de un alto nivel de CO_2 (5%) es mayor en la AC convencional (3% O_2) que en la AC con bajo oxígeno (1,5% O_2) (Herregods, 1994). El efecto del bajo O_2 también depende de la variedad y de la fecha de cosecha. Comparada con otras variedades, la manzana Granny Smith mantiene unos valores de firmeza elevados. En Jonagold y Golden Delicious, la firmeza se retiene mejor, sobre todo si se cosecha en estado preclimático (Skrzynski, 1994). En las atmósferas secuenciales, la exposición inicial a LO induce la retención de la firmeza dependiendo de la fecha de cosecha y de la temperatura de conservación (Lidster et al., 1987).

El mantenimiento de la acidez corre bastante paralelo a la retención de la firmeza en la mayoría de estudios. Algunas de las referencias anteriores contienen resultados en este sentido. En manzanas, los cambios de acidez se atribuyen al descenso en el contenido de ácido málico. El CO_2 afecta sensiblemente el contenido de este ácido al retardar su descarboxilación. Por ello, los frutos conservados en AC presentan mayor acidez a la salida de la cámara que los conservados en frío normal. Al igual que en la firmeza, Goffings y Herregods (1994) han observado que cuanto menor sea la concentración de O_2 en la cámara, más lento es el descenso de la acidez. Según estos autores un almacenamiento en ULO (1% o 0,7% de O_2) asegura un descenso muy pequeño de la acidez durante los primeros 6 meses de conservación. Resultados similares obtuvo Lau (1985) para atmósferas entre 2,5% y 1% de O_2 . Además de los bajos niveles de O_2 , la presencia de CO_2 ayuda a retener la acidez. Así, Skrzynski (1994) observó que la acidez total es ligeramente mayor con una atmósfera 3/1,5 (CO_2/O_2) que con 0/1,3. En otros trabajos, para niveles muy bajos de O_2 , el mayor o menor contenido de CO_2 en la cámara no influye en el contenido de ácido málico después del almacenamiento (Chen et al., 1985; Drake et al., 1993). En cuanto a la influencia de la temperatura, manzanas Granny Smith conservadas a 1% de O_2 han mantenido valores aceptables de acidez a la salida de la cámara tanto a 0 °C como a 3,3 °C (Chen et al., 1989). Otras técnicas de conservación, como las atmósferas secuenciales (Lidster et al., 1985), o la exposición a un estrés inicial de O_2 (Ke et al., 1991) también resultan efectivas para mantener la acidez.

Además de aspectos cualitativos, el almacenamiento en AC ayuda a preservar el valor nutricional de los frutos. Junto con el mantenimiento de la acidez, en AC se produce, respecto al frío convencional, una mayor retención de sólidos solubles, la mayoría de los cuales son carbohidratos que resultan esenciales para una calidad de consumo aceptable. La degradación de carbohidratos es más lenta en AC que en frío convencional ya que al reducirse la actividad respiratoria, se retarda el consumo de los sustratos de reserva. La evolución de los sólidos solubles (SS) durante la conservación tiene un comportamiento oscilante y variable (Miret, 1992). A diferencia de la firmeza y de la acidez, el tipo de atmósfera controlada no ejerce un efecto claro sobre el contenido de SS de los frutos. Según Graell et al. (1997) en manzanas Topred no se detectaron diferencias significativas entre frutos almacenados en diferentes concentraciones de O_2 (1%, 2% o 3%). Sfakiotakis et al. (1993) obtuvieron resultados semejantes con manzanas Starking Delicious. Un estrés inicial de O_2 tampoco afecta al contenido de SS (Ke et al., 1991). Además de las concentraciones gaseosas, la temperatura

que se mantiene en la cámara de AC no influye marcadamente en el contenido de SS. En manzanas Granny Smith, 3 °C de diferencia en la temperatura de conservación (0°C o 3,3 °C) no supuso una variación significativa del contenido de SS (Chen et al., 1989). Un factor que puede afectar al contenido de SS es la fecha de recolección, aunque estudios con la variedad Jonagold han dado resultados contradictorios. En ocasiones el contenido de SS al final del almacenamiento depende del estado de madurez en el momento de la cosecha (Herregods y Goffings, 1993) mientras que en otros casos la fecha de cosecha no influye en dicho contenido (Girard y Lau, 1995).

Otra característica de los frutos conservados en AC es la menor evolución del color, como consecuencia de un retraso en la degradación de clorofila y en la biosíntesis de pigmentos característicos del cultivo. Diveros estudios han demostrado que en la variedad Granny Smith, el color verde se mantiene durante más tiempo si las manzanas son conservadas en AC (Little et al., 1982; Drake, 1993) o si se someten a un estrés inicial de O₂ (Ke et al., 1991).

Adicionalmente al efecto del metabolismo del fruto sobre diversos parámetros cualitativos, las condiciones que se mantienen en la cámara de AC influyen directamente sobre diversos aspectos ayudan a preservar la calidad. En AC las condiciones de humedad relativa adecuadas para la conservación (en torno al 90-95 %) se mantienen más fácilmente que en frío convencional. Ello, junto con el descenso de la transpiración que implica la reducción de la respiración, facilita que la pérdida de peso de los frutos durante la conservación sea mucho menor. Los frutos almacenados bajo estas condiciones pierden tan sólo entre el 1 y 2 % de su peso original. La manzana Golden Delicious, altamente susceptible a la pérdida de agua, puede ser almacenada en AC durante 8-10 meses, sin presentar un marchitamiento o arrugamiento excesivos (Dewey, 1983). Por otra parte, si los frutos se conservan en AC es posible mantener en la cámara una temperatura algo más elevada, lo cual ayuda a reducir la incidencia de alteraciones en los cultivares que son sensibles a daños por frío. De hecho, el desarrollo de la AC comercial para manzanas en Inglaterra y Estados Unidos se basó en los beneficios obtenidos al conservar a 4-5 °C variedades como Cox's Orange Pippin, Bramleys's Seedling, Yellow Newtown y McIntosh (Smock, 1979).

La incidencia de escaldado superficial también se ve disminuida gracias a la conservación en AC ya que inhibe el contenido de α -farneseno y de hidroperóxidos trieno conjugados, compuestos relacionados con la aparición de la alteración. Los sistemas de conservación en AC para evitar el desarrollo de la alteración son variados (Soria y Recasens, 1997). El nivel de O₂ más adecuado para el control del escaldado es muy difícil de determinar porque la gravedad de la alteración depende de diversos factores precosecha y propios del cultivar. En manzanas Granny Smith se han conseguido buenos resultados con 1,5 % de O₂ (Simcic et al., 1994; Truter et al., 1994); con 1% de O₂ (Francile y Battaglia, 1992; Nardin, 1994) o con 0,5% (Curry, 1989; Pratella et al., 1989).

Como resultado de la preservación de la calidad de los frutos conservados en AC, este sistema de conservación ofrece una serie de ventajas. Al salir de la cámara, los frutos presentan una calidad y valor nutricional más elevados y además tienen una vida comercial (o vida útil) más larga, a la vez que son más resistentes a las manipulaciones gracias al efecto residual de la AC. Por otra parte, este mejor mantenimiento de la calidad permite la recolección en un grado de madurez más avanzado, lo que mejora las características organolépticas del producto que llega al consumidor. El mayor periodo de conservación en cámara y a la salida de la misma, permite

una mayor flexibilidad a la hora de vender de los productos en función de la demanda de los mismos.

Por contra, la conservación en AC presenta una serie de inconvenientes. Un contenido demasiado bajo de O_2 y/o demasiado elevado de CO_2 puede provocar efectos nocivos sobre el fruto. En las atmósferas con concentraciones muy bajas de O_2 existe el riesgo de que la respiración aeróbica pase a anaeróbica, en la cual se produce etanol y acetaldehído. Estos compuestos desarrollan olores desagradables y alteran el sabor del fruto e incluso pueden dar lugar a la muerte celular y la desorganización de la estructura del fruto. Es difícil estimar el límite de oxígeno por debajo del cual se produce anoxia. En un estudio realizado por Johnson et al. (1993) con manzanas Bramley's Seedling se observó que una concentración de oxígeno del 0,2 % es demasiado baja para soportar la respiración aeróbica y que entre 0,4% y 0,8% de O_2 el fruto respira normalmente durante 150 días pero después empieza a acumularse etanol. Actualmente se establece el límite en torno al 1% de O_2 . La conservación en AC con un 1% de O_2 durante varios meses no produjo daños ni olores desagradables en manzanas de las variedades Spartan (Lau, 1983), Golden Delicious y Delicious (Lau, 1985) y Granny Smith (Chen et al., 1989). Un nivel de CO_2 demasiado elevado, además de anoxia, puede provocar algunas alteraciones en el fruto. Blanpied y Smock (1981) observaron en manzanas Delicious conservadas con alto CO_2 la aparición de manchas externas y en la pulpa, además de problemas de harinosidad y cavernas internas. En estas manzanas, los daños por CO_2 dependen además de la temperatura de conservación (Meheriuk et al., 1984). La aparición de manchas o cavernas en la pulpa, alteración conocida como corazón pardo, tiene su origen en una concentración de CO_2 demasiado elevada en el interior del fruto como consecuencia de las condiciones de AC que se mantienen en la cámara: bajo O_2 , que incrementa la resistencia a la difusión del CO_2 (Ke et al., 1991) y/o alto CO_2 , que dificulta la salida de este gas a través de la piel del fruto. El almacenamiento en AC también puede provocar otros desórdenes como el corazón rosado (Stow, 1987, 1995) y la mancha Jonathan (Stow, 1995).

Por otro lado, los bajos niveles de O_2 son perjudiciales para la producción de aromas. Durante la conservación en AC, la síntesis de componentes volátiles que forman el aroma se inhibe y cuando los frutos se transfieren a temperatura ambiente la producción se reestablece aunque de forma variable: hay compuestos que se sintetizan en cantidades normales, algunos quedan inhibidos completamente y otros se producen en grandes cantidades (Yahia, 1989). La producción de compuestos a la salida de la cámara depende de las condiciones de almacenamiento y del fruto. En frutos recolectados con un estado de madurez poco avanzado, la conservación con bajo contenido de O_2 puede provocar una pérdida de aromas no reversible a la salida de la cámara, especialmente si el periodo de conservación ha sido largo. En condiciones menos severas (conservación más corta, frutos más maduros) la producción de aromas puede recuperarse. Para recuperar la producción, Lidster et al. (1987) sugieren la utilización de concentraciones bajas de O_2 (1-2%) durante los primeros meses de almacenamiento y 2-3% de O_2 en la última etapa de la conservación.

Las condiciones idóneas que deben mantenerse en la cámara han sido y son objeto de estudio ya que como se ha visto influyen notablemente en la calidad de los frutos, que a su vez depende de factores precosecha y biológicos. Las condiciones deben ser adecuadas al estado de madurez del fruto en el momento de la recolección, a la duración prevista de almacenamiento, al destino del producto y estarán estrechamente ligadas a las características intrínsecas de la variedad y a su sensibilidad a determinadas alteraciones fisiológicas. Es

importante asimismo considerar la interacción entre bajo O₂, alto CO₂ y baja temperatura, para evitar efectos perjudiciales sobre el fruto.

Referencias bibliográficas

- BLAKENSHIP, S.M., RICHARDSON, D.G., 1985. Development of ethylene biosynthesis and ethylene-induced ripening in d'Anjou pears during cold requirement for ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 110:520-523.
- BLANPIED, G.D., SMOCK, R.M. 1981. Storage of fresh market apples. *Info. Bull.* 191. Cornell Coop. Ext., Cornell Univ., Ithaca, NY.
- BUFLER, G., BANGERTH, F. 1983. Effects of propylene and oxygen on the ethylene-producing system of apples. *Physiol. Plant.*, 58:486-492.
- BUFLER, B., STREIF, J. 1986. Ethylene biosynthesis of "Golden Delicious" apples stored in different mixtures of carbon dioxide and oxygen. *Scientia Horticulturae*, 30:177-185.
- BURG, S.P., BURG, E. 1967. Molecular requirements for the biological activity of ethylene. *Plant Physiol.*, 42:144-152.
- BURG, S.P., THIMANN, K.V. 1959. The physiology of ethylene formation in apples. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 45:344-355.
- CHEN, P.M., OLSEN, K.L., MEHERIUK, M. 1985. Effect of low-oxygen atmosphere on storage scald and quality preservation of "Delicious" apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 110:16-20.
- CHEN, P.M., VARGA, D.M., MIELKE, E.A., DRAKE, S.R. 1989. Poststorage behavior of apple fruit after low oxygen storage as influenced by temperatures during storage and in transit. *Journal of Food Science*, 54:993-996.
- CHEVERRY, J.L., SY, M.O., POULIQUEEN, J., MARCELLIN, P. 1988. Regulation by CO₂ of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid conversion to ethylene in climacteric fruits. *Physiol. Plant.*, 72:535-540.
- CURRY, E.A. 1989. Effect of harvest date and oxygen level on storability of late season apple cultivars. *Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington. Vol. 1.* 103-109.
- DALRYMPLE, D.G. 1967. *Div. Market and Util. Sci. Fed. Ext. Ser.*, US Dept. Agric. Citado en: D.H. Dewey, *Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables*. En: S. Thorne (ed.), *Developments in food preservation-2*. 1983. Applied Science Publishers Ltd. London.
- DALRYMPLE, D.G. 1969. *Tech. and Culture*, 10:35-48. Citado en: D.H. Dewey, *Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables*. En: S. Thorne (ed.), *Developments in food preservation-2*. 1983. Applied Science Publishers Ltd. London.
- DANGYANG, K., RODRIGUEZ-SINOVAS, L., KADER, A.A. 1991. Physiology and prediction of fruit tolerance to low-oxygen atmospheres. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 116:253-260.
- DEWEY, D.H. 1983. *Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables*. En: S. Thorne (ed.), *Developments in food preservation-2*. 1983. Applied Science Publishers Ltd. London.
- DRAKE, S.R. 1993. Short-term controlled atmosphere storage improved quality of several apple cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118:486-489.
- DRAKE, S.R., EISELE, T.A., WAELTI, H. 1993. Controlled atmosphere storage of "Delicious" apples in high and variable carbon dioxide. *Journal of Processing and Preservation*, 17:177-189.

- FIDLER, J.C., NORTH, J.C., 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 productions of carbon dioxide and uptake of oxygen. *Journal of Horticultural Science*, 42:189-206.
- FIDLER, J.C., NORTH, J.C., 1971. The effect of periods of anaerobiosis on the storage of apples. *Journal of Horticultural Science*, 46:213-221.
- FRANCILE, A.S., BATTAGLIA, M. 1992. Control de escaldadura superficial en peras Beurré d'Anjou y en manzanas Granny Smith. *Rivista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale*, 86: 397-410.
- GHERGHI, A., MARGINEANU, L., BIBICU, M. 1994. The influence of low oxygen concentration during storage on metabolic processes in apples. *Acta Horticulturae*, 368:608-613.
- GIRARD, B., LAU, O.L. 1995. Effect of maturity and storage on quality and volatile production of "Jonagold" apples. *Food Research International*, 28(5):465-471.
- GOFFINGS, G., HERREGODS, M. 1994. The influence of the storage conditions on some quality parameters of Jonagold apples. *Acta Horticulturae*, 368:37-42.
- GRAELL, J., LARRIGAUDIERE, C., VENDRELL, M. 1997. Effect of low-oxygen atmospheres on quality and superficial scald of Topred apples. *Food Science and Technology International*, 3:203-211.
- HARDENBURG, R.E., WATADA, A.E., WANG, C.Y. 1986. The commercial storage of florist and nursery stock. United States Department of Agriculture, Agricultural Handbook N° 66. Government Printing Office, Washington DC.
- HERREGODS, M. 1994. Preservation of quality and nutritional value by CA storage. *Proceedings of Workshop COST 94*, 14-23.
- HERREGODS, M., GOFFINGS, G. 1993. The storage of Jonagold apples in U.L.O.-circumstances. *Acta Horticulturae*, 343:148-154.
- JOHNSON, D.S., DOVER, C.J., PEARSON, K. 1993. Very low oxygen storage in relation to ethanol production and control of superficial scald in Bramley's Seedling apples. *Acta Horticulturae*, 326:175-182.
- KADER, A.A. 1986. Biochemical and physiological bases for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology*, 40:99-104.
- KAYNAS, K., KARAÇALI, I. 1990. A study on maturity standards and storage potential of Granny Smith variety of apples grown in Yalova. *Doga Tr. J.of Agriculture and Forestry*, 14:465-474.
- KE, D., RODRIGUEZ-SINOBAS, L., KADER, A.A. 1991. Physiology and prediction of fruit tolerance to low-oxygen atmospheres. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 116:253-260.
- KIDD, F., WEST, C. 1922. Rep. Fd. Invest. Bd. for 1921. 14. Citado en: *The biochemistry of fruits and their products*. Vol I. A.C. Hulme. 1970.
- KIDD, F., WEST, C. 1923. Rep. Fd. Invest. Bd. for 1922. 30. Citado en: *The biochemistry of fruits and their products*. Vol I. A.C. Hulme. 1970.
- KIDD, F., WEST, C. 1924. Rep. Fd. Invest. Bd. for 1923. 27. Citado en: *The biochemistry of fruits and their products*. Vol I. A.C. Hulme. 1970.
- KIDD, F., WEST, C., KIDD, M.N. 1927. Gas storage of fruit. Department of Scientific and Industrial Research. Food Investigation Board Special Report N° 30. His Majesty's Stationery Office, London.
- KIDD, F., WEST, C. 1930. The gas storage of fruit II. Optimum temperatures and atmospheres. *Journal of Pomology and Horticultural Science*. Vol. III, 1:67-77.

- KNEE, M. 1974. Facteurs et régulations de la maturation des fruits. Colloques Internationaux du CNRS, Paris, 1-5 Juillet, 1-5.
- LARRIGAUDIÈRE, C., VENDRELL, M. 1993. Cold-induced activation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid metabolism in rewarmed "Granny Smith" apples: Consequences on ripening. *Scientia Horticulturae*, 55:263-272.
- LAU, O.L. 1983. Effects of storage procedures and low oxygen and carbon dioxide atmospheres on storage quality of "Spartan" apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 108:953-957.
- LAU, O.L. 1985. Storage procedures, low oxygen, and low carbon dioxide atmospheres on storage quality of "Golden Delicious" and "Delicious" apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 110:541-547.
- LAU, O.L. 1990. Tolerance of three apple cultivars to ultra-low levels of oxygen. *HortScience*, 25:1412-1414.
- LAU, O.L., YASTREMSKI, R. 1993. The use of 0.7% storage oxygen to attenuate scald symptoms in "Delicious" apples: effect of apple strain and harvest maturity. *Acta Horticulturae*, 326:183-189.
- LIDSTER, P.D., LIGHTFOOT, H.J., McRAE, K.B. 1983. Fruit quality and respiration of "McIntosh" apples in response to ethylene, very low oxygen and carbon dioxide storage atmospheres. *Scientia Horticulturae*, 20:71-83.
- LIDSTER, P.D., LOUGHEED, E.C., McRAE, K.B. 1987. Effects of sequential low-oxygen and standard controlled atmosphere storage regimens on apple quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112:787-793.
- LIDSTER, P.D., McRAE, K.B., SANDFORD, K.A. 1981. Responses of McIntosh apples to low oxygen storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106:159-162.
- LIDSTER, P.D., McRAE, K.B., JOHNSTON, E.M. 1985. Retention of apple quality in low-oxygen storage followed by standard controlled atmosphere regimens. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110:755-759.
- LITTLE, C.R., FARAGHER, J.D., TAYLOR, H.J. 1982. Effects of initial oxygen stress treatments in low oxygen modified atmosphere storage of "Granny Smith" apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:320-323.
- MEHERIUK, M., LAU, O.L., HALL, J.W. 1984. Effects of some postharvest storage treatments on the incidence of flash browning in controlled atmosphere-stored "Delicious" apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109:290-293.
- MERODIO, C. 1994. Metabolic responses of fruits to controlled atmosphere storage. *Proceedings of Workshop COST 94*, 25-34.
- MIRET, F. 1992. Estudio de la fisiología del crecimiento, maduración y conservación frigorífica de las variedades de manzana "Red Winesap y Granny Smith". Tesis Doctoral. E.T.S.E.A. Universidad de Lleida (España).
- MOLINAS, M., DURAN, S. 1970. Frigoconservación y manejo: frutas, flores y hortalizas. Aedos Ed. Barcelona. 278 pp.
- NARDIN, C. 1994. Scald control on apples without use of chemicals. *Acta Horticulturae*, 368: 417-428.
- OSBORNE, D.J. 1978. Ethylene. En: *Phytohormones and related compounds. A comprehensive treatise. Vol I.*
- PLICH, H. 1987. The rate of ethylene production and ACC concentration in apples cv. Spartan stored in low O₂ and high CO₂ concentrations in a controlled atmosphere. *Fruit Science Reports*, 14:45-56.
- PRATELLA, G.C., FOLCHI, A., BRIGATI, S. 1989. Low oxygen atmosphere and CA storage effects on senescence and diseases of two apple varieties grown in Italy. *Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington. Vol.1.* 207-214.
- PRATT, H.K., GOESCHL, J.D. 1969. Physiological roles of ethylene in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 20:541-584.

- RECASENS, D.I., MIRET, F., SALAS, J., VENDRELL, M. 1987. Crecimiento y maduración de la manzana Granny Smith. VII Reunión de la S.E.F.V., Oviedo. Ref. IV-12, p. 112.
- SAWAMURA, M., KNEGT, E., BRUINSMA, J. 1978. *Plant Cell Physiol.*, 19:1061. Citado en: Etileno y otras hormonas en el control del proceso de maduración. M. Vendrell. CSIC, Instituto de Biología, Barcelona.
- SFAKIOTAKIS, E.M., DILLEY, D.R., 1974. Induction of ethylene production in Bosc pears by postharvest cold stress. *HortScience*, 9:336-338.
- SFAKIOTAKIS, E., NIKLIS, N., STAVROULAKIS, G., VASSILIADIS, T. 1993. Efficacy of controlled atmosphere and ultra low oxygen - low ethylene storage on keeping quality and scald control on "Starking Delicious" apples. *Acta Horticulturae*, 326: 191-202.
- SIMCIC, M., VIDRIH, R., HRIBAR, J., PLESTENJAK, A. 1994. Prediction and prevention of apple superficial scald. *Acta Horticulturae*, 368: 646-651.
- SKRZYNSKI, J. 1994. The effect of low oxygen storage on Jonagold and Golden Delicious apples. *Acta Horticulturae*, 368:558-565.
- SMOCK, R.M. 1979. *Hort. Reviews*, 1:301-336. Citado en: D.H. Dewey, Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. En: S. Thorne (ed.), *Developments in food preservation-2*. 1983. Applied Science Publishers Ltd. London.
- SORIA, Y., RECASENS, I. 1997. El escaldado superficial de la manzana. ITEA, Vol 93V, 1:49-64.
- STOW, J. 1987. Storage of "Jonagold" apples. *Scientia Horticulturae*, 31:245-251.
- STOW, J. 1989. The response of apples cv. Cox's Orange Pippin to different concentrations of oxygen in the storage atmosphere. *Ann. appl. Biol.*, 114:149-156.
- STOW, J. 1995. The effects of storage atmosphere on the keeping quality of "Idared" apples. *Journal of Horticultural Science*, 70:587-595.
- TRUTER, A.B., COMBRINK, J.C., BURGER, A.S. 1994. Control of superficial scald in Granny Smith apples by ultra-low and stress levels of oxygen as an alternative to diphenylamine. *Journal of Horticultural Science*, 69: 581-587.
- WOLTERING, E.J., van SCHAIK, A.C.R., JONGEN, W.M.F. 1994. Physiology and biochemistry of controlled atmosphere storage: The role of ethylene. *Proceedings of Workshop COST 94*, 35-42.
- YAHIA, E.M. 1989. CA storage effect on the volatile flavor components of apples. *Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington*. Vol.1. 341-352.

II

RESULTADOS

**SUCROSE ESTER-BASED COATINGS FORMULATED WITH
FOOD-COMPATIBLE ANTIOXIDANTS IN THE PREVENTION OF
SUPERFICIAL SCALD IN STORED APPLES**

A.D. BAUCHOT⁽¹⁾, P. JOHN⁽¹⁾, Y. SORIA⁽²⁾, I. RECASENS⁽²⁾

- (1) Department of Agricultural Botany, Plant Sciences Laboratories, University of Reading, P.O. Box 221, Reading, RG6 2AS, U.K.
- (2) Area de Postcollita. CeRTA. Centro UdL-IRTA. Universitat de Lleida, Av. Rovira Roure, 177, 25198 Lleida, España.

Publicado en:

Journal of the American Society for Horticultural Science, Vol. 120 N° 3, 1995

J. AMER. SOC. HORT. SCI. 120(3):491-496. 1995.

Sucrose Ester-based Coatings Formulated with Food-compatible Antioxidants in the Prevention of Superficial Scald in Stored Apples

A.D. Bauchot and P. John

Department of Agricultural Botany, Plant Science Laboratories, University of Reading, P.O. Box 221, Reading, RG6 2AS, U.K.

Y. Soria and I. Recasens

Area de Post-Collita, Universitat de Lleida, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, Alcalde Rovira Roure 117, 25006 Lérida, Spain

Additional index words. *Malus domestica*, scald index, Semperfresh, ascorbyl palmitate, *n*-propyl gallate, diphenylamine

Abstract. Treatments were applied in Italy, United Kingdom, and Spain to test their effectiveness in controlling superficial scald in apples (*Malus domestica* Borkh.) after cold storage. In Italy where mature 'Red Chief' and 'Golden Delicious' were stored at 3–4°C for 4 months, scald incidence was reduced by postharvest dipping in a sucrose-ester based coating, Semperfresh, formulated with the antioxidants, ascorbyl palmitate, and *n*-propyl gallate. In the United Kingdom and Spain, early harvested 'Granny Smith' were stored at 0°C for 4 and 6 months. In the United Kingdom, ascorbyl palmitate applied with Semperfresh significantly reduced scald upon withdrawal from 4 months of storage near 0°C, but not after 10 days at room temperature. Bringing the apples to ambient temperature for 20 hours 1 month into cold storage reduced scald almost as much as diphenylamine application, but the beneficial effects seen after 4 months of cold storage did not persist after 6 months of storage. In Spain, controlled atmosphere storage (3% O₂ + 3% CO₂) was as effective as diphenylamine treatment, even after 6 months of storage; CaCl₂ was slightly effective after 4 months of storage, but none of the coating treatments significantly reduced scald. Treatments applied after 6 weeks were ineffective.

Superficial scald is a physiological disorder appearing during long term-storage of apples and pears (Fidler et al., 1973; Meigh, 1970). When apples are removed from the cold store to room temperature, irregular brown patches appear on the skin due to the browning of hypodermal cells (Bain, 1956). The patches darken and expand during subsequent shelf life. When cold storage is extended the symptoms can appear even before apples are removed from the cold room (Fidler et al., 1973; Meigh, 1970).

Diphenylamine (DPA) and 6-ethoxy-1,2,-dihydro-2,2,4-trimethylquinoline (ethoxyquin) are potent inhibitors of scald development, and they have been used commercially to control scald (Smock, 1957). Consistent with their proposal that scald resulted from the oxidation of α -farnesene to conjugated trienes, Huelin and Coggiola (1970) demonstrated that DPA inhibited α -farnesene oxidation in vitro and in vivo. Consequently, they suggested that DPA and ethoxyquin act as antioxidants in controlling scald. Recently, concern over residues has led to the banning or phasing out of DPA and ethoxyquin in many countries. As possible alternative measures, controlled-atmosphere-(CA) storage (Lau, 1993; Patterson and Workman, 1962) and Ca dips (Poovaiah, 1986) can be effective and have been considered. In addition, while the amine-type antioxidants appear to be the most effective anti-scald agents (Anet and Coggiola, 1974), butylated hydroxytoluene has reduced scald on 'Cortland', 'Delicious' (Gough et al., 1973) and 'Granny Smith' apples (Little et al., 1980;

Wills and Scott, 1977). Therefore, the use of other food-compatible antioxidants like *n*-propyl gallate and ascorbyl palmitate could be an alternative to DPA and warrants investigation. In addition, beneficial effects of sucrose ester-based coatings in maintaining the quality of pome fruit have been reported (Chu, 1986; Drake et al., 1983; Meheriuk and Lau, 1988; Miszczak, 1994; Smith and Stow, 1984). Thus, the aim of the present study was to examine, in relation to more conventional treatments, the effectiveness of the antioxidants ascorbyl palmitate and *n*-propyl gallate applied with the sucrose ester-based coating, Semperfresh, as scald inhibitors. Scald incidence is notoriously variable, depending on many interacting factors (Ingle and D'Souza, 1989); therefore, to strengthen any conclusions, the work was carried out at three sites: in Italy, United Kingdom, and Spain.

Materials and Methods

Trial in Italy. In an initial trial under commercial conditions in northern Italy, locally grown 'Red Chief' and 'Golden Delicious' apples were dipped for 30 sec in the formulations indicated, and then stored at 3–4°C and 58%–67% relative humidity. Three 10-apple replicates were used for each cultivar. Apples were transferred from store to 18–20°C after 2 and 4 months, and the percentage of fruit affected by scald was noted after 10 days at ambient temperature.

Experiments in United Kingdom and Spain. Experiments were carried out with 'Granny Smith' apples at two sites: Reading, U. K., and Lérida, Spain. To ensure a significant incidence of scald, apples were harvested before the commercial picking date. For the United Kingdom site, they were picked on 29 Sept. 1992 in Moissac, France, transported to the Univ. of Reading, United Kingdom under commercial conditions (nonrefrigerated), and stored at 0 ± 1°C and 95% relative humidity under normal atmosphere on 1 Oct. In Spain, apples were picked on 13 Oct. 1992 in Lérida, Spain and stored at 0 ± 1°C under normal atmosphere, unless stated otherwise.

Received for publication 17 Mar. 1994. Accepted for publication 22 Dec. 1994. This work was supported by the EC ECLAIR Programme (project no. AGREE 0015), and A.D. Bauchot was supported with EC grant no. B/AGRE-913016. We thank Surface Systems International for advice and materials. Godfrey Curtis for helping plan the work and for a valued collaboration, P. Domenichini (SIPCAM, Italy) for carrying out the commercial trial, and C. Moggia for statistical advice. Mention of trade name, proprietary product, or vendor does not constitute an endorsement or warranty by the authors or their institutes. The cost of publishing this paper was defrayed in part by the payment of page charges. Under postal regulations, this paper therefore must be hereby marked *advertisement* solely to indicate this fact.



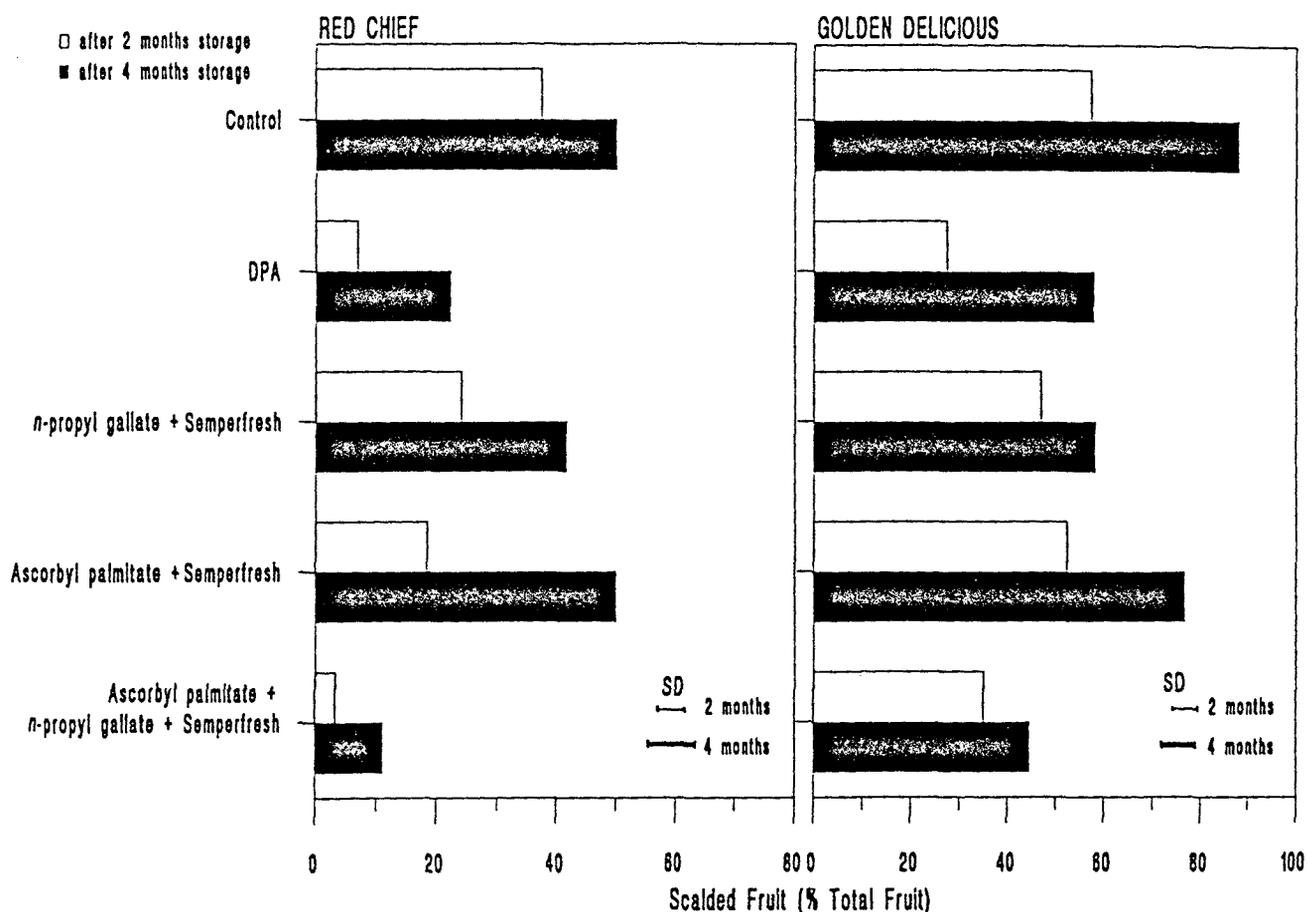


Fig. 1. Italian site: development of scald on 'Red Chief' and 'Golden Delicious' apples after 2 and 4 months of storage at 3 to 4°C. The apples were dipped in DPA at 2000 mg·liter⁻¹ ('Red Chief') or 1000 mg·liter⁻¹ ('Golden Delicious'), 1% Semperfresh plus 1875 mg·liter⁻¹ ascorbyl palmitate, 1% Semperfresh plus 4687 mg·liter⁻¹ *n*-propyl gallate, or in 1% Semperfresh plus 1875 mg·liter⁻¹ ascorbyl palmitate plus 1875 mg·liter⁻¹ *n*-propyl gallate.

The treatments were carried out by dipping at least three replicates per treatment. Each replicate consisted of 10 apples. At both sites, apples were dipped just after harvest in DPA at 2500 mg·liter⁻¹ or in Semperfresh at 1% (w/v). Apples were also treated with 1875 mg·liter⁻¹ ascorbyl palmitate in 1% Semperfresh, 4687 mg·liter⁻¹ *n*-propyl gallate in 1% Semperfresh, or 1875 mg·liter⁻¹ ascorbyl palmitate and 1875 ppm *n*-propyl gallate in 1% Semperfresh. These emulsions were prepared and supplied by Surface Systems International Ltd, East Challow, U.K. Additionally, in Spain, some apples were dipped at harvest in 1% CaCl₂, while others were kept in CA (3% O₂, 3% CO₂).

Four weeks into storage in the United Kingdom and 6 weeks into storage in Spain, nontreated apples were removed overnight to room temperature, then replicates were treated with 1% Semperfresh. Some replicates were kept in the same conditions without treatment as a control. The apples were allowed to dry for 4 h and returned to the cold room. Apples were removed from cold storage to room temperature for ≈20 h.

After 4 and 6 months of storage, replicates were removed to room temperature and assessed after 1, 4, and 10 days for the incidence and severity of scald. Severity of scald was scored for each apple as none, light (<25% of the surface area affected), moderate (25%–50%), and severe (>50%) and expressed as an index according to Lurie et al. (1991): index = [(1 × % lightly affected fruit) + (2 × % medium affected fruit) + (4 × % severely affected fruit)]/4.

Results

Trial in Italy. In the trial carried out in Italy (Fig. 1), *n*-propyl gallate and ascorbyl palmitate applied with Semperfresh reduced the incidence of scald, their effectiveness varying with cultivar and time of storage. A more consistent scald reduction, comparable to that obtained with DPA, was obtained when a combination of *n*-propyl gallate and ascorbyl palmitate was applied with Semperfresh (Fig. 1). The results of this initial trial, together with similar results obtained elsewhere (Kallay, 1994), were sufficiently encouraging to provide the basis for the principal, more detailed investigations described below.

United Kingdom site. After 4 months of cold storage and 1 day at room temperature, the scald index of the control apples was 23 (Fig. 2), corresponding to <10% scalded area on average. After 10 days at room temperature, the index increased to 56, and all the apples were scalded and unmarketable. The DPA treatment reduced significantly the scald index after 10 days at room temperature to <5 although 17% of the apples was affected. When used alone, Semperfresh did not reduce scald from the control values, but when an antioxidant was present with the Semperfresh, scald was less evident the first day at room temperature after removal from storage. However, the beneficial effects of *n*-propyl gallate either alone or in addition to ascorbyl palmitate did not last during the shelf life; after 4 and 10 days, the scald indices increased to

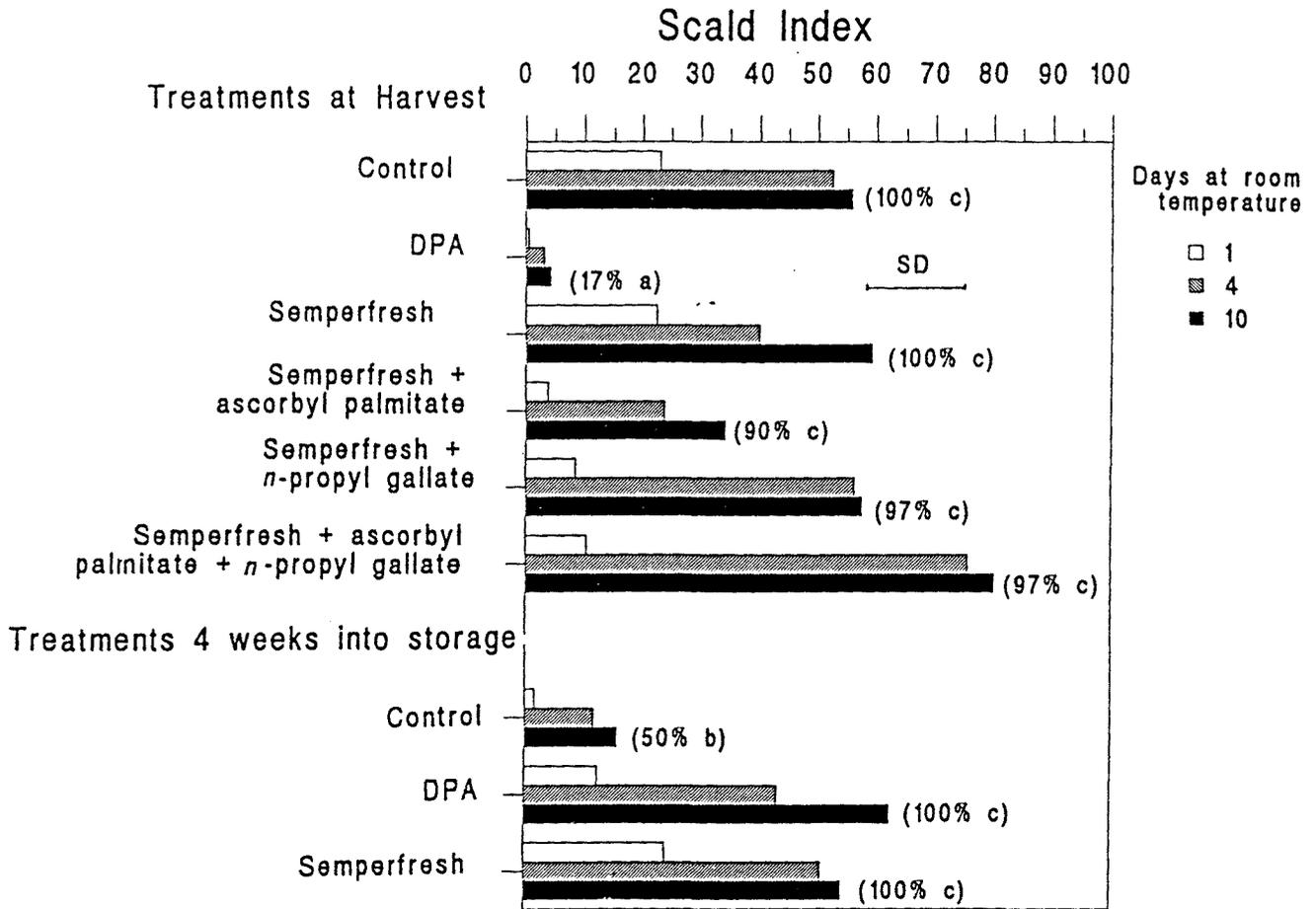


Fig. 2. United Kingdom site: development of scald during the shelf life of 'Granny Smith' apples after 4 months of cold storage under normal atmosphere. The apples were dipped in 2500 mg·liter⁻¹ DPA, 1% Semperfresh, 1% Semperfresh plus 1875 mg·liter⁻¹ ascorbyl palmitate, 1% Semperfresh plus 4687 mg·liter⁻¹ *n*-propyl gallate, or in 1% Semperfresh plus 1875 mg·liter⁻¹ ascorbyl palmitate plus 1875 mg·liter⁻¹ *n*-propyl gallate. The treatments were carried out either immediately after harvest or 4 weeks into cold storage. Scald index = [(1 × % lightly affected fruit) + (2 × % medium affected fruit) + (4 × % severely affected fruit)]/4. Numbers in parentheses show the mean percentages of apples that were scalded after 10 days at room temperature. Numbers followed by the same letter are not significantly different (LSD_{0.05}). Data transformed to arcsin √% for analysis.

those of the controls. Only the application of ascorbyl palmitate combined with Semperfresh significantly reduced the scald index after 10 days at room temperature, and even then, 90% of the apples was scalded on >10% of their surface.

Removing the apples to room temperature for 20 h after 4 weeks of cold storage reduced scald development to an extent similar to that observed after DPA treatment at harvest (Fig. 2). However, if at this time apples were treated with Semperfresh or DPA, the beneficial effect of the warming treatment disappeared (Fig. 2).

After 6 months of cold storage and only 1 day at room temperature, all of the control apples were scalded and had a high scald index (Fig. 3). Again, DPA treatment reduced scald development. Among all other treatments, only the combination of Semperfresh with ascorbyl palmitate gave a scald index <45 after 1 day at room temperature, and, after 10 days of shelf life, all treatments except DPA at harvest resulted in 100% scald (Fig. 3). Thus, some treatments other than DPA decreased the severity of scald symptoms, but none reduced the incidence of scald.

Spanish site. After 4 months of cold storage, apples treated just after harvest did not show any symptoms after 1 day at room temperature (Fig. 4). After 10 days at room temperature, all of the control apples were scalded, but with a scald index <50. DPA treatment and CA storage almost completely controlled scald, but

treatment with Semperfresh alone or with added antioxidants resulted in nearly 100% scald. After 10 days at room temperature, only 60% of the apples treated with CaCl₂ was scalded, and the scald index was half that of the control. No treatment applied after 6 weeks at 0°C reduced scald.

After 6 months of cold storage and 10 days at room temperature, all the control apples were scalded, with a scald index of 50 (Fig. 5). For the apples either treated with DPA or kept in CA storage, the proportion of scalded apples was lower (50% and 70%, respectively), and the scald indices were <20 (Fig. 5). None of the other treatments significantly reduced scald.

Discussion

As with many cultivars, 'Granny Smith' apples are more sensitive to superficial scald when harvested early (Anet, 1972; Huelin and Coggiola, 1968; Lurie et al., 1991). The present results are consistent with these findings: in the United Kingdom and Spain, after 4 months of cold storage and 10 days at room temperature, 100% of the control apples developed scald, many with severe symptoms. DPA treatment at harvest reduced but did not prevent scald on these fruit and was less effective after 6 than after 4 months. CA treatment (applied only in Spain) gave remark-

ably good control of scald after 4 months and slightly less control than DPA after 6 months.

Other edible coatings, comparable to Semperfresh, have reduced superficial scald significantly on 'd' Anjou' pears (Meheriuk and Lau, 1988), while Kerbel et al. (1989) noted an enhancement of scald development on early harvested 'Granny Smith' apples treated with Semperfresh. Many factors influence scald development on 'Granny Smith' (Ingle and D'Souza, 1989): growing conditions (Bramlage et al., 1993); maturity (Anet, 1974; Huelin and Coggiola, 1968) and storage conditions (Huelin and Coggiola, 1970; Little et al., 1985; Meigh, 1970). Presumably, it is the interaction between these factors and scald development that accounts for the differences in effectiveness of similar treatments applied in the United Kingdom and Spain in the present paper.

The application of ascorbyl palmitate with Semperfresh delayed the appearance of scald symptoms, at least under certain conditions: most notably at the United Kingdom site after 4 months cold storage and 1 day at room temperature. These results contrast with the more positive effects that were obtained in the trial at the Italian site described here, where Semperfresh-antioxidant combinations were applied to other apple cultivars harvested at commercial dates, and the results of Kallay (1994), who used 'Granny Smith'. We attribute the relative intransigence of the scald ob-

served here with 'Granny Smith' apples to the early, precommercial harvest date.

In the United Kingdom, warming the apples after 4 weeks of cold storage gave a control of scald closest to that obtained with a postharvest DPA treatment. Previously, Smith (1959) reported the beneficial effects of a 5-day warming period occurring between the fourth and twentieth week of cold storage of 'Bramley's Seedling' apples, and reductions of scald damage with prestorage heat treatments have been described many times (Klein and Lurie, 1992; Lurie et al., 1991; Porritt and Lidster, 1978). Nevertheless, in the present work, warming the apples was ineffective for the apples in Spain. Again, this underlines the variability in response to similar treatments for apples of different origins.

In conclusion, warming the apples (by withdrawal from cold storage) and CA storage were effective with 'Granny Smith' under some of our conditions, but, as commercial alternatives to DPA treatment, they are unlikely to be cost-effective. Among the novel formulations tested, a combination of *n*-propyl gallate, ascorbyl palmitate, and Semperfresh was the most effective with 'Red Chief', and 'Golden Delicious' apples, harvested at commercial date. With early harvested 'Granny Smith', ascorbyl palmitate applied with Semperfresh gave a limited scald control. Further development of such antioxidant-coating formulations appears to be justified.

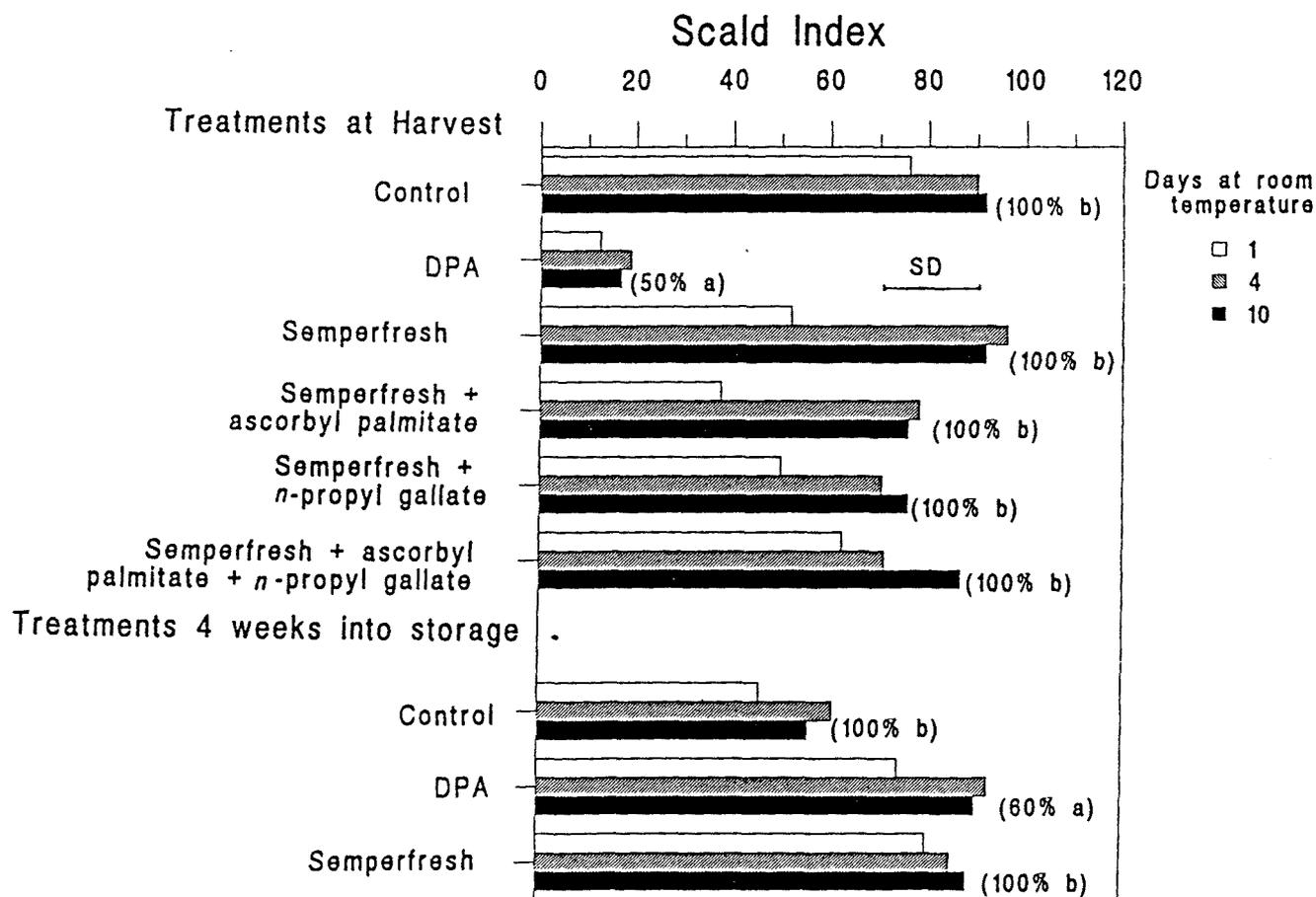


Fig. 3. United Kingdom site: development of scald during the shelf life of 'Granny Smith' apples after 6 months of cold storage under normal atmosphere. The apples were dipped in 2500 mg·liter⁻¹ DPA, 1% Semperfresh, 1% Semperfresh plus 1875 mg·liter⁻¹ ascorbyl palmitate, 1% Semperfresh plus 4687 mg·liter⁻¹ *n*-propyl gallate, or in 1% Semperfresh plus 1875 mg·liter⁻¹ ascorbyl palmitate plus 1875 mg·liter⁻¹ *n*-propyl gallate. The treatments were carried out either immediately after harvest or 4 weeks into cold storage. Scald index = [(1 × % lightly affected fruit) + (2 × % medium affected fruit) + (4 × % severely affected fruit)]/4. Numbers in parentheses show the mean percentages of apples that were scalded after 10 days at room temperature. Numbers followed by the same letter are not significantly different (LSD_{0.05}). Data transformed to arcsin √% for analysis.

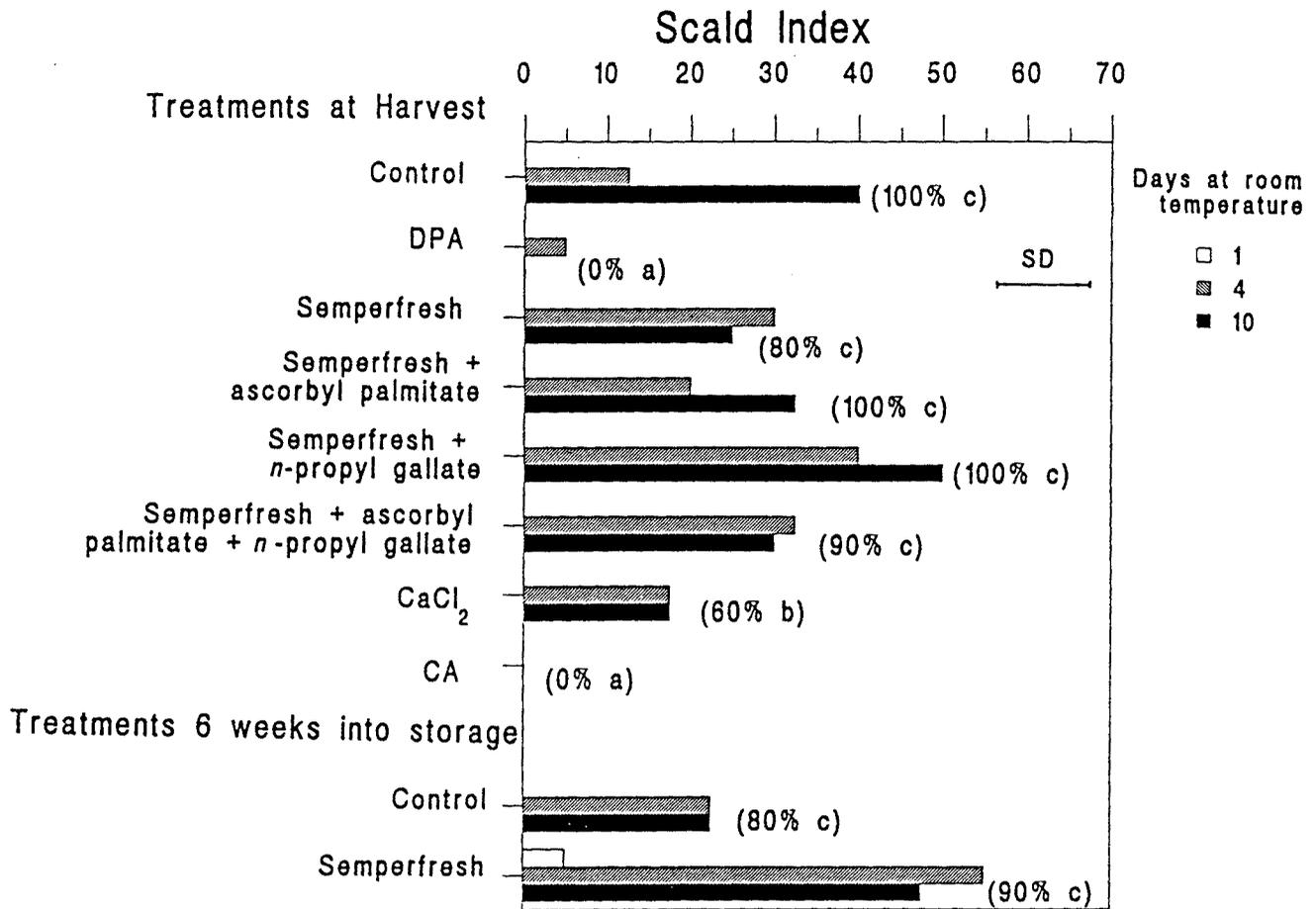


Fig. 4. Spanish site: development of scald during the shelf-life of 'Granny Smith' apples after 4 months of cold storage. The apples were dipped in 2500 mg-liter⁻¹ DPA, 1% Semperfresh, 1% Semperfresh plus 1875 mg-liter⁻¹ ascorbyl palmitate, 1% Semperfresh plus 4687 mg-liter⁻¹ n-propyl gallate, 1% Semperfresh plus 1875 mg-liter⁻¹ ascorbyl palmitate plus 1875 mg-liter⁻¹ n-propyl gallate, or in 1% CaCl₂. The treatments were carried out immediately after harvest or 6 weeks into storage. A further set of otherwise untreated apples was stored immediately after harvest in controlled atmosphere (CA) conditions. Scald index = [(1 × % lightly affected fruit) + (2 × % medium affected fruit) + (4 × % severely affected fruit)]/4. Numbers in parentheses show the mean percentages of apples that were scalded after 10 days at room temperature. Numbers followed by the same letter are not significantly different (LSD_{0.05}).

Literature Cited

- Anet, E.F.L.J. 1972. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. IX. Effect of maturity and ventilation. *J. Sci. Food Agri.* 23:763-769.
- Anet, E.F.L.J. 1974. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. XI. Apple antioxidants. *J. Sci. Food Agr.* 25:299-304.
- Anet, E.F.L.J. and I.L. Coggiola. 1974. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. X. Control of α -farnesene autoxidation. *J. Sci. Food Agr.* 23:763-769.
- Bain, J.M. 1956. A histological study of the development of superficial scald in 'Granny Smith' apples. *J. Hort. Sci.* 31:234-238.
- Bramlage, W.J., C.L. Barden, and C.B. Watkins. 1993. Comparing potential predictors of scald susceptibility of apples (*Malus domestica* Borkh.). *Acta Hort.* 326:237-244.
- Chu, C.L. 1986. Poststorage application of TAL Pro-long on apples from controlled atmosphere storage. *HortScience* 21:267-268.
- Drake, S.R., J.K. Fellman, and J.W. Nelson. 1983. Postharvest use of sucrose polyesters for extending the shelf-life of stored 'Golden Delicious' apples. *J. Food Sci.* 52:1283-1285.
- Fidler, J.C., B.G. Wilkinson, K.L. Edney, and R.O. Sharples. 1973. Injuries to the skin of the fruit, p. 67-75. In: J.C. Fidler (ed.). *The biology of apple and pear storage, part 2*. Commonwealth Agr. Bur., East Malling, England.
- Gough, R.E., V.G. Shutak, C.E. Olney, and H. Day. 1973. Effect of butylated hydroxytoluene (BHT) on apple scald. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98:14-15.
- Huelin, F.E. and I.M. Coggiola. 1968. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. IV. Effect of variety, maturity, oiled wraps and diphenylamine on the concentration of α -farnesene in the fruit. *J. Sci. Food Agr.* 19:297-301.
- Huelin, F.E. and I.M. Coggiola. 1970. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. V. Oxidation of α -farnesene and its inhibition by diphenylamine. *J. Sci. Food Agr.* 21:44-48.
- Ingle, M. and M.C. D'Souza. 1989. Physiology and control of superficial scald of apples: A review. *HortScience* 24:28-31.
- Kallay, T. 1994. New measures against superficial scald of apples. *Acta Hort.* 368:220-224.
- Kerbel, E., F.G. Mitchell, A.A. Kader, and G. Meyer. 1989. Effect of "Semperfresh" coating on postharvest life, internal atmosphere modification and quality maintenance of 'Granny Smith' apples. *Proc. 5th Intl. Cont. Atm. Res. Conf., Wenatchee, Wash., 14-16 June 1989, vol. 1*.
- Klein, J.D. and S. Lurie. 1992. Prestorage heating of apple fruit for enhanced postharvest quality: Interaction of time and temperature. *HortScience* 27:326-328.
- Lau, O.L. 1993. Scald and its control: The North-American situation. *Acta Hort.* 326:225-230.
- Little, C.R., H.J. Taylor, and F. McFarlane. 1985. Postharvest and storage factors affecting superficial scald and core flush of 'Granny Smith' apples. *HortScience* 20:1080-1082.

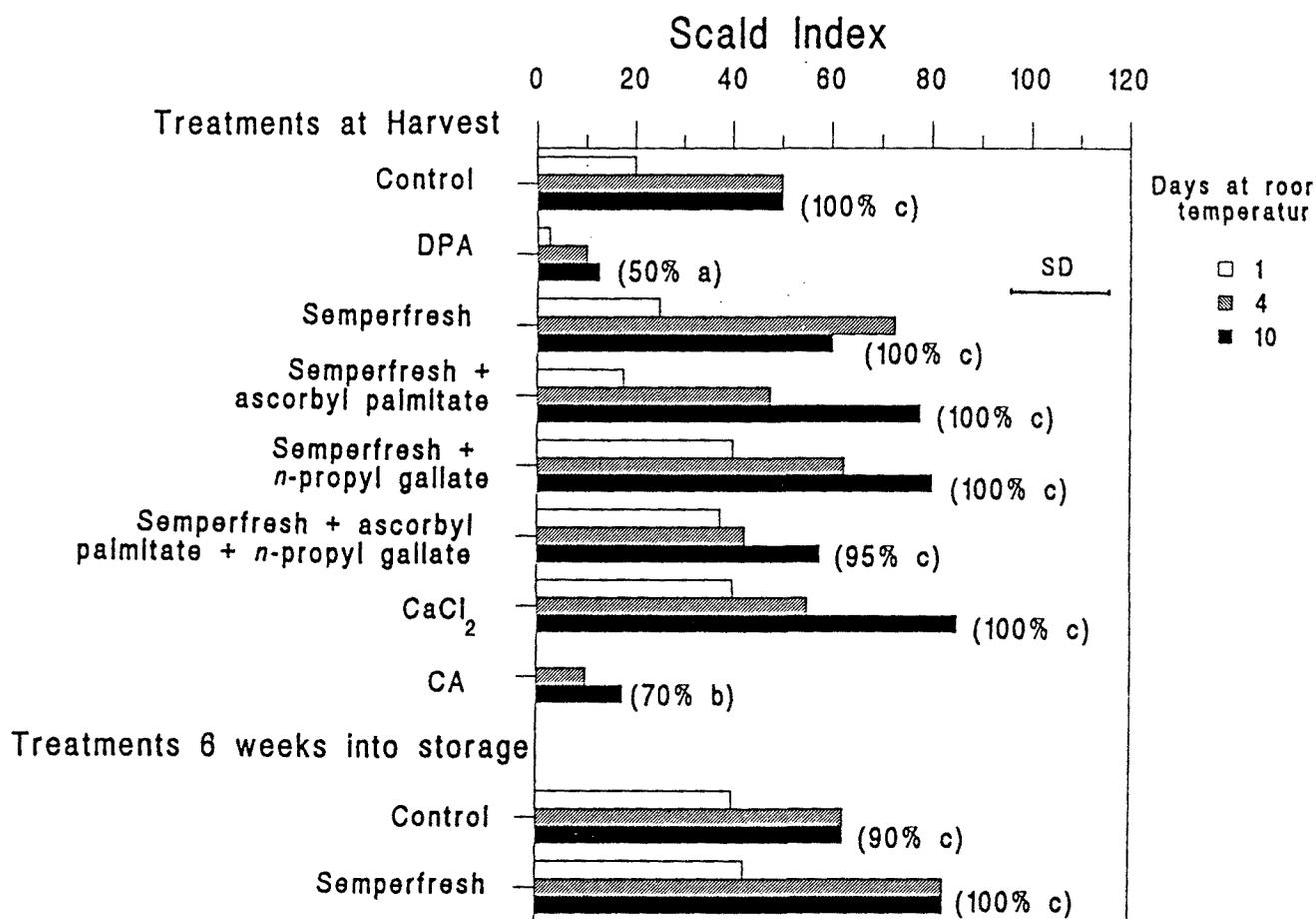


Fig. 5. Spanish site: development of scald during the shelf-life of 'Granny Smith' apples after 6 months of cold storage. The apples were dipped in 2500 mg-liter⁻¹ DPA, 1% Semperfresh, 1% Semperfresh plus 1875 mg-liter⁻¹ ascorbyl palmitate, 1% Semperfresh plus 1875 ppm ascorbyl palmitate plus 1875 mg-liter⁻¹ *n*-propyl gallate, or in 1% CaCl₂. The treatments were carried out immediately after harvest or 6 weeks into storage. A further set of otherwise untreated apples was stored immediately after harvest in controlled atmosphere (CA) conditions. Scald index = [(1 × % lightly affected fruit) + (2 × % medium affected fruit) + (4 × % severely affected fruit)]/4. Numbers in parentheses show the mean percentages of apples that were scalded after 10 days at room temperature. Numbers followed by the same letter are not significantly different (LSD_{0.05}).

- Little, C.R., H.J. Taylor, and I.D. Pegg. 1980. Multifunctional dips for controlling storage disorders of apples and pears. II. Assessing scald inhibitors. *Scientia Hort.* 13:315-321.
- Lurie, S., J.D. Klein, and R. Ben-Arie. 1991. Prestorage heat treatment delays development of superficial scald on 'Granny Smith' apples. *HortScience* 26:166-167.
- Meigh, D.F. 1970. Apple scald, p. 555-569. In: A.C. Hulme (ed.). *The biochemistry of fruits and their products*. vol 1. Academic Press, London.
- Meheriuk, M. and O.L. Lau. 1988. Effect of two polymeric coatings on fruit quality of 'Bartlett' and 'd'Anjou' Pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:222-226.
- Miszczak, A. 1994. Effect of Pro-long treatment on quality of stored apples. *Acta Hort.* 368:552-557.
- Patterson, M.E. and M. Workman. 1962. The influence of oxygen and carbon dioxide on the development of apple scald. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 80:130-136.
- Poovalah, B. W. 1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. *Food Technol.* 58:86-89.
- Porritt, S.W. and P.D. Lidster. 1978. The effect of pre-storage heating on ripening and senescence of apples during cold storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103:584-587.
- Smith, W.H. 1959. Control of superficial scald in stored apples. *Nature* 183:760.
- Smith, S.M. and J.R. Stow. 1984. The potential of a sucrose ester coating for improving the storage and shelf-life qualities of Cox's Orange Pippin apples. *Ann. Applied Biol.* 104:383-391.
- Smock, R.M. 1957. A comparison of treatments for the control of apple scald disease. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 69:91-100.
- Wills, R.B.H. and K.J. Scott. 1977. Evaluation of the use of butylated hydroxytoluene to reduce superficial scald of apples. *Scientia Hort.* 6:125-127.

**MULTIVARIATE ANALYSIS OF SUPERFICIAL SCALD SUSCEPTIBILITY
ON GRANNY SMITH APPLES DIPPED WITH DIFFERENT
POSTHARVEST TREATMENTS**

Y. SORIA ⁽¹⁾, I. RECASENS ⁽¹⁾, F. GATIUS ⁽²⁾, J. PUY ⁽²⁾

(1) Area de Postcollita. CeRTA. Centro UdL-IRTA. Universitat de Lleida, Av. Rovira Roure, 177, 25198 Lleida, España.

(2) Departament de Química. Universitat de Lleida, Av. Rovira Roure, 177, 25198 Lleida, España

Enviado a:

Journal of Agricultural and Food Chemistry

MULTIVARIATE ANALYSIS OF SUPERFICIAL SCALD SUSCEPTIBILITY ON GRANNY SMITH APPLES DIPPED WITH DIFFERENT POSTHARVEST TREATMENTS

Y. Soria ⁽¹⁾, I. Recasens ⁽¹⁾, F. Gatius ⁽²⁾, J. Puy ⁽²⁾

(1) Area de Postcollita. CeRTA. Centro UdL-IRTA. Universitat de Lleida

(2) Departament de Química. Universitat de Lleida
Av. Rovira Roure, 177, 25198 Lleida (Spain)

ABSTRACT. Multivariate methods were used to present the results of different post-harvest treatments applied to control superficial scald disorder in Granny Smith apples. In a 2-season study, the treatments applied by dips were: diphenylamine (DPA), Semperfresh (a sucrose ester coating) formulated alone or with either ascorbyl palmitate or *n*-propyl gallate, and CaCl₂. DPA correlated negatively with scald, whereas the rest of the treatments showed no clear relationship with the disorder. By means of Partial Least Squares (PLS), incidence of superficial scald after cold storage was shown to correlate with quality parameters (firmness and acidity), measured at the end of storage. In contrast, ethylene production did not appear as a relevant factor in the incidence of scald.

Keywords: apple, Granny Smith, principal component, diphenilamine, superficial scald, quality.

INTRODUCTION

Superficial scald is a physiological disorder which appears during marketing, after cold storage of apples. Granny Smith apples are particularly prone to scald and, in some areas, the incidence of scald on this cultivar reaches 100% after several months of storage (Barlow, 1988). Until now, this disorder has been well controlled by diphenylamine (DPA), but this product is likely to be withdrawn from the market. Thus, a necessity has arisen for alternative, non-DPA, strategies for controlling scald.

It is currently common to use controlled atmospheres (CA) storage, especially with low oxygen concentrations, to prevent scald. This practice also improves the quality parameters of the fruit (Visai et al., 1997). However, CA is an expensive technique and sometimes its use may not be recommendable, i.e. for short-term (2-4 month) storage of fruit. Some success in controlling scald has already been claimed for a number of treatments approved for foodstuffs use, these being relatively easy to apply without major modifications to existing storage and dipping equipment. Sucrose ester-based coatings, like "Semperfresh", were found to reduce superficial scald applied alone (Meheriuk and Lau, 1989; Van Schaik and Slaats, 1990) or in combination with food-compatible antioxidants (Little and Barrand, 1989). These products could also modify the quality attributes.

Another aspect related with superficial scald prevention is to investigate the biochemical origin of the disorder. Scald formation is thought to result from the oxidation of the α -farnesene to

produce hydro-peroxides and peroxides, commonly known as CTH (Huelin and Coggiola; 1970; Anet, 1972). Scald has also been related with other biochemical processes, such as ethylene production (Du and Bramlage, 1994).

The aim of this work was to evaluate the susceptibility of Granny Smith apples to superficial scald development of Granny Smith apples in relation to their postharvest treatment. The evolution of some biochemical and/or quality attributes during cold storage were also considered. To obtain an overview of almost all the results, we analysed the data by Principal Component methods (Martens and Naes, 1989; Ebensen et al., 1994). For a deeper insight we analysed the correlation between scald, and ethylene production and quality parameters by means of Partial Least Squares (PLS).

MATERIALS AND METHODS

Plant Material. Granny Smith apples from a commercial orchard in Lleida, Spain, were harvested on two consecutive years, on 18 October, 1991 (season I) and 13 October, 1992 (season II). The maturity stage of the apples was determined within 4-5 h of harvest (T0). Measurements at harvest included quality attributes and ethylene production.

Treatments and Storage Procedure. The apples were treated immediately after harvest (F1) or 6 weeks into cold storage (F6). After harvest, three 10-apple replicates were not dipped as controls (T1) or dipped for 20 sec in emulsions of DPA at 2500 ppm (T2), Semperfresh at 1% (T3), ascorbyl palmitate at 1875 ppm in 1% Semperfresh (T4), *n*-propyl gallate at 1875 ppm (season I) or at 4867 ppm (season II) in 1% Semperfresh (T5), or CaCl₂ at 1% (T6). All the emulsions were prepared with tap water 18 h before use. The emulsions were supplied by Surface Systems International Ltd, East Challow, U.K. After dipping, the treated and some nontreated apples were stored at 0,5 °C under normal atmosphere. Six weeks into cold storage, the untreated apples were removed to room temperature and were then dipped with DPA, Semperfresh, ascorbyl palmitate plus Semperfresh, *n*-propyl gallate plus Semperfresh, and CaCl₂ (season I) or with Semperfresh (season II). Some replicates were kept as a control sample in the same conditions but without treatment. Fruit samples were evaluated after 2, 4, and 6 months of storage (S2, S4, and S6 respectively) plus after 1, 4, and 10 days at room temperature after cold storage (01, 04, and 10).

Scald Incidence. This was evaluated visually using three replications of 10 fruits each. Only those fruit exhibiting browning greater than 0.5 cm² were considered as scald-damaged. Data were expressed as percentage of injured fruit.

Determination of ethylene production. Five apples were enclosed in a 10-l jar continuously aerated with humidified air, as one replicate, with two replicates used per treatment. Ethylene production rates were measured by analysing the ethylene concentration of 1-ml gas sample from each jar using a gas chromatograph with a flame ionisation detector.

Evaluation of Quality Attributes. The fruit were evaluated for weight, flesh firmness, titrable acidity, and soluble solids content. Weight was measured with a 0.1 g-sensibility balance. Flesh firmness was measured on two opposite peeled sides using a Effegi tester fitted with an 11 mm plunger. Titrable acidity was assessed by titrating with 0.1 N NaOH to pH 8.1 and expressing

the result as malic acid. Soluble solids content was measured with a digital Attago refractometer. All measurements were made with three replicates of 10 fruits each.

Chemometrics. For analysis of the data, Principal Component (PC) methods were used. Principal Component Analysis (PCA) permits a simultaneous study all variables and descomposes the data to detect “hidden phenomena”. Partial Least Squares (PLS) were used to analyse the correlation between scald incidence and the variables studied. We used Unscrambler v. 6.11b software (by Camo AS (ed.) 1996).

The data set included discrete variables to identify the treatments (T0 to T6), the moment of treatment application (F1 or F6), and the length of storage (S2, S4, and S6). There were also variables related to the assesment: incidence of scald (scald), ethylene production (ethylene), weight, firmness (two measurements and the mean expressed as fir1, fir2 and firm), acidity, and soluble solids content (SSC). As variables were measured in different units, there were large differences between them with respect to mean values, variance and standard deviation. As a result, it was necessary to scale the data prior to performing PC-models. The factor used was the inverse of the standard deviation (SDev). In addition, the original variables have been centered by subtracting the mean. Thus, PCA and PLS models were made with scaled and centered data to avoid dependence of the results on the measurements units.

RESULTS AND DISCUSSION

PCA models. The score plot of a PCA model of full data is shown in figure 1. At it is easily seen, there are two well differentiated groups in the plot: one corresponding to harvest samples (T0) and the other including all samples after cold storage (T1 to T6). Objects lying close together in the score plot have similar properties. This indicates that the storage is the most important factor in the differentiation of the fruits, even when storage involves only 2 months. The differences between the samples corresponding to the withdrawal from 2, 4 or 6 months storage are lower than differences between samples at harvest and samples after storage.

To study the effect of the treatments, we should focus in the samples T1 to T6 recalculating the model by removing the harvest data. The three first PCs in the resulting model describe 42% of the total variance in the data. Although this value is not very high, it is higher than the explained variance that we could obtain using only three of the variables studied, and moreover, the objects are well spread over the whole PC space, so the model could be considered as useful for our aims. The scores PC1 vs. PC2 are plotted in the figure 2 using different labels for the samples. Figure 2a shows a group of objects situated near the bottom and to the right labelled as S2. This implies that all the samples kept in the cold room for 2 months are similar, independently of the treatment applied. S4 samples are situated in the middle of the plot and the S6 group is situated to the left, but near S4. It seems that S2 forms a separated group, whereas the difference between S4 and S6 is not so high. Consequently, the time of storage characterise the samples more than other variables and it is related to the meaning of PC1. Figure 2b shows that, within each group, the samples treated just after harvest (F1) lie in the upper part of the plot whereas the ones treated 6 weeks into storage (F6) are found in the lower part. PC2 seems to describe the moment of treatment application. When the samples are identified by the labels of treatment or days at ambient temperature after cold storage, they span the whole PC space, without clear grouping inside each cluster.

Consequently, no relationship appears between these factors and the meaning of the first two PCs (data not shown).

Loading plot PC1 vs. PC2 (Figure 3) shows the influence of the variables in the PCs and the main relationships among them (variables close together in the loading plot are positively correlated). Acidity and firmness form a group of variables with strong influence on PC1, and they are clearly affected by the time of storage, as PC1 has also been connected to storage time in the score plot discussion. Conversely, SSC and ethylene production show high correlation between each other and with respect to PC2, which is also influenced by the moment of application of the treatment. Application just after harvest (F1) is strongly correlated with ethylene production and SSC. Hence, the application of the treatment just after harvest seems to accelerate the ripening process which reaches a maximum after 4 months cold storage (S4). Two months into cold storage, variable (S2), shows positive correlation with firmness and acidity, and is negatively correlated with scald incidence (opposite loading with respect to PC1). In contrast, 6 months into cold storage (S6) is clearly correlated with scald, and negatively correlated with acidity and firmness. In conclusion, a long storage period increases the incidence of the scald and both the loss of firmness and acidity in the fruit, as is to be expected.

A PLS-model for superficial scald. The information concerning the success of any treatment in preventing scald is easily obtained by looking at a model designed to describe the variable scald. Thus, PLS was used to model scald using post-cold storage samples (T1 to T6). This model attempts to explain the maximum variance of the scald variable in the first factors or PCs. Figures 4 and 5 represent the score and loading plots for PC1 vs. PC2. As we can be seen in figure 4a, PC1 is related with the storage time (like in the PCA-model), and PC2 is most closely related to the treatments (Figure 4b). However, it is remarkable that T2 samples (corresponding to DPA treatment) form a more separated group at the bottom of each cluster corresponding to each withdrawal from storage, whereas the rest of the treatments are spread over each cluster to a greater or lesser extent (see figure 4). These two factors (PC1 and PC2) explain up to the 54% of the total variance of scald.

The loading plot (Figure 5) shows that the treatment with DPA (T2) is negatively correlated with the scald variable with respect to both PC1 and PC2. The rest of the treatments have small loading values in PC1, except *n*-propyl gallate (T5), which is situated near scald. We can derive from this that DPA is the most effective of the compounds tested, but probably none of the other compounds reduced scald incidence, and the application of *n*-propyl gallate could even aggravate the incidence of the disorder. The moment of treatment application appears to have almost no importance for scald development (see figure 5).

The regression coefficients quantify, for a given number of PC's, the importance of each variable and summarize the results observed in the loading plots. Figure 6 plots the regression coefficients containing samples of season I and season II separately, since the incidence of the scald was higher during the latter season. We have only represented the data for the last withdrawal from storage (6 months), when the scald was most obvious (high regression coefficient value in figure 6). However, the behaviour of the variables with respect to scald for 2 or 4 months cold storage withdrawals (data not shown) were similar to the behaviour obtained after 6 months.

Figure 6 reaffirms the results observed in the PLS loading plot (figure 5) with respect to the effectiveness of the different treatments to control scald. DPA (T2) presents the highest negative correlation with scald, so it is the most effective treatment for controlling the disorder. Moreover, this control is also greater when the incidence is higher (season II). The antioxidant *n*-propyl gallate applied with Semperfresh shows the highest positive correlation. Hence, this treatment could be harmful on cultivars susceptible to scald, like Granny Smith apples. The application of Semperfresh alone (T3) make a slight impact in season I, when the development of scald is lower. The behaviour of CaCl₂ (T6) is similar to Semperfresh. The moment of treatment shows slight correlation with scald (Figures 5 and 6), but is notable that the application just after harvest (F1) negatively correlated with scald, whereas the application after 6 weeks into cold storage has a positive correlation. Thus, it seems that the best moment to apply a treatment to prevent scald is just after harvest, before the fruits enters cold storage.

Ethylene production does not appear as a relevant factor to explain the incidence of the scald (Figure 5), unlike Du and Bramlage's findings (1994). The poor correlation between these two variables agrees with other studies which demonstrate that ethylene levels in cold rooms do not affect scald incidence (Lau, 1990; Graell and Recasens, 1992)

Quality parameters show clearer correlation with scald (Figures 5 and 6). The weight is positively correlated with this variable (for PC1 and PC2; see figure 5), but its regression coefficient signal depends on the season. The greater incidence of scald, the higher positive coefficient is obtained. According to Bramlage (1993), larger fruit tend to scald more than smaller fruit. This could be explained by the consideration that fruit calcium content, which is negatively correlated with scald (Bramlage et al., 1985), declines as size increases. The SSC presents a negative correlation with scald for both, PC1 and PC2 in the loading plot (figure 5). However, the regression coefficient varies depending on the season, likewise with the weight. Firmness and acidity are strongly correlated, and negatively with scald (opposite co-ordinate with respect to PC1 in figure 5). Their regression coefficients with respect to scald show a high negative value in both season I and II (Figure 6).

The irregular results obtained with weight and SSC variables prevent the establishing of a solid relationship between them and scald development, and they can not be considered as a factor in scald susceptibility. In contrast, the evolution of firmness and acidity during cold storage affects the evolution of the scald development in a constant manner, since the higher the level of these two components in the fruit, the lower the scald development. It seems interesting to evaluate whether the retention of these quality parameters provides any protection against scald development, or whether there is simply a correlation between these and scald, but which is not a causative relationship. It is widely recognised that early maturity at harvest predisposes fruit to superficial scald development during storage (Lidster et al., 1987; Dilley, 1993; Truter and Combrink 1993; Lau and Yastremski, 1993). Early mature fruit is characterised by a high firmness and acidity. This fact contrasts with our results, as after withdrawal from cold storage, firmer and more acid fruit is less prone to scald.

The different role played by these quality parameters in scald development, depending on whether they are measured at harvest or on withdrawal from storage, leads us to conclude that there is no causal relationship between quality parameters and scald development. Thus, these parameters can not be considered predetermining factor for scald. It is probable that the biochemical reactions involved in these parameters which lead to maturity and/or ripening

process do not affect the biochemical changes leading to scald development.

The retention of firmness and acidity may provide resistance to scald, but there could be another factor that predetermines the disorder. It is possible that the evolution of some peel components, where biochemical reactions leading to scald occur, has implications in the disorder resistance. At present, the investigations into the origin of scald are turning towards this direction (Whitaker, 1998). Therefore, we can speak about the effect of the harvest date, better than the effect of maturity determined by quality parameters, on the susceptibility of fruit to scald.

CONCLUSION REMARKS

The most important factor which differentiates the fruits is cold storage, the storage length being the second factor. The moment of the treatment application affects biochemical and quality parameters (ethylene production and soluble solids content, respectively) and this factor also classifies the samples into different groups.

With respect to the effectiveness of the post-harvest treatments tested to control scald, the best results were obtained with. The rest of the treatments do not show a clear relationship with scald development.

The quality parameters of firmness and acidity, and scald incidence, both measured on withdrawal from cold storage, show a negative correlation. Despite this correlation, we can not consider that a causal relationship exists.

REFERENCES

- ANET, E.F.L.J. 1972. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. IX. Effect of maturity and ventilation. *J. Sci. Food Agric.*, 23: 763-769.
- BARLOW, E.W.R. (1988). Superficial scald physiology, biology, control. An interpretative review. Agricultural and Veterinary Chemicals Section, Bureau of Rural Science, Department of Primary Industry and Energy, Australia.
- BRAMLAGE, W.J. 1993. Preharvest factors affecting scald development on apples in the northeastern United States. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*, Vol.4. N° 2. 6-7.
- BRALMAGE, W.J., WEIS, S.A., DRAKE, M. 1985. Predicting the occurrence of poststorage disorders of "McIntosh" apples from preharvest mineral analyses. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 110:493-498.
- CAMO AS (ed.) 1996. The unscrambler ver 6.11. Trondheim, Norway.
- DILLEY, D.R. 1993. Air separator to control superficial scald of apples not chemically treated. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*, Vol.4. N° 2. 39-41.
- DU, Z., BRAMLAGE, W.J. 1994. Roles of ethylene in the development of superficial scald in "Cortland" apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 119: 516-523.
- EBENSEN, K., MIDTGAARD, T., SCHÖNKOPF, S. 1994. Multivariate analysis in practice. Camo AS (ed.),

Trondheim, Norway.

GRAELL, J., RECASENS, I. 1992. Effects of ethylene removal on Starking Delicious apple quality in controlled atmosphere storage. *Postharvest Biol. Technol.*, 2:101-108.

HUELIN, F.E., COGGIOLA, I.M. 1970. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. V. Oxidation of α -farnesene and its inhibition by diphenylamine. *J. Sci. Food Agric.*, 21: 44-48.

LAU, O.L., 1990. Efficacy of diphenylamine, ultra-low oxygen, and ethylene scrubbing on scald control in Delicious apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115:959-961.

LAU, O.L., YASTREMSKI, R. 1993. The use of 0.7% storage oxygen to attenuate scald symptoms in Delicious apples: effect of apple strain and harvest maturity. *Acta Horticulturae*, 326:183-189.

LIDSTER, P.D., LOUGHEED, E.C., McRAE, K.B. 1987. Effects of sequential low-oxygen and standard controlled atmosphere storage regimens on apple quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 112:787-793.

LITTLE, C.R., BARRAND, L. 1989. Seasonal orchard and storage conditions affecting storage scald in pome fruit. *Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington. Vol. 1.* 177-184.

MARTENS, H., NAES, T. 1989. *Multivariate calibration.* John Wiley and Sons. Chichester, U.K.

MEHERIUK, M., LAU, O.L. 1988. Effect of two polymeric coatings on fruit quality of "Bartlett" and "d'Anjou" pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 113:222-226.

TRUTER, A.B., COMBRINK, J.C., CALITZ, F.J. 1993. Control of superficial scald of apples by ultra-low and stress levels of oxygen as an alternative to diphenylamine. *Proceedings of the Sixth International Controlled Atmosphere Research Conference, Ithaca, New York. Vol. 2.* 470-480.

VAN SCHAİK, A., SLAATS, W.J. 1990. Fruitcoating mogelijk alternatief voor CA-bewaring. *Weekblad Groenten en Fruit*, 30:77-79.

VISAI, C., VANOLI, M., FADANELLI, L. 1997. Influence of controlled atmosphere on quality and scald development of "Red Delicious" apples. *Proceedings of the Seventh International Controlled Atmosphere Research Conference, Davis, California. Vol. 2.* 204-210.

WHITAKER, B. D. 1998. Phenolic fatty-acid esters from the peel of "Gala" apples and their possible role in resistance to superficial scald. *Postharvest Biol. Technol.*, 13:1-10

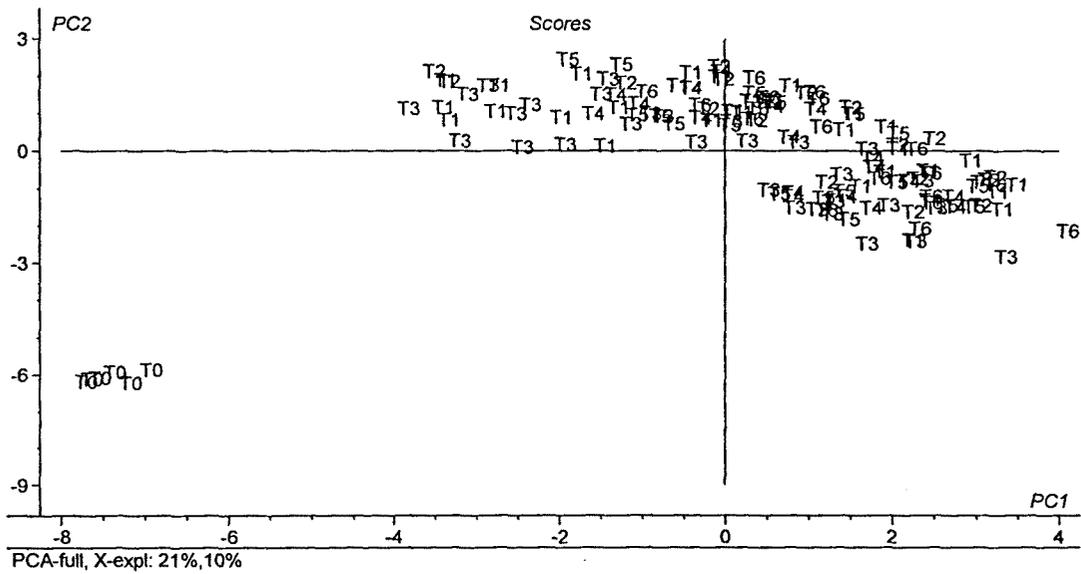


Figure 1. Score plot PC1 vs. PC2 from a PCA model of full data. 141 samples from the 1991 and 1992 seasons are included. Samples are labelled using coding as defines in the “Treatments and Storage Procedure” section.

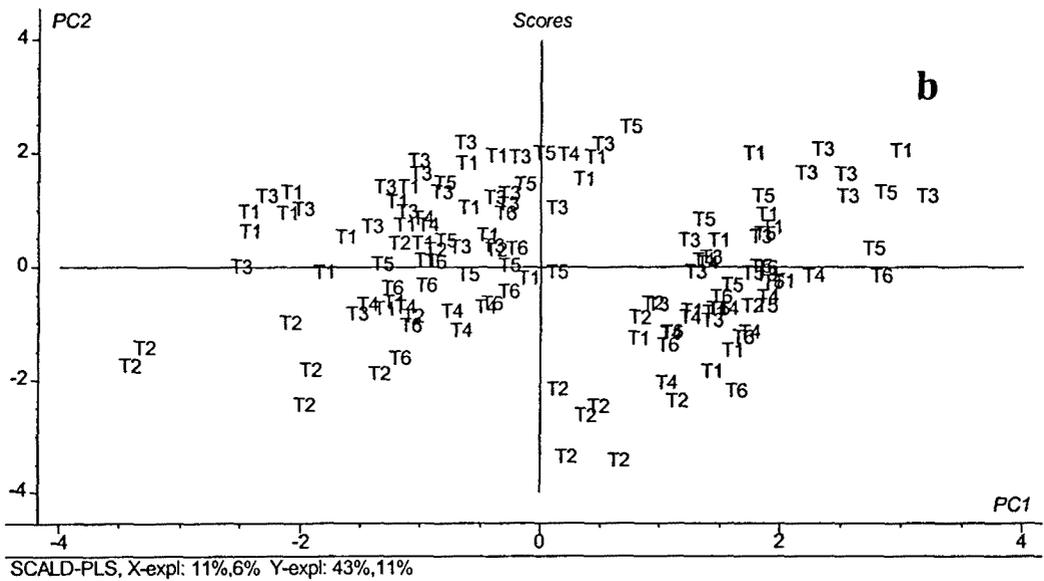
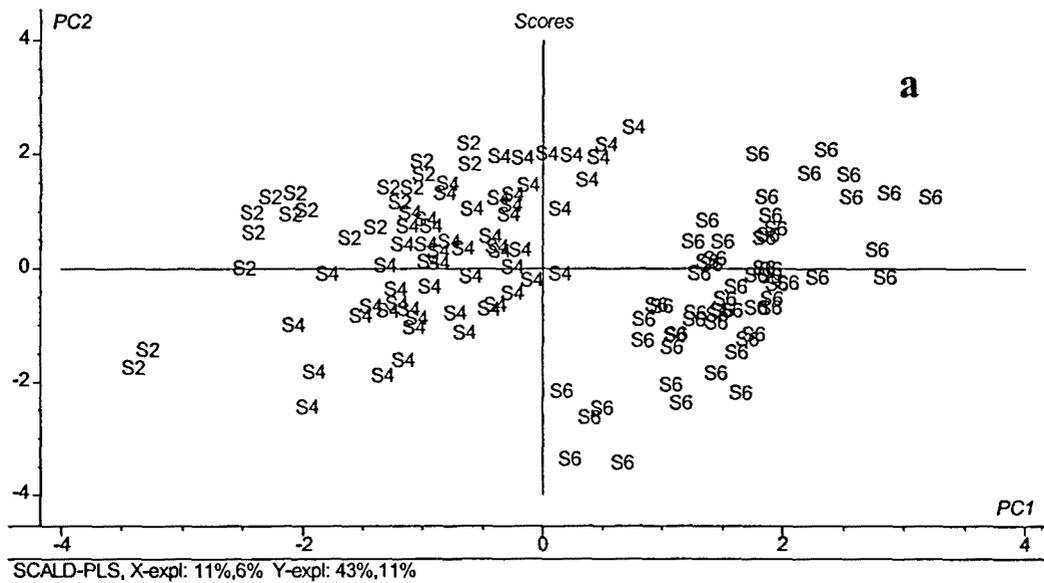


Figure 2. Score plot PC1 vs. PC2 from a PCA model made using all data except ones corresponding to harvest-135 samples from the 1991 and 1992 seasons are included. Samples are labelled using coding as defines in the "Treatments and Storage Procedure" section, with the storage length label in fig. 2a (S2, S4 and S6), and with the moment of treatment application label in fig. 2b (F1 and F6).

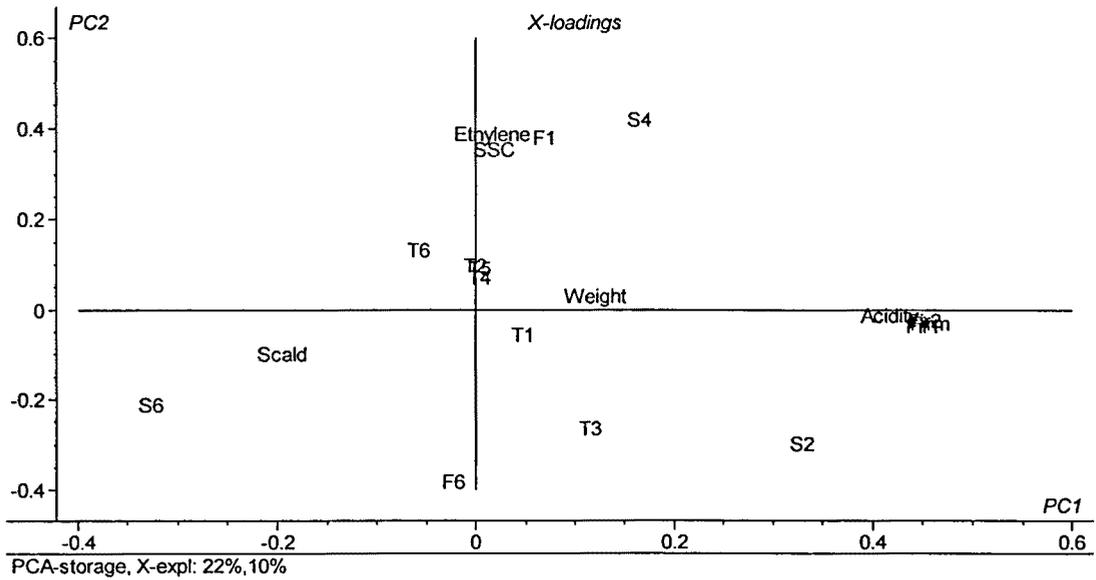


Figure 3. Loading plot PC1 vs. PC2 from a PCA model made using all data except ones corresponding to harvest. 135 samples from the 1991 and 1992 seasons are included. Variables are labelled using coding as defines in the "Treatments and Storage Procedure" section.

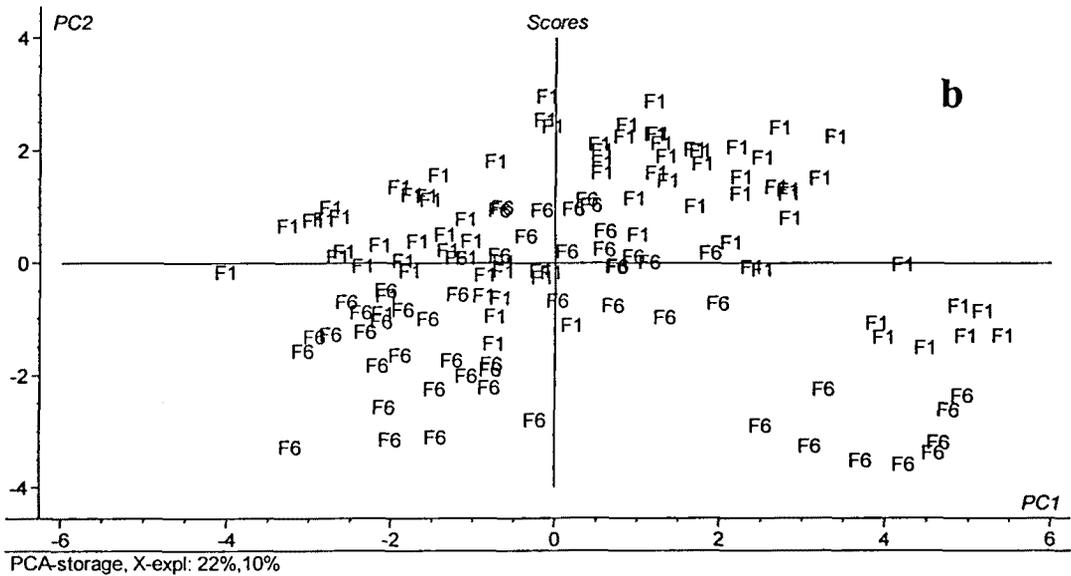
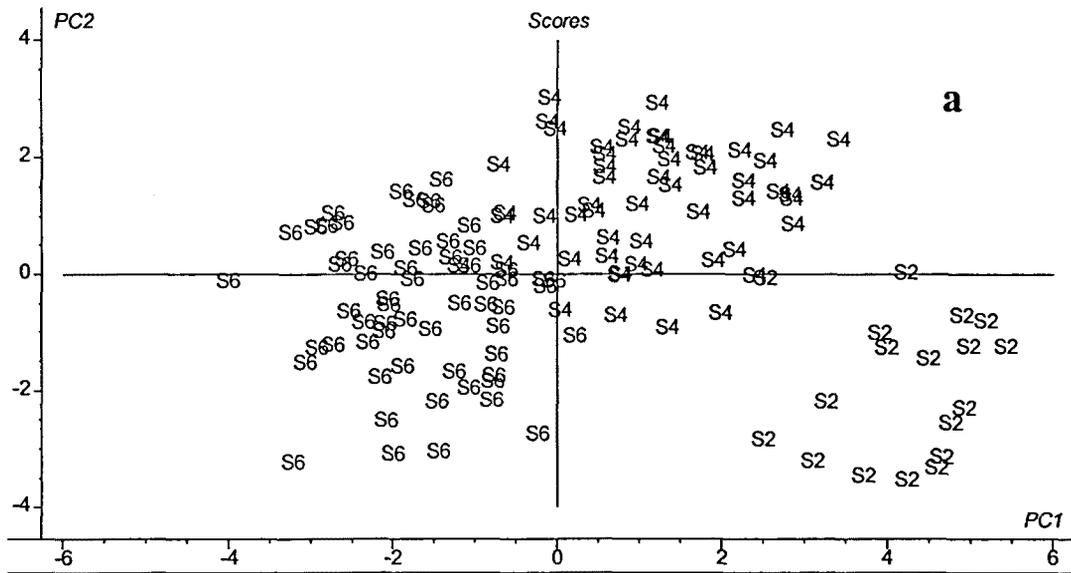


Figure 4. Score plot PC1 vs. PC2 from a PLS model of variable scald made using all data except ones corresponding to harvest. 135 samples from the 1991 and 1992 seasons are included. Samples a Figure 2. Samples are labelled as defines in the "Treatments and Storage Procedure" section, with storage length label in fig. 4^a and with the treatment label in fig. 4^b

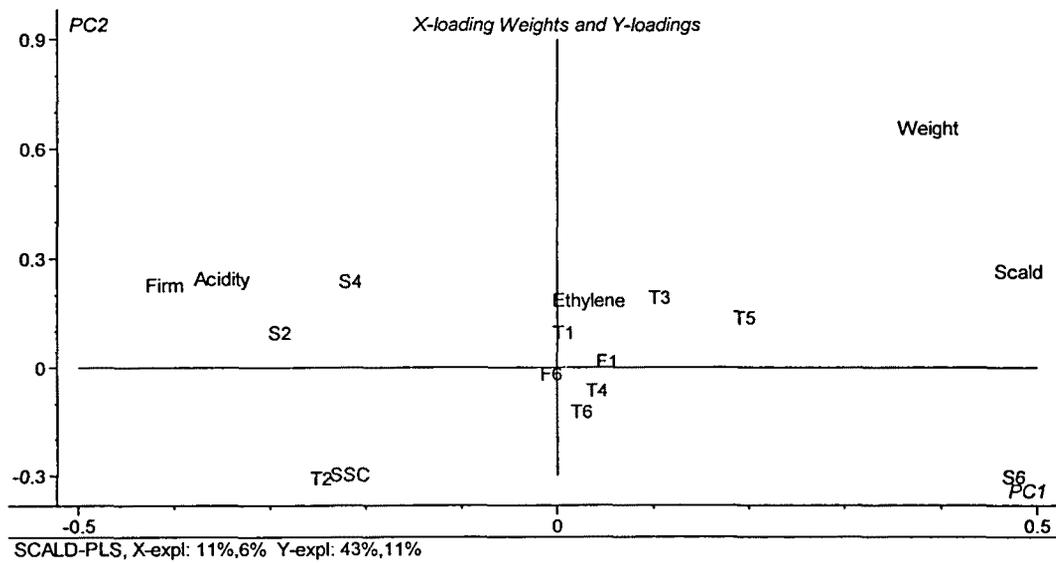


Figure 5. Loading plot PC1 vs. PC2 from a PLS model made of variable scald using all data except ones corresponding to harvest. 135 samples from the 1991 and 1992 seasons are included. Variables are labelled using coding as defines in the "Treatments and Storage Procedure" section.

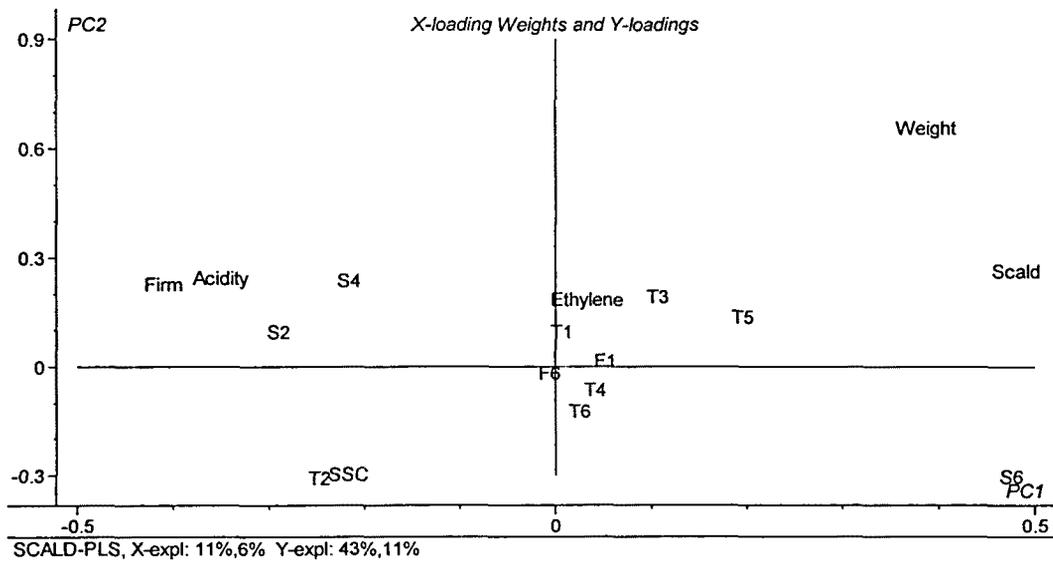


Figure 5. Loading plot PC1 vs. PC2 from a PLS model made of variable scald using all data except ones corresponding to harvest. 135 samples from the 1991 and 1992 seasons are included. Variables are labelled using coding as defines in the "Treatments and Storage Procedure" section.

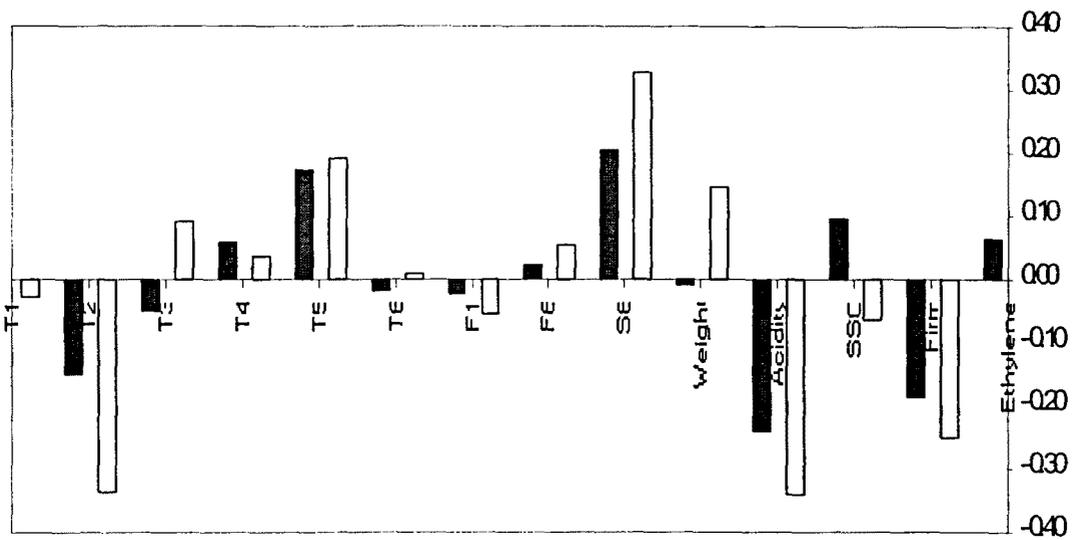


Figure 6. Regression coefficients between scald and the rest of the variables. The samples from 1991 season (black) and 1992 season (white), are represented separately. Models were made using data from the withdrawal from 6 months storage. Variables are labelled coding as defined in the "Treatments and Storage Procedure".

**CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y CUALITATIVOS PROVOCADOS POR
TRATAMIENTOS ALTERNATIVOS A LA DIFENILAMINA
APLICADOS PARA EL CONTROL DEL ESCALDADO SUPERFICIAL
EN MANZANAS GRANNY SMITH**

Y. SORIA, I. RECASENS

Area de Postcollita. CeRTA. Centro UdL-IRTA. Universitat de Lleida, Av. Rovira Roure,
177, 25198 Lleida, España.

Enviado a:

Información Técnica Económica Agraria (ITEA)

**CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y CUALITATIVOS PROVOCADOS POR
TRATAMIENTOS ALTERNATIVOS A LA DIFENILAMINA
APLICADOS PARA EL CONTROL DEL ESCALDADO SUPERFICIAL
EN MANZANAS GRANNY SMITH**

Y. Soria, I. Recasens

Area de Postcollita. CeRTA. Centro UdL-IRTA. Universitat de Lleida.
Av. Rovira Roure, 177, 25198 Lérida. e-mail: recasens@lleida.irta.es

RESUMEN. El ensayo se basó en evaluar posibles alternativas a la difenilamina (DPA) para el control del escaldado superficial en manzanas Granny Smith. En un estudio de 2 años se examinó el efecto a nivel fisiológico y cualitativo de recubrimientos a base de ésteres de sacarosa y ácidos grasos (Semperfresh y Nu Coat Flo); antioxidantes de uso alimentario (butilhidroxitolueno, palmitato de ascorbilo, galato de propilo y α -tocoferol) aplicados conjuntamente con Semperfresh; sales de calcio (CaCl_2) con o sin Semperfresh; y conservación en atmósfera controlada sin tratamiento poscosecha. Los productos se aplicaron en forma de baños, inmediatamente después de la cosecha o después de un periodo de 6 semanas de conservación frigorífica a 0,5  C en atmósfera normal. El tratamiento con DPA resultó muy efectivo para evitar la aparición del escaldado, pero no afectó al metabolismo del etileno, ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) y actividad ACC oxidasa, como tampoco mejoró los parámetros de calidad (firmeza, acidez y sólidos solubles) después de 4 y 6 meses de frigoconservación. El recubrimiento de los frutos (con o sin antioxidante) provocó un retraso de la maduración al inhibir la producción de etileno y retener los parámetros de calidad, aunque se mostró poco efectivo para el control del escaldado. Se obtuvieron resultados más satisfactorios con el recubrimiento solo que con el recubrimiento más un antioxidante, en cuyo caso el efecto sobre la calidad varió según el antioxidante aplicado. El tratamiento con CaCl_2 controló mejor el desarrollo de escaldado que los recubrimientos, aunque sin alcanzar el control obtenido con DPA. Con la conservación en atmósfera controlada se consiguió un adecuado control del escaldado y frutos de calidad, con niveles altos de firmeza y acidez después de 6 meses de almacenamiento. El tratamiento a las 6 semanas no fue efectivo para prevenir el escaldado y además redujo la firmeza y acidez de los frutos.

Palabras clave: Manzanas, Granny Smith, escaldado superficial, Semperfresh, antioxidantes, frigoconservación, etileno, calidad.

SUMMARY. Over a two-year period a study was carry out to evaluate possible alternatives to diphenylamine (DPA) for the control of superficial scald on Granny Smith apples. The experiment was designed to consider the qualitative and physiological effects of sucrose-based fruit coatings (Semperfresh and Nu Coat Flo); food-approved antioxidants (butylated-hydroxytoluene, ascorbyl palmitate, *n*-propyl gallate, and α -tocopherol) applied together with Semperfresh; calcium salts (CaCl_2) applied with or without Semperfresh; and storage in controlled atmosphere without post-harvest treatment. The products were applied in dips either immediately after harvest or 6 weeks into cold storage. The treatment with DPA turned out to be very effective at avoiding the appearance of scald, but did not affect the metabolism of ethylene, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) and ACC oxidase activity, nor did it improve the quality parameters after 4 and 6 months cold storage. The coating of the fruit (with

or without antioxidant) causes a delay in ripening by inhibiting the production of ethylene and retains the quality parameters, although it was not very effective in controlling scald. The results were better with the coating alone than the coating applied together an antioxidant, in which case its effects on quality varied according to the antioxidant applied. Treatment with CaCl_2 prevents the development of the scald better than the coatings, although it did not achieve the results obtained with DPA. The storage in controlled atmosphere produced a satisfactory control of scald and high quality fruit, with high levels of firmness and acidity after 6 months' storage. Treatments after 6 weeks were ineffective at controlling scald and, furthermore reduced the firmness and acidity of the fruit.

Key words: Apple, Granny Smith, superficial scald, Semperfresh, antioxidants, cold storage, ethylene, quality.

INTRODUCCION

El escaldado superficial es una alteración fisiológica que se manifiesta por la aparición de manchas pardas en la epidermis, después de un periodo de frigoconservación. Las manzanas Granny Smith son particularmente susceptibles a la alteración, ya que la incidencia de escaldado en esta variedad después de varios meses de almacenamiento, puede llegar a ser del 100% (Barlow, 1988).

El origen bioquímico de escaldado superficial no es del todo conocido (Soria y Recasens, 1997), pero se sabe que está relacionado con la oxidación del α -farnaseno, compuesto volátil que se encuentra en la cutícula de los frutos (Huelin y Coggiola, 1968). Hasta el momento, los compuestos químicos más utilizados para el control del escaldado son la difenilamina (DPA) y la etoxiquina, que actúan como antioxidantes inhibiendo el proceso de oxidación del α -farnaseno (Smock, 1957; Huelin y Coggiola, 1970; Anet y Coggiola, 1974). Generalmente, la aplicación poscosecha en forma de baños o ducha de DPA evita la aparición de escaldado en manzanas Granny Smith (Chapon et al., 1987; Sive y Resnizky, 1989; Dodd et al., 1993; Nardin, 1993).

Sin embargo, aunque el DPA y la etoxiquina normalmente reducen la incidencia de escaldado, no siempre proporcionan un completo control (Lau, 1990). Además, la preocupación por el efecto de estos compuestos químicos sobre la salud humana pone en duda su utilización a largo término. La limitación y seguramente la futura prohibición de estos antioxidantes ha obligado a buscar nuevos métodos para el control del escaldado. Una posible alternativa podría ser la aplicación de antioxidantes autorizados para el uso alimentario, ya sean sintéticos (como el butilhidroxitolueno (BHT) y el galato de propilo) o naturales (como las vitaminas C y E).

La aplicación de aditivos antioxidantes para el control del escaldado superficial ha sido poco estudiada. El antioxidante BHT presenta una cierta actividad antiescaldante (Gough et al., 1973; Wills y Scott, 1977; Wills y Scott, 1982), aunque la eficacia del tratamiento depende de diversos factores como el tipo de disolución, la dosis y el número de aplicaciones. En manzanas Granny Smith se ha comprobado que puede reducir la incidencia de escaldado (Little et al., 1980). El palmitato de ascorbilo, un derivado liposoluble del ácido ascórbico, también puede reducir el escaldado en esta variedad (Dodd et al., 1993). En consecuencia, es posible que otros aditivos antioxidantes, como el galato de propilo o el α -tocoferol, controlen el desarrollo de esta alteración y su estudio puede ser interesante.

Según Little y Barrand (1989), los compuestos naturales como el palmitato de ascorbilo y el α -tocoferol proporcionan un cierto control del escaldado en almacenamientos cortos, pero la eficacia puede mejorarse aplicando estos antioxidantes junto con un film polimérico. Los recubrimientos a base de ésteres de sacarosa y ácidos grasos, como Semperfresh y Nu Coat Flo, utilizados para prevenir o retrasar la maduración en diversos frutos (Banks, 1984; Smith y Stow, 1984; Chu, 1986; Drake et al., 1987; Meheriuk, 1990), constituyen un medio adecuado para la aplicación de los aditivos antioxidantes antes mencionados. Este tipo de recubrimientos modifican la permeabilidad de la piel del fruto, limitando la entrada del O_2 y la salida del CO_2 . Este efecto antioxidante permite reducir la concentración de los compuestos antioxidantes cuando se aplican juntamente con el recubrimiento (Kallay, 1994). Además, los films sucroésteres ayudan a mantener la calidad después de la recolección en distintas variedades de manzana (Smith y Stow, 1984; Drake et al., 1987; Santerre et al., 1989; Chai et al., 1991; Miszczak, 1994) y concretamente en Granny Smith (Kerbel et al., 1989).

Otras medidas alternativas para el control del escaldado pueden ser la conservación en atmósfera controlada y los tratamientos poscosecha con calcio. La atmósfera controlada se considera como un tratamiento muy prometedor para el control del escaldado (Ingle y D'Souza, 1989; Soria y Recasens, 1997), aunque requiere equipamientos e instalaciones adecuados para poder realizarlo, además de un coste importante (Little y Barrand, 1989). La aplicación de calcio es uno de los tratamientos poscosecha más utilizados para prevenir diversos desórdenes fisiológicos relacionados con desequilibrios nutricionales que afectan a las manzanas (Bangerth et al., 1972; Scott, 1977; Hopfinger, 1984). El contenido celular de calcio está asociado con el proceso de maduración del fruto. Concretamente, una concentración suficientemente elevada de calcio reduce la actividad metabólica del fruto, ya que disminuye la tasa de respiración (Bangerth et al., 1972; Faust, 1972; Eaks, 1985), la producción de etileno (Poovaiah, 1986; Conway y Sams, 1987) y retrasa diversos procesos relacionados con la senescencia como el ablandamiento y la pérdida de color y de acidez (Ferguson, 1984; Glenn et al., 1988). Por tanto, los tratamientos con calcio antes de la frigoconservación ayudan a preservar la calidad durante el periodo de almacenamiento del fruto.

Aparte de su acción sobre el escaldado, según Lurie et al. (1989) se ha mostrado poco interés acerca del efecto del DPA sobre el fruto. El conocimiento del efecto de los antioxidantes de uso alimentario en los procesos metabólicos del fruto durante su frigoconservación resulta todavía más limitado. Por ello se ha considerado de interés no solamente estudiar la eficacia de diversos tratamientos alternativos al DPA para el control del escaldado, sino además el efecto de estos métodos a nivel fisiológico y/o cualitativo en el fruto, después de varios meses de conservación frigorífica.

MATERIAL Y METODOS

Material y Tratamientos. *Ensayo de la campaña 91-92.* Manzanas Granny Smith fueron cosechadas en Lleida, el 17 de octubre de 1991. La mitad de los frutos se trataron inmediatamente después de la cosecha y el resto tras permanecer 6 semanas a $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 95% de HR en una cámara frigorífica de atmósfera normal. Los tratamientos aplicados fueron: difenilamina (2500 ppm); Semperfresh (1%); Semperfresh + palmitato de ascorbilo, butilhidroxitolueno, galato de propilo o α -tocoferol (1% + 1875 ppm); Semperfresh + $CaCl_2$

(1% + 1%) y CaCl_2 (1%). Los antioxidantes de uso alimentario, junto con Semperfresh al 1%, también se aplicaron a 750 ppm y 4687 ppm, para comprobar el efecto de la dosis sobre el desarrollo de escaldado. Los productos se aplicaron en forma de baños de disoluciones acuosas, a temperatura ambiente, durante 20 segundos. Los frutos control no se trataron. Después de los tratamientos los frutos se conservaron en frío, en las condiciones mencionadas. *Ensayo de la campaña 92-93.* Manzanas Granny Smith fueron cosechadas en Lleida, el 13 de octubre de 1992. Los frutos se trataron inmediatamente después de la cosecha. Los tratamientos aplicados fueron: difenilamina (2500 ppm); Semperfresh (1%); Nu Coat Flo (1,5%); Semperfresh + palmitato de ascorbilo (1% + 1875 ppm); Semperfresh + galato de propilo (1% + 4687 ppm); Semperfresh + palmitato de ascorbilo + galato de propilo (1% + 1875 ppm + 1875 ppm) y CaCl_2 (1%). Los productos se aplicaron en forma de baños de disoluciones acuosas, a temperatura ambiente, durante 20 segundos. Los frutos control no se trataron. Después de los tratamientos los frutos se conservaron a 0,5 °C y 95% de HR en una cámara frigorífica de atmósfera normal. Adicionalmente, un lote de frutos sin baño poscosecha se conservó en atmósfera controlada (3% O_2 / 3% CO_2). Los tratamientos con Semperfresh y Nu Coat Flo se repitieron a las 6 semanas de la cosecha en frutos que habían sido conservados sin tratar, en la cámara frigorífica. Los productos Semperfresh y Nu Coat Flo, así como los antioxidantes de uso alimentario, fueron suministrados por la empresa "Surface Systems International Ltd", de East Challow (Reino Unido).

Determinaciones analíticas. Los análisis se realizaron después de la cosecha y después de 4 y 6 meses de frigoconservación. Para seguir la evolución del desarrollo de escaldado superficial y de los parámetros fisiológicos y cualitativos después de la frigoconservación, frutos correspondientes a cada tratamiento se mantenían a temperatura ambiente (20 °C) durante 10 días para simular la maduración del fruto durante el periodo de vida útil.

Medida de la producción de etileno y de la respiración. Se estimaron por la concentración gaseosa del espacio de cabeza de frascos ventilados que contenían los frutos. Para ello, se colocaban 5 manzanas en frascos de 10 l de capacidad, ventilados de forma continua por un flujo constante de aire húmedo. La concentración de etileno se determinó tomando de cada frasco muestras de 1 ml de gas e inyectándolas en un cromatógrafo de gases equipado con una columna de relleno con fase estacionaria de alúmina activada y un detector de ionización de llama. Los resultados se expresaron en microlitros de C_2H_4 por kilogramo de fruta y hora. La respiración de las muestras fue medida en función de la producción de CO_2 (Kidd y West, 1930). El CO_2 se analizó conectando la salida de aire de los frascos a un analizador de gases por infrarrojos. Los resultados se expresaron en miligramos de CO_2 por kilogramo de fruta y hora. Las determinaciones de C_2H_4 y CO_2 se realizaron diariamente durante los 10 días siguientes a la cosecha o a cada salida de cámara. Se realizaron 2 repeticiones por tratamiento.

Análisis del contenido de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC). La extracción del ACC se llevó a cabo a partir de pulpa liofilizada y congelada, siguiendo la técnica descrita por Apelbaum y Yang (1981). Para la cuantificación del ACC y su posterior valoración por cromatografía de gases, se siguió una adaptación del método de Lizada y Yang (1979), que se basa en la conversión del ACC en etileno con NaOCl en presencia de Hg^{2+} . El análisis del contenido de ACC se realizó los días 1, 4 y 10 posteriores a la salida de cámara. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento. Los resultados se expresaron en nmol de ACC por gramo de peso seco de pulpa.

Determinación de la actividad de la enzima ACC oxidasa. Se determinó la actividad de la ACC oxidasa en la pulpa de los frutos, midiendo la conversión de ACC exógeno a etileno, según el método utilizado por Mansour et al. (1986). Para evitar la síntesis *de novo* de enzimas implicadas, debido al efecto de la herida en la pulpa o a la presencia de ACC exógeno (Yu y Yang, 1980), se esperaba 15 minutos antes de la incubación para permitir la salida del etileno interno. Las mediciones se realizaron en los días 1, 4 y 10 después de la cosecha o de la frigoconservación. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento. Los resultados se expresaron en nmol de etileno por gramo de peso fresco de pulpa y hora.

Determinación del escaldado superficial. Cada fruto era examinado visualmente para evaluar el porcentaje de superficie afectada. La severidad del escaldado se expresó mediante un índice calculado según la expresión: $[(1 \times \% \text{ frutos ligeramente afectados}) + (2 \times \% \text{ frutos medianamente afectados}) + (4 \times \% \text{ frutos severamente afectados})] / 4$ (Lurie et al., 1991) considerando que los frutos ligeramente afectados presentaban menos del 25% de la superficie afectada, los frutos medianamente afectados entre el 25% y el 50%, y los frutos severamente afectados más del 50% (Bauchot et al., 1995a). El desarrollo de escaldado se determinó en 3 repeticiones de 10 frutos por tratamiento.

Parámetros cualitativos. En cada fruto se determinó el peso, la firmeza, la acidez y el contenido en sólidos solubles. El peso se analizó con una balanza de 0,1 g de precisión y el resultado se expresó en gramos. La firmeza de la pulpa se midió mediante un penetrómetro, con pistón de 11 mm, en dos caras opuestas de la zona ecuatorial del fruto, una vez eliminada la piel. Los resultados se expresaron en libras. La acidez se determinó mediante la valoración de 10 ml de zumo del fruto con NaOH 0,1N hasta el viraje de la fenoftaleína. El resultado se expresó en gramos de ácido málico por litro de zumo. El contenido de sólidos solubles en el zumo se midió con un refractómetro digital y se expresó en porcentaje (%). Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de la varianza para estudiar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos. Los datos corresponden a la media de 30 frutos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Estado de madurez. En el momento de la recolección, tanto en los frutos de la primera campaña frutícola como en los de la segunda, la producción de etileno y la actividad de la enzima ACC oxidasa eran nulas y la tasa de respiración muy baja (Tabla 1). Sin embargo, a juzgar por los parámetros cualitativos, los frutos correspondientes a la primera campaña presentaban un estado de madurez más avanzado, ya que la acidez era más baja y el contenido de sólidos solubles más elevado. Los análisis realizados después de 6 semanas de la cosecha muestran que durante esta estancia en la cámara frigorífica se inició la producción de etileno, paralelamente con un incremento del contenido de ACC y de la actividad de la ACC oxidasa y que también aumentó la intensidad respiratoria. Los parámetros cualitativos apenas se vieron afectados, excepto el contenido de sólidos solubles, que aumentó sensiblemente.

Producción de etileno, contenido de ACC y actividad de la ACC oxidasa. En la campaña 91-92, todos los productos poscosecha aplicados a las manzanas Granny Smith para el control del escaldado provocaron una disminución de la producción de etileno, aunque la evolución de la curva fue semejante entre el control y los tratamientos, presentando un pico climatérico aproximadamente a los 2 días de permanecer los frutos a temperatura ambiente después de 4

meses de frigoconservación (Figura 1). En la campaña 92-93, la curva de etileno presentó una evolución paralela en los frutos control y en los tratados con difenilamina (DPA). Al igual que en la campaña anterior, en ambos casos se alcanzó un pico climatérico a los pocos días de la salida de la cámara frigorífica (Figura 2). Sin embargo, la producción de etileno en los frutos tratados con DPA fue semejante o incluso mayor que en los no tratados. En algunos trabajos se ha visto que el DPA puede reducir la síntesis de etileno durante los primeros meses de almacenamiento (Lurie et al., 1989; Mahajan y Chopra, 1992), como ocurrió en la primera campaña, pero para conservaciones más prolongadas este efecto parece perderse. La acción del recubrimiento con films a base de ésteres de sacarosa, concretamente Semperfresh (SF) y Nu Coat Flo (NCF), sobre la evolución de etileno después de la frigoconservación fue muy notorio en el segundo año del estudio. Aparte de que la producción de etileno en los frutos recubiertos con NCF o con SF, solo o junto con un antioxidante, fue notablemente menor que en los frutos sin recubrir, se apreció un retraso en la aparición del pico climatérico, ya que la emisión de etileno aumentaba durante la estancia a 20 °C. Diversos autores también han observado que la emisión de etileno es menor en manzanas tratadas con films sucroésteres (Drake et al., 1987; Kerbel et al., 1989; Lee y Kwon, 1990; Miszczak, 1994). La aplicación de calcio redujo la producción de etileno, especialmente en los frutos de la segunda campaña. Este efecto se ha observado en distintas variedades de manzana como Golden Delicious (Sams y Conway, 1984; Song y Bangerth, 1993); Delicious (Conway y Sams, 1987); Anna (El-Hammady et al., 1987) y Fuji (Choi y Lee, 1993).

Después de 6 meses de frigoconservación, la detección del pico climatérico se retrasó respecto a los 4 meses, o bien disminuyó la producción, excepto en los frutos conservados en atmósfera controlada (AC) (Figura 2). La aplicación de los tratamientos a las 6 semanas de la cosecha retrasó la aparición del pico climatérico en los frutos conservados durante 4 meses y en una conservación más prolongada (6 meses) redujo la producción de etileno (Figura 1).

Los tratamientos aplicados provocaron un descenso en la producción de etileno, pero no todos influyeron de la misma forma en el contenido de ACC. En la primera campaña, los frutos tratados con un antioxidante (DPA), con un recubrimiento semipermeable (SF) o con una sal cálcica (CaCl_2) presentaron un contenido de ACC semejante al de los frutos control, a la salida de la cámara frigorífica (Tabla 2). En la segunda campaña (Tabla 3), se detectaron valores de ACC más elevados en los tratamientos con DPA y con CaCl_2 y más bajos con la aplicación de SF y en la conservación en AC. Respecto a la evolución del contenido de ACC durante la estancia a temperatura ambiente después de la frigoconservación, estos dos tratamientos (SF y conservación en AC) también se diferenciaron del resto donde la síntesis de ACC aumentaba después de la salida de la cámara. Según Lee y Know (1990), el recubrimiento con un film sucroéster también provoca un descenso del contenido de ACC en la variedad Jonathan. Los recubrimientos de sucroésteres forman una película alrededor del fruto que limita la entrada del oxígeno y la salida del dióxido de carbono, creando un balance gaseoso en el interior del fruto semejante al que se alcanza en el almacenamiento en AC. El incremento de CO_2 en los frutos recubiertos con Semperfresh se manifiesta especialmente después de la salida de la cámara frigorífica, durante el periodo de vida útil (Bauchot et al., 1995b). Este contenido de CO_2 relativamente elevado en el fruto pudo frenar la síntesis de ACC, al inhibir la actividad de la ACC sintetasa (Bufler, 1984; Chavez-Franco y Kader, 1993; Mathooko et al., 1995), análogamente al efecto de la concentración alta de CO_2 que se mantiene en la cámara de AC.

La actividad de la enzima ACC oxidasa a la salida de la cámara frigorífica fue semejante en los

frutos control y en los tratados con DPA, (Tablas 4 y 5) mientras que la aplicación del recubrimiento sucroéster junto con un antioxidante, en general redujo la actividad enzimática, después de 4 meses de frigoconservación. Sin embargo, la capacidad de inhibir la actividad de la enzima varió en función del antioxidante aplicado, coincidiendo con resultados obtenidos por Ko y Song (1994). Según estos autores, los antioxidantes BHT y galato de propilo tienen un buen efecto antioxidante y además el segundo es capaz de inhibir la actividad de la ACC oxidasa cuando se aplica sobre pulpa de manzana en estado preclimático. En el presente trabajo los frutos tratados con galato de propilo presentaron igualmente bajos niveles de ACC oxidasa. En los frutos tratados con CaCl_2 , el contenido de ACC fue similar al del control y la actividad de la ACC oxidasa tampoco se vió muy influida por este tratamiento, que sin embargo provocó un descenso en la producción de etileno. Es probable que la reducción de la síntesis de etileno esté relacionada con la estabilidad de las membranas que se obtiene gracias a este tratamiento. Según Poovaiah (1986) el calcio retrasa la senescencia al reducir la microviscosidad de las membranas. Ben-Arie et al. (1982) observaron en discos de manzana que el descenso de la microviscosidad provocado por la aplicación de calcio estaba correlacionado con un descenso en la producción de etileno.

Respecto a la evolución de la ACC oxidasa a la salida de la cámara, en general aumentaba durante la estancia a 20 °C después de 4 meses de conservación. En cambio, después de 6 meses, la mayor actividad se daba a los 4 días a temperatura ambiente, correspondiéndose también con la máxima producción de etileno. La diferencia entre el control y los tratamientos sobre la actividad de la ACC oxidasa descendió a lo largo de la conservación frigorífica. Algunos tratamientos que inhibían la actividad a los 4 meses de conservación perdieron este efecto después de 6 meses, lo que parece indicar que independientemente del tratamiento aplicado, el tiempo de estancia en frío influye en la actividad fisiológica del fruto y en concreto en el metabolismo del etileno.

Tasa de respiración. Los tratamientos ensayados no influyeron notablemente sobre la tasa de respiración de los frutos (Figuras 3 y 4), a diferencia de lo que ocurría con la producción de etileno. Aunque en algunos casos la producción de CO_2 fue mayor que en el control, en general los tratamientos no afectaron o provocaron un ligero descenso. La producción de CO_2 se mantuvo en torno de 30 ml / kg h en la primera campaña, donde los valores más bajos se detectaron en los frutos recubiertos con SF más α -tocoferol (Figura 3) y alrededor de 20 ml / kg h en la segunda, con producciones más bajas en los frutos recubiertos con SF más palmitato de ascorbilo y galato de propilo y en los frutos conservados en AC (Figura 4). Otros autores también han observado que el recubrimiento con SF reduce la producción de etileno, pero no afecta a la producción de CO_2 (Drake et al., 1987). También se observó que la producción de CO_2 apenas varió durante la estancia a temperatura ambiente después de la salida de la cámara, sin ponerse de manifiesto un claro pico climático.

La aplicación de los productos a las 6 semanas de la cosecha tampoco afectó a la tasa de respiración. Únicamente los tratamientos con DPA, SF y NCF aumentaron la producción de CO_2 respecto a la obtenida con la aplicación después de la cosecha. Generalmente la respiración a los 6 meses de conservación fue superior que a los 4 meses, aunque en los frutos tratados a las 6 semanas, en algunos casos ocurrió lo contrario (Figuras 3 y 4).

Desarrollo del escaldado superficial. El escaldado superficial no se manifestó después de 2

meses de frigoconservación (datos no presentados), apareciendo los primeros síntomas al cabo de 4 meses (Tablas 6 y 7). Comparando el desarrollo del escaldado en los frutos control de ambas campañas, se observa que fue más elevado en la campaña 92-93. Este resultado es lógico considerando que el potencial de escaldado crece cuando los frutos se recolectan en un estado más inmaduro (Soria y Recasens, 1997).

El tratamiento poscosecha con DPA redujo considerablemente la incidencia de escaldado en los frutos, coincidiendo con otros autores en que este antioxidante es muy eficaz para el control de la alteración (Smock, 1956; Johnson et al., 1980; Chapon et al., 1987; Nardin, 1993). Después de 6 meses de frigoconservación más una maduración complementaria de 10 días a 20 °C, el índice de escaldado en la primera campaña tuvo un valor de 2,8 para el DPA frente al 33,3 obtenido en el control (Tabla 6) y en la segunda campaña los índices fueron igual a 20 y 55, respectivamente (Tabla 7). Sin embargo, la eficacia del tratamiento con DPA depende de diversos factores que influyen en el desarrollo del escaldado, entre los que destaca la variedad y las condiciones y duración de la conservación frigorífica. En Granny Smith, para periodos de almacenamiento prolongados es difícil evitar los síntomas de la fisiopatía únicamente con un tratamiento con DPA (Nardin, 1993).

El recubrimiento con SF dió resultados diversos dependiendo de la campaña y del momento de aplicación. En la primera campaña, el recubrimiento aplicado inmediatamente después de la recolección no redujo el desarrollo de escaldado. En cambio, en los frutos tratados a las 6 semanas de la cosecha, se obtuvo un control total después de 4 meses de conservación (Tabla 6). En la segunda campaña, el tratamiento con SF mejoró la eficacia respecto a los tratamientos con SF más antioxidantes, pero, a diferencia de la campaña anterior, una aplicación retrasada de este compuesto no aportó ninguna ventaja (Tabla 7). El film NCF, utilizado también como recubrimiento para el control del escaldado superficial, ejerció un efecto similar al del SF y también en este caso la alteración se desarrolló más en los frutos tratados a las 6 semanas de la cosecha. Según Kerbel et al. (1989) la aplicación de SF en manzanas Granny Smith cosechadas en estado inmaduro agrava la incidencia de la alteración, indicando este autor que la aplicación de DPA es necesaria para conseguir un control adecuado. No obstante, se ha comprobado que este recubrimiento sí reduce la incidencia y la severidad del escaldado cuando las manzanas tratadas con SF se conservan en AC (Chellew y Little, 1995).

Los frutos bañados con SF más antioxidantes de uso alimentario presentaron un grado de afección elevado (Tablas 6 y 7). La incidencia de escaldado era nula o muy baja después de 4 meses de frigoconservación más 1 día a 20 °C, pero tras permanecer 10 días a 20 °C todos los frutos se escaldaron. En la primera campaña el índice alcanzó un valor máximo de 30,6 para los frutos bañados con SF más α -tocoferol, siendo éstos los más severamente afectados por la alteración. Valores más bajos se obtuvieron con el resto de los tratamientos, aunque siempre por encima del 5,6 obtenido en el control (Tabla 6). El efecto de la dosis varió en función del antioxidante. Con α -tocoferol la mayor eficacia se obtuvo con la dosis más baja (750 ppm), mientras que con palmitato de ascorbilo y BHT se obtuvo aplicando la dosis más elevada (4687 ppm). En otros trabajos se ha visto que incrementando la concentración de BHT disminuye progresivamente la incidencia de la alteración, siendo 5000 ppm la dosis más efectiva de las ensayadas por Blanpied (1993). En cambio, el α -tocoferol aplicado a concentraciones elevadas puede comportarse como prooxidante (Loury et al., 1966), lo cual pudo agravar la incidencia del escaldado. El efecto beneficioso de la aplicación de SF a las 6 semanas de la cosecha se perdió cuando el film se aplicaba junto con un antioxidante. Los tratamientos antioxidantes son

efectivos cuando la temperatura de la pulpa del fruto se encuentra entre 20 y 28 °C (Sive y Resnizky, 1989) de manera que el tratamiento realizado inmediatamente después de la cosecha resultó ser más efectivo probablemente porque la temperatura de los frutos era más elevada al estar recién cosechados y ser la temperatura ambiente más alta que a las 6 semanas de la cosecha.

En la segunda campaña, el índice de escaldado de las manzanas tratadas con galato de propilo fue más elevado que el de las manzanas tratadas con palmitato de ascorbilo o con ambos antioxidantes conjuntamente (índices igual a 52,5; 37,5 y 35, respectivamente) (Tabla 7). El tratamiento con SF más los dos antioxidantes disminuyó la severidad respecto al control, aunque fue mucho menos efectivo que el DPA. Según estos resultados, la combinación de estos antioxidantes junto con SF no constituye una alternativa efectiva para el control del escaldado superficial frente al tratamiento con DPA. Sin embargo, cuando diversos factores que influyen en el desarrollo de la fisiopatía, como la variedad, la fecha de recolección o la duración del almacenamiento, están en condiciones favorables para frenar dicho desarrollo, los tratamientos con antioxidantes de uso alimentario pueden tener una cierta eficacia. Según Little y Barrand (1989), tratamientos con las vitaminas C y E ejercen un cierto control del escaldado en almacenamientos cortos. El palmitato de ascorbilo, derivado de la vitamina C, ha dado resultados contradictorios, siendo en algunos casos efectivo (Dodd et al., 1993) y en otros no (Watkins et al., 1988). En ensayos realizados paralelamente a los del presente estudio en el Reino Unido (Bauchot et al., 1995a) y en Hungría (Kallay, 1994), se obtuvo una eficacia semejante, pero en Italia los antioxidantes palmitato de ascorbilo y galato de propilo, aplicados junto con SF, sí fueron efectivos en la reducción de la alteración en manzanas Red Chief y Golden Delicious cosechadas en la fecha comercial (Bauchot et al., 1995a).

En la primera campaña, el desarrollo de escaldado en los frutos bañados con CaCl_2 fue notablemente menor que en el resto de los tratamientos alternativos al DPA, pero la aplicación de SF junto con el calcio redujo la eficacia del tratamiento (Tabla 6). También en la segunda campaña, el tratamiento con CaCl_2 mejoró los resultados respecto a los obtenidos con los antioxidantes de uso alimentario, especialmente después de 4 meses de conservación. Sin embargo no puede considerarse que este tratamiento por sí solo sea eficaz para combatir el desarrollo del escaldado. El calcio puede ayudar a reducir la alteración, combinándose con tratamientos físicos (Klein y Lurie, 1994) o con otros compuestos (Watkins et al., 1988) aunque según Johnson et al. (1980), el calcio aplicado junto con DPA y un fungicida puede reducir la eficacia de este antioxidante.

La conservación en atmósfera controlada (AC), en frutos sin tratamiento químico previo a la entrada en la cámara, frenó considerablemente el desarrollo del escaldado (Tabla 7). Después de 4 meses, el almacenamiento en AC eliminó por completo la alteración durante 10 días a 20 °C y después de 6 meses disminuyó notablemente la severidad, alcanzando el índice de escaldado un valor igual a 27,5, frente al valor 55 obtenido en los frutos control (Tabla 7). Así, según el presente trabajo, los resultados más satisfactorios para el control del escaldado se obtuvieron con DPA y la conservación en AC.

Parámetros cualitativos. Se evaluó la eficacia de los tratamientos sobre la retención de los parámetros de calidad. En general, el efecto de los tratamientos sobre la firmeza y la acidez fue más claro que sobre el contenido en sólidos solubles, que se mostró variable dependiendo de la campaña y el periodo de conservación.

El tratamiento con DPA, que resultó muy efectivo para evitar la aparición del escaldado en los frutos, no mejoró los parámetros de calidad después de 4 y 6 meses de frigoconservación (Tablas 8, 9 10 y 11), como tampoco afectó a la producción de etileno, contenido de ACC y actividad de la enzima ACC oxidasa. Según Mahajan y Chopra (1992) este antioxidante reduce la producción de etileno y la tasa de respiración durante los primeros 30 días de almacenamiento. En cambio, no reduce el contenido de O₂ interno después de 4 y 6 meses de frigoconservación (Bauchot et al., 1995b). Por otro lado, este tratamiento es capaz de inhibir procesos oxidativos implicados en el desarrollo del escaldado, principalmente la oxidación del α -farneseno a compuestos trieno conjugados (Lurie et al., 1989). Para que un tratamiento antiescaldante sea efectivo, como es el caso del DPA, es necesario evitar la formación de estos compuestos al principio de la conservación, ya que una vez formados el desarrollo de los síntomas típicos del escaldado no se puede frenar (Soria y Recasens, en prensa). Estos resultados parecen indicar que la actividad antioxidante de este producto se da básicamente al principio del periodo de conservación.

A diferencia del tratamiento con DPA, el recubrimiento con SF mejoró la retención de parámetros cualitativos como el peso y la acidez en la campaña 91-92 (Tablas 8 y 9) y la firmeza en la campaña 92-93 (Tablas 10 y 11). La retención del peso puede estar relacionada con una menor pérdida de agua por parte del fruto durante la frigoconservación. El efecto del recubrimiento NCF fue semejante al obtenido con SF, aunque aumentó sensiblemente el contenido de sólidos solubles respecto a este último (Tablas 8 y 9). En otros estudios se ha comprobado que el efecto del SF depende del estado de madurez de las manzanas en el momento del tratamiento, aunque en general incrementa la firmeza y/o la acidez (Drake et al., 1987; Kerbel et al., 1989; Chai et al., 1991) y no influye en el contenido de sólidos solubles (Santerre et al., 1989; Chai et al., 1991). Respecto al efecto del momento de aplicación, en la primera campaña se observó que la aplicación de Semperfresh a las 6 semanas de la cosecha fue muy favorable, ya que además de evitar la aparición del escaldado después de 4 meses de conservación, los frutos presentaban unos valores de firmeza y acidez elevados comparados con el resto de los tratamientos y este resultado se repitió a los 6 meses (Tabla 9). Estos resultados se corresponden con un posible retraso en el proceso de maduración provocado por la reducción de la producción de etileno manifestada en el tratamiento.

En general, la aplicación de SF junto con antioxidantes de uso alimentario redujo la calidad en los frutos, frente al tratamiento con el recubrimiento solo, aunque no frente al tratamiento con DPA. Las manzanas tratadas con palmitato de ascorbilo perdieron peso y acidez, aunque este tratamiento retuvo la firmeza a los 6 meses de conservación. El antioxidante BHT, que no resultó adecuado para el control del escaldado, tampoco mantuvo la calidad, observándose valores bajos en el peso, firmeza, acidez y sólidos solubles después de la frigoconservación. Además, la utilización de este producto presenta controversia dado su posible carácter cancerígeno (Pascal, 1986). El galato de propilo resultó favorable para mantener la firmeza, al igual que el palmitato de ascorbilo, observándose además una acción sinérgica de ambos compuestos sobre la retención de este parámetro. Así, la aplicación de los dos antioxidantes juntos, ensayada en la segunda campaña, superó los valores de firmeza obtenidos con los antioxidantes por separado (Tabla 7). A diferencia de los antioxidantes anteriores, la aplicación de α -tocoferol permitió obtener valores elevados de firmeza, acidez y sólidos solubles, con lo que la calidad de los frutos desde el punto de vista de estos parámetros resultó ser muy adecuada; en cambio, este tratamiento no pudo controlar el desarrollo del escaldado. No obstante, en variedades no sensibles al escaldado, cabe considerar la aplicación de este

tratamiento para mantener la calidad de los frutos después del periodo de frigoconservación.

El tratamiento con CaCl_2 después de la cosecha no produjo los efectos esperados ya que no se retuvo la firmeza, alcanzándose niveles de firmeza del orden o incluso más bajos que los del control. Cuando el calcio se aplicó de forma retrasada (a las 6 semanas de la cosecha) el tratamiento fue mucho más efectivo, tanto para retener la firmeza como para la acidez (Tabla 9). La penetración del calcio en el tejido depende de varios factores como la temperatura del fruto y de la solución, la dosis y el método de aplicación. Generalmente los baños son menos efectivos que la infiltración por presión o al vacío (Byun y Chang, 1991). Si la aplicación se realiza mediante baños, resulta más eficaz un 4% de CaCl_2 que un 2% (Mir et al., 1993) aunque se ha comprobado que incluso un baño con una solución al 6% no aumenta significativamente el contenido de calcio en el fruto (Chang y Byun, 1991), mientras que la firmeza del fruto está positivamente correlacionada con la concentración de calcio en el mismo (Beavers et al., 1994). Sin embargo los tratamientos con dosis elevadas y/o mediante infiltración pueden provocar daños en los frutos. Chang y Byun (1991) compararon diversas dosis y formas de aplicación y comprobaron que aunque los baños con un 2% de CaCl_2 no era tan efectivo, era el único tratamiento que no producía nunca daños. En el presente trabajo no se evaluaron los daños debidos al baño con un 2% de CaCl_2 pero según la bibliografía es un tratamiento seguro (Stow et al., 1985; Chang y Byun, 1991), aunque no siempre efectivo (Betts y Bramlage, 1977; Klein et al., 1990). Cuando los frutos se tratan después de 6 semanas de permanecer en la cámara, es posible que capacidad de absorción del calcio disminuya por la temperatura fría del fruto (Mika et al., 1983); sin embargo también se retrasa y alarga la penetración de este ión en el tejido, que se prolonga durante 4 semanas después del baño (Mika et al., 1983) provocando que el efecto del tratamiento se mantenga durante más tiempo. La aplicación de CaCl_2 más SF a las 6 semanas disminuyó el efecto de los tratamientos por separado, puesto que la firmeza y la acidez fueron más bajas (Tabla 9). Este tratamiento fue más beneficioso aplicado inmediatamente después de la cosecha, aunque sólo fue capaz de retener la firmeza y la acidez durante 4 meses, ya que a los 6 meses presentó valores semejantes al control (Tabla 8). La conservación en AC supuso no sólo un adecuado control del escaldado sino también la consecución de unos parámetros cualitativos muy satisfactorios. El efecto de la AC en la retención de la firmeza y de la acidez fue especialmente notorio después de 6 meses de conservación (Tabla 11).

Independientemente de los tratamientos aplicados, se observó una pérdida de firmeza, acidez y contenido de sólidos solubles a lo largo del almacenamiento en frío. Las diferencias entre tratamientos fueron más acusadas en la salida a los 4 meses que a los 6 meses. Analizando los resultados por fechas de tratamiento, se observó que el tratamiento a las 6 semanas de la cosecha descendió los valores de firmeza y acidez respecto al tratamiento inmediatamente después de la cosecha. El hecho de sacar los frutos de la cámara para someterlos a un tratamiento redujo especialmente la firmeza después de 4 meses de frigoconservación (Tablas 9 y 11), presentando valores entre 1 y 2 libras por debajo de los obtenidos en los frutos tratados después de la cosecha (Tablas 8 y 10).

Comparando la actividad antioxidante del DPA con la de los antioxidantes de uso alimentario ensayados, parece ser que el primero actúa mucho más rápidamente, lo cual favorece un efectivo control del escaldado superficial, pero no mejora otros parámetros cualitativos como la firmeza, acidez y sólidos solubles después de un periodo largo de conservación, ya que la actividad fisiológica del fruto, en concreto la producción de etileno y la respiración, no se ven

afectadas por la acción del DPA. En cambio, los antioxidantes alimentarios parecen tener una acción más duradera, que mejora los parámetros cualitativos al retardar el proceso de maduración, pero no consigue evitar el desarrollo del escaldado superficial.

BIBLIOGRAFIA

ANET E.F.L.J., COGGIOLA, I.M. 1974. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. X. Control of α -farnesene autoxidation. *J. Sci. Food Agric.*, 25: 293-298.

APELBAUM, A., YANG, S.F. 1981. Biosynthesis of stress ethylene induced by water deficit. *Plant Physiol.*, 68:74-79.

BANGERTH, F., DILLEY, D.R., DEWEY, D.H. 1972. Effect of postharvest calcium treatments on internal breakdown and respiration of apple fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 97:679-682.

BANKS, N.H. 1984. Some effects of TAL Pro-long coating on ripening bananas. *J. Exp. Bot.*, 35:127.

BARLOW, E. W. R. 1988. Superficial scald physiology, biology, control. An interpretive review. Agricultural and Veterinary Chemicals Section, Bureau of Rural Science, Department of Primary Industry and Energy, Australia.

BAUCHOT, A.D., JOHN, P., SORIA, Y., RECASENS, I. 1995a. Sucrose ester-based coatings formulated with food-compatible antioxidants in the prevention of superficial scald in stored apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 120: 491-496.

BAUCHOT, A.D., JOHN, P., SORIA, Y., RECASENS, I. 1995b. Carbon dioxide, oxygen, and ethylene changes in relation to the development of scald in Granny Smith apples after cold storage. *J. Agric. Food Chem.*, 43: 3007-3011.

BEAVERS, W.B., SAMS, C.E., CONWAY, W.S., BROWN, G.A. 1994. Calcium source affects calcium content, firmness, and degree of injury of apples during storage. *HortScience*, 29:1520-1523.

BEN-ARIE, R., LURIE, S., MATOO, A.K. 1982. Temperature-dependent inhibitory effects of calcium and spermine on ethylene biosynthesis in apple discs correlate with changes in microsomal membrane microviscosity. *Plant Sci. Lett.*, 24:239-247.

BETTS, H.A., BRAMLAGE, W.J. 1977. Uptake of calcium by apples from postharvest dips in calcium chloride solutions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 102: 785-788.

BLANPIED, G.D. 1993. Effect of repeated postharvest applications of butylated hydroxytoluene (BHT) on storage scald of apples. Proceedings of the Sixth International Controlled Atmosphere Research Conference, Ithaca, New York. Vol.2. 466-469.

BUFLER, G. 1984. Ethylene-enhanced 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase activity in ripening apples. *Plant Physiol.*, 75:192-195.

BYUN, J.K., CHANG, K.H. 1991. Effect of postharvest calcium infiltration and temperature on the incidence of disorders and fruit decay of Jonathan apples. *Journal of the Korean Society for Horticultural Sciences*, 32:484-489.

CHAI, Y., OTT, D.B., CASH, J.N. 1991. Shelf-life extension of Michigan apples using sucrose polyester. *Journal of Fruit Processing and Preservation*, 15:197-214.

CHANG, K.H., BYUN, J.K. 1991. Effect of several methods of postharvest calcium infiltration on calcium content and occurrence of calcium-injured apples. *Journal of the Korean Society for Horticultural Sciences*, 32:216-222.

CHAPON, J.F., NGUYEN-THE, C., BOMPEIX, G. 1987. L'échaudure des pommes. Traitement à l'aide de diphénylamine appliquée par thermonébulisation. *Arb. fruitière*, N° 398.

- CHAVEZ-FRANCO, S.H., KADER, A.A. 1993. Effects of CO₂ on ethylene biosynthesis in "Bartlett" pears. *Postharvest Biol. Technol.*, 3:183-190.
- CHELLEW, J.P., LITTLE, C.R. 1995. Alternative methods of scald control in Granny Smith apples. *Journal of Horticultural Science*, 70:109-115.
- CHOI, J.S., LEE, J.C. 1993. Effect of postharvest dipping in CaCl₂ solution with some adjuvants on calcium content of Fuji apples. *Journal of the Korean Society for Horticultural Sciences*, 34:36-45.
- CHU, C.L. 1986. Poststorage application of TAL Pro-long on apples from controlled atmosphere storage. *HortScience*, 21:267-268.
- CONWAY, W.S., 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.
- DODD, M.C., BESTER, R., LOTZ, E., COMBRINK, J.C. 1993. Alternative antioxidants for control of superficial scald. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*, Vol.4. N° 2. 33-34.
- DRAKE, S.R., FELLMAN, J.K., NELSON, J.W. 1987. Postharvest use of sucrose polyesters for extending the shelf-life of stored "Golden Delicious" apples. *J. Food Science*, 52, 1287.
- EAKS, I.L. 1985. Effect of calcium on ripening, respiration rate, ethylene production, and quality of avocado fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 110:145-148.
- EL-HAMMADY, A.M., DESOUKI, I.M., SHALTOU, A.D., ABDEL-GHANY, N.A. 1987. Effect of post harvest treatments of calcium chloride, GA₃, and GA₄₊₇ on respiration rate, ethylene production and quality of stored "Anna" apple fruits. *Egyptian Journal of Horticulture*, 14:53-65.
- FAUST, M. 1972. The effect of calcium on respiration of apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 97: 437-439.
- FERGUSON, I.B. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. *Plant Cell Environ*, 7:484-489.
- GLENN, G.M., REDDY, A.S.N., POOVAIAH, B.W. 1988. Effect of calcium on cell wall structure, protein phosphorylation and protein profile in senescing apples. *Plant Cell Physiol.*, 29:565-572.
- GOUGH, R.E., SHUTAK, V.G., OLNEY, C.E., DAY, H. 1973. Effect of butylated hydroxytoluene (BHT) on apple scald. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 98: 14-15.
- HOPFINGER, J.A. 1984. Calcium and magnesium interaction in browning of "Golden Delicious" apples with bitter pit. *Scientia Horticulturae*, 23:345-351.
- HUELIN, F.E., COGGIOLA, I.M. 1968. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. IV. Effect of variety, maturity, oiled wraps and diphenylamine on the concentration of α -farnesene in the fruit. *J. Sci. Food Agric.*, 19: 297-301.
- HUELIN, F.E., COGGIOLA, I.M. 1970. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. V. Oxidation of α -farnesene and its inhibition by diphenylamine. *J. Sci. Food Agric.*, 21: 44-48.
- INGLE, M., D'SOUZA, M.C. 1989. 1989. Physiology and control of superficial scald of apples: a review. *HortScience*, 24:28-31.
- JOHNSON, D.S., ALLEN, J.G., WARMAN, T.M. 1980. Post-harvest application of diphenylamine and ethoxyquin for the control of superficial scald on Bramley's Seedling apples. *J. Sci. Food Agric.*, 31:1189-1194.
- KALLAY, T. 1994. New measures against superficial scald of apples. *Acta Horticulturae*, 368: 220-224.
- KERBEL, E.L., MITCHELL, F.G., KADER, A.A., MAYER, G. 1989. Effects of "Semperfresh" coating on postharvest life, internal atmosphere modification and quality maintenance of Granny Smith apples. *Proceedings*

of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington. Vol.1. 247-252.

KIDD, F., WEST, C. 1930. Physiology of fruit. I. Changes in respiratory activity of apples during their senescence at different temperatures. *Proc. R. Soc. London Ser. B.*, 106:93-109.

KLEIN, J.D., LURIE, S. 1994. Time, temperature, and calcium interact in scald reduction and firmness retention in heated apples. *HortScience*, 29: 194-195.

KLEIN, J.D., LURIE, S., BEN-ARIE, R. 1990. Quality and cell wall components of "Anna" and "Granny Smith" apples treated with heat, calcium, and ethylene. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115: 954-958.

KO, J.Y., SONG, K-C., 1994. Ethylene forming enzyme (EFE) activity and antioxidant effect of some chemicals and plant extracts. *Journal of the Korean Society for Horticultural Sciences*, 35:48-56.

LAU, O.L., 1990. Efficacy of diphenylamine, ultra-low oxygen, and ethylene scrubbing on scald control in Delicious apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115: 959-961.

LEE, J.C., KWON, O.W. 1990. Effects of Prolong on storage quality and ethylene evolution in Jonathan and Fuji apple fruits. *Journal of the Korean Society for Horticultural Sciences*, 31:247-254.

LITTLE, C.R., BARRAND, L. 1989. Seasonal orchard and storage conditions affecting storage scald in pome fruit. *Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington. Vol.1.* 177-184.

LITTLE, C.R., TAYLOR, H.J., PEGGIE, I.D. 1980. Multiformulation dips for controlling storage disorders of apples and pears. II. Assessing scald inhibitors. *Scientia Hort.*, 13:315-321.

LIZADA, M.C.C., YANG, S.F. 1979. A simple and sensitive assay for 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Anal. Biochem.*, 100:140-145.

LOURY, M., BLOCH, C., FRANÇOIS, R. 1966. Conditions d'emploi du tocophérol comme antioxygène dans les corps gras. *Revue Française des Corps Gras*, 13: 747-754.

LURIE, S., KLEIN, J., BEN ARIE, R. 1989. Physiological changes in diphenylamine-treated Granny Smith apples. *Isr. J. Bot.*, 38:199-207.

LURIE, S., KLEIN, J.D., BEN ARIE, R. 1991. Prestorage heat treatment delays development of superficial scald on Granny Smith apples. *HortScience*, 26:166-167.

MAHAJAN, B.V., CHOPRA, S.K. 1992. Effect of postharvest application of fungicides and wax coating on the quality and storage behaviour of apple. *New Agriculturist*, 3:137-146.

MANSOUR, R., LATCHE, A., VAILLANT, V., PECH, J.C., REID, M.S. 1986. Metabolism of ACC in ripening apple fruits. *Physiol. Plant.*, 66:495-502.

MATHOOKO, F.M., KUBO, Y., INABA, A., NAKAMURA, R. 1995. Characterization of the regulation of ethylene biosynthesis in tomato fruit by carbon dioxide and diazocyclopentadiene. *Postharvest Biol. Technol.*, 5:221-233.

MEHERIUK, M. 1990. Skin color in "Newton" apples treated with calcium nitrate, urea, diphenylamine, and a film coating. *HortScience*, 25:775-776.

MIKA, A., ANTOSZEWSKI, R., AHMED AMEN, K.I. 1983. Studies on calcium penetration into apple fruits after post-harvest treating with CaCl₂. *Acta Horticulturae*, 138:15-21.

MIR, N.A., BHAT, J.N., BHAT, A.R. 1993. Effect of calcium infiltration on storage behaviour of Red Delicious apples. *Indian Journal of Plant Physiology*, 36:65-66.

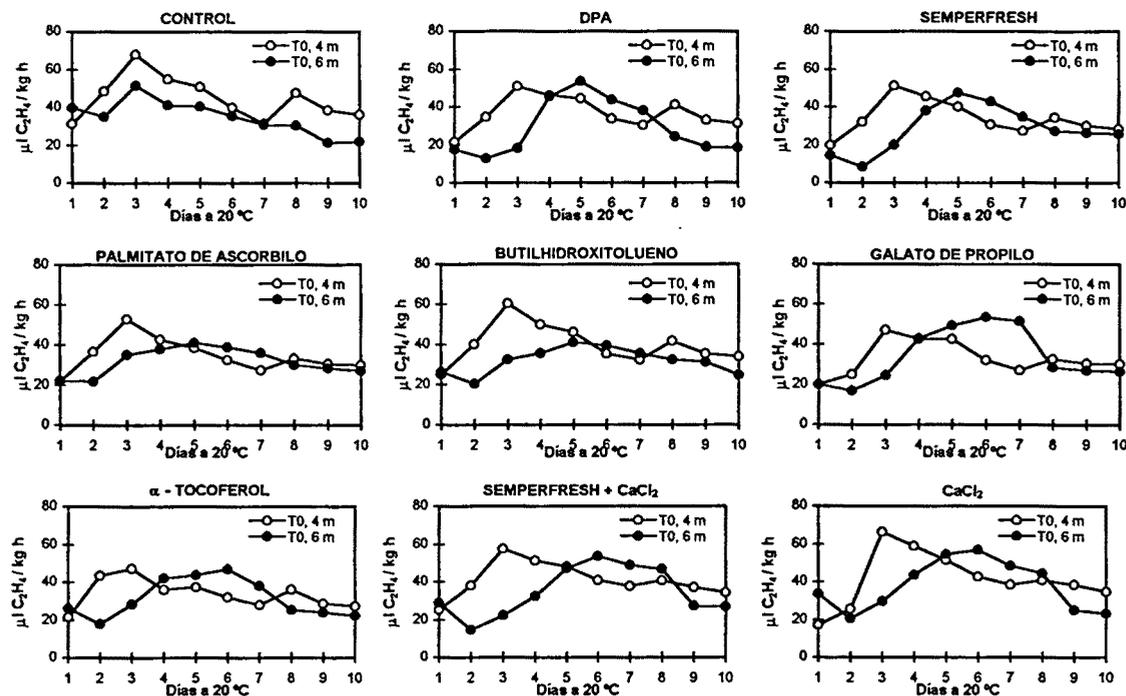
- MISZCZAK, A. 1994. Effect of Pro-long treatment on quality of stored apples. *Acta Horticulturae*, 368:552-557.
- NARDIN, C. 1993. Chemical control of scald on apples. *Washington State University Tree Fruit Postharvest Journal*, Vol.4. N° 2. 24-26.
- PASCAL, G. 1986. Antioxidantes y sinérgicos. Simposio Internacional: Los aditivos en la industria agroalimentaria. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. I.S.B.N.: 84-7479-683-0.
- POOVAIAH, B.W. 1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. *Food Technology*, 40:86-89.
- SAMS, C.E., 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.
- SANTERRE, C.R., LEACH, T.F., CASH, J.N. 1989. The influence of the sucrose polyester, Semperfresh™, on the storage of Michigan grown "McIntosh" and "Golden Delicious" apples. *Journal of Fruit Processing and Preservation*, 13:293-305.
- SCOTT, 1977. Vacuum infiltration of calcium chloride: a method for reducing bitter pit and senescences of apples during storage at ambient temperatures. *HortScience*, 12:71-72.
- SIVE, A., RESNIZKY, D. 1989. Thermal fogging with DPA and ethoxyquin. *Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington. Vol.1. 457-464.*
- SMITH, S.M., STOW, J.R. 1984. The potential of a sucrose ester coating material for improving the storage and shelf-life qualities of "Cox's Orange Pippin" apples. *Ann. Appl. Biol.*, 104:383.
- SMOCK, R.M. 1956. A promising new method of scald control. *Proc. N. Y. State Hortic. Soc.*, 101:102-104.
- SMOCK, R.M., 1957. A comparison of treatments for the control of apple scald disease. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 69:91-100.
- SONG, J., BANGERTH, F. 1993. The effect of calcium-infiltration on respiration, ethylene and aroma production of "Golden Delicious" apple fruits. *Acta Horticulturae*, 326:131-137.
- SORIA, Y., HERRERO, A., RECASENS, I. Relationship between α -farnesene, conjugated trienes and scald development on Granny Smith apples stored in air or controlled atmosphere conditions. (Publicación en prensa).
- SORIA, Y., RECASENS, I. 1997. El escaldado superficial de la manzana. *ITEA, Vol 93V, 1:49-64.*
- STOW, J., PERRING, M.A., JOHNSON, D.S. 1985. The influence of harvest maturity, calcium concentration and storage conditions on the keeping quality of Spartan apples grown in England. *Ann. appl. Biol.*, 107:535-546.
- WATKINS, C.B., HARMAN, J.E., HOPKIRK, G. 1988. Effects of lecithin, calcium, and antioxidant formulations on superficial scald and internal breakdown of Granny Smith apples. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, Vol.16. 55-61.
- WILLS, R.B.H., SCOTT, J.K. 1977. Evaluation of the use of butylated hydroxytoluene to reduce superficial scald of apples. *Scientia Hort.*, 6:125-127.
- WILLS, R.B.H., SCOTT, J.K. 1982. Use of dips containing diphenylamine and edible oils to reduce soft scald. *Hort. Sci.*, 17:964-965.
- YU, Y.B., YANG, S.F. 1980. Biosynthesis of wound ethylene. *Plant Physiol.* 66:281-285.

Tabla 1. Parámetros de madurez en manzanas Granny Smith recolectadas el 17/10/1991 (campaña 91-92) y el 13/10/1992 (campaña 92-93). Determinaciones realizadas inmediatamente después de cada cosecha y después de 6 semanas de conservación a 0,5 °C en atmósfera normal.

PARAMETROS DE MADUREZ	Campaña 91-92 Cosecha 17/10/1991		Campaña 92-93 Cosecha 13/10/1992	
	Después de la cosecha	Después de 6 semanas a 0,5 °C	Después de la cosecha	Después de 6 semanas a 0,5 °C
Producción de etileno ($\mu\text{l} / \text{kg h}$)	0	4,26	0	2,31
Actividad ACC oxidasa ($\text{nmol C}_2\text{H}_4 / \text{g h}$)	0	0,70	0	0,37
Contenido de ACC ($\text{nmol} / \text{g peso seco}$)	0,04	0,19	0	0,09
Producción de CO_2 ($\text{ml} / \text{kg h}$)	7,38	18,19	9,45	19,01
Peso (g)	191,20	187,03	212,99	226,98
Firmeza (lb)	15,95	15,93	15,48	15,23
Acidez (g ác. málico / l)	8,41	8,04	10,37	9,39
Sólidos solubles (%)	10,92	11,03	9,85	11,43

PRODUCCION DE ETILENO CAMPAÑA 91-92

(a) Tratamiento después de la cosecha



(b) Tratamiento a las 6 semanas de la cosecha

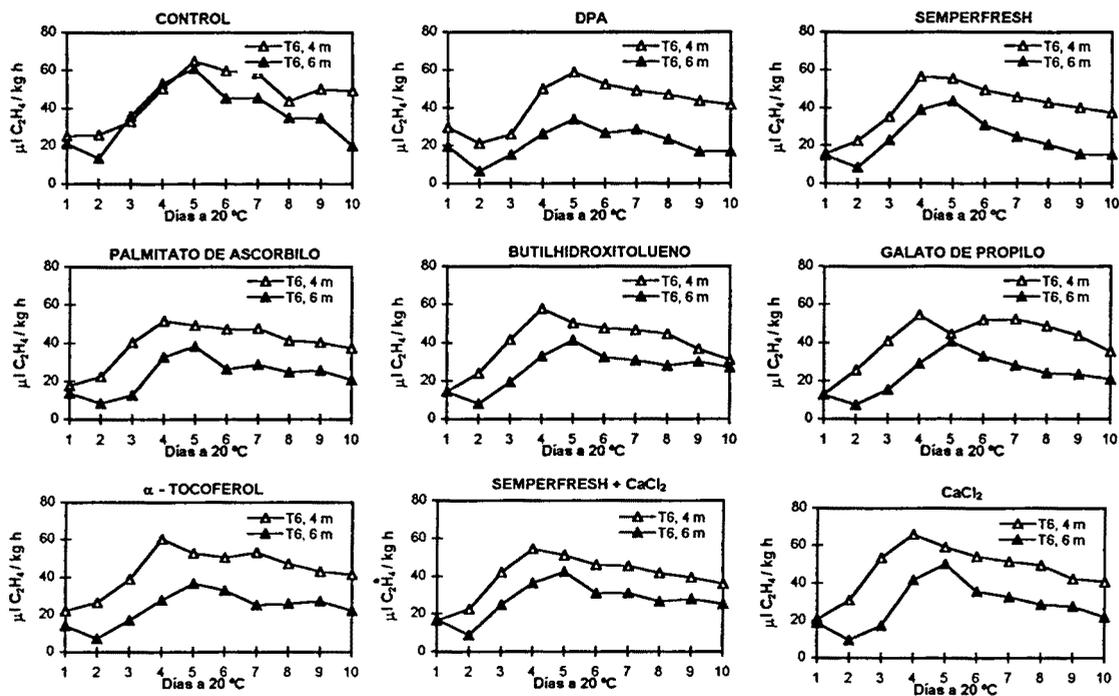
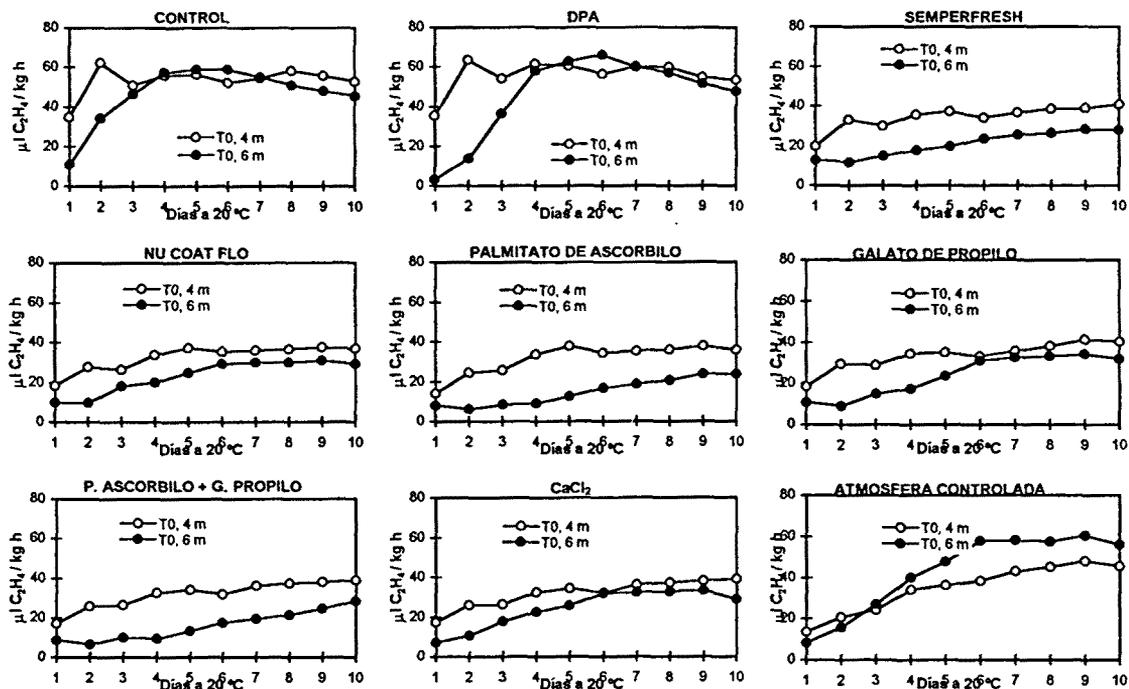


Figura 1. Producción de etileno ($\mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kg h}$) en manzanas Granny Smith cosechadas el 17-10-91 (campaña 91-92), tratadas con diversos productos inmediatamente después de la cosecha (T0, Fig. a) o a las 6 semanas de la cosecha (T6, Fig. b) y conservadas en atmósfera normal a 0,5 °C durante 4 meses (4m) o 6 meses (6m) más 10 días a 20 °C. Los antioxidantes palmitato de ascorbilo, butilhidroxitolueno, galato de propilo y α -tocoferol se aplicaron junto con el recubrimiento Semperfresh.

PRODUCCION DE ETILENO CAMPAÑA 92-93

(a) Tratamiento después de la cosecha



(b) Tratamiento a las 6 semanas de la cosecha

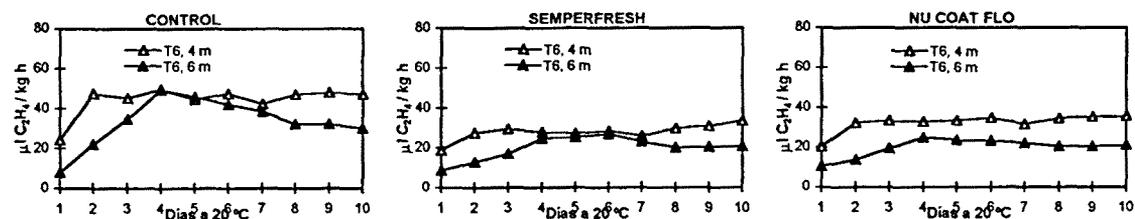
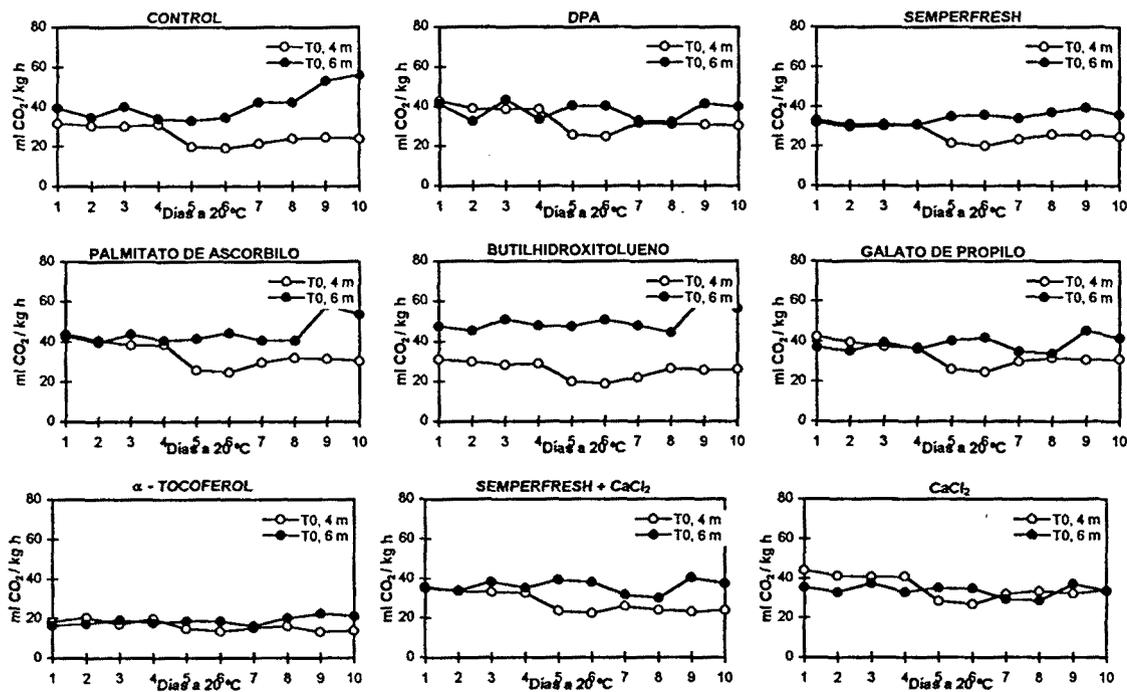


Figura 2. Producción de etileno ($\mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kg h}$) en manzanas Granny Smith cosechadas el 13/10/92 (campana 92-93), tratadas con diversos productos inmediatamente después de la cosecha (T0, Fig. a) o a las 6 semanas de la cosecha (T6, Fig. b) y conservadas en atmósfera normal a 0,5 °C durante 4 meses (4m) o 6 meses (6m) más 10 días a 20 °C. Un grupo de manzanas sin tratar se almacenó inmediatamente después de la cosecha en atmósfera controlada. Los antioxidantes palmitato de ascorbilo y galato de propilo se aplicaron junto con el recubrimiento Semperfresh.

PRODUCCION DE CO₂ CAMPAÑA 91-92

(a) Tratamiento después de la cosecha



(b) Tratamiento a las 6 semanas de la cosecha

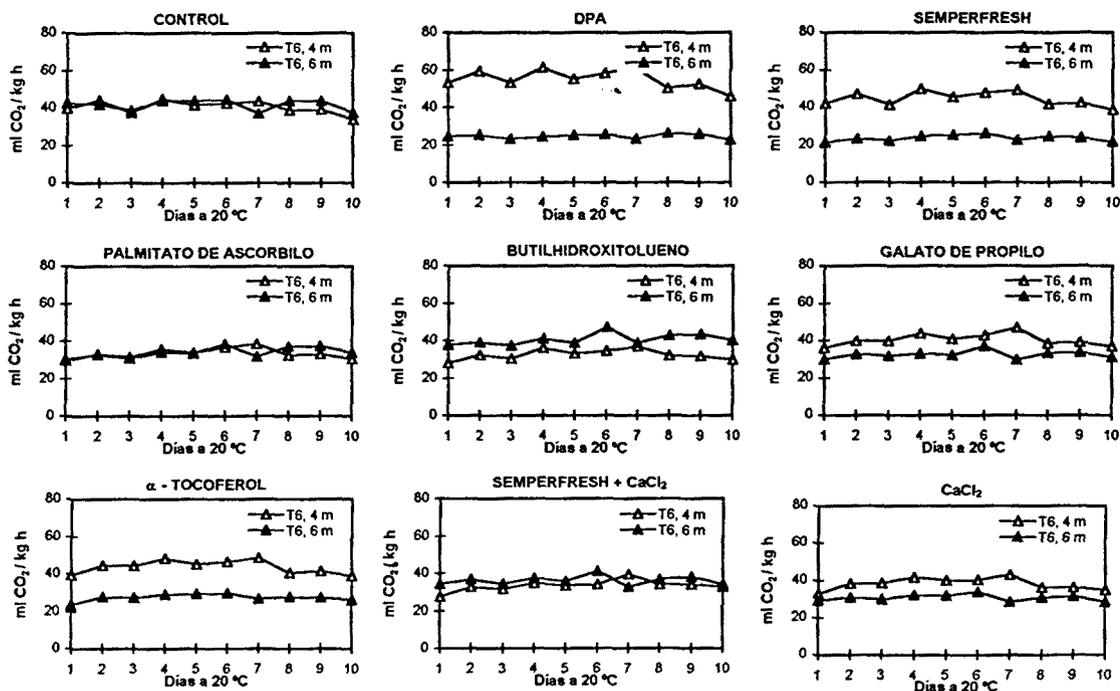
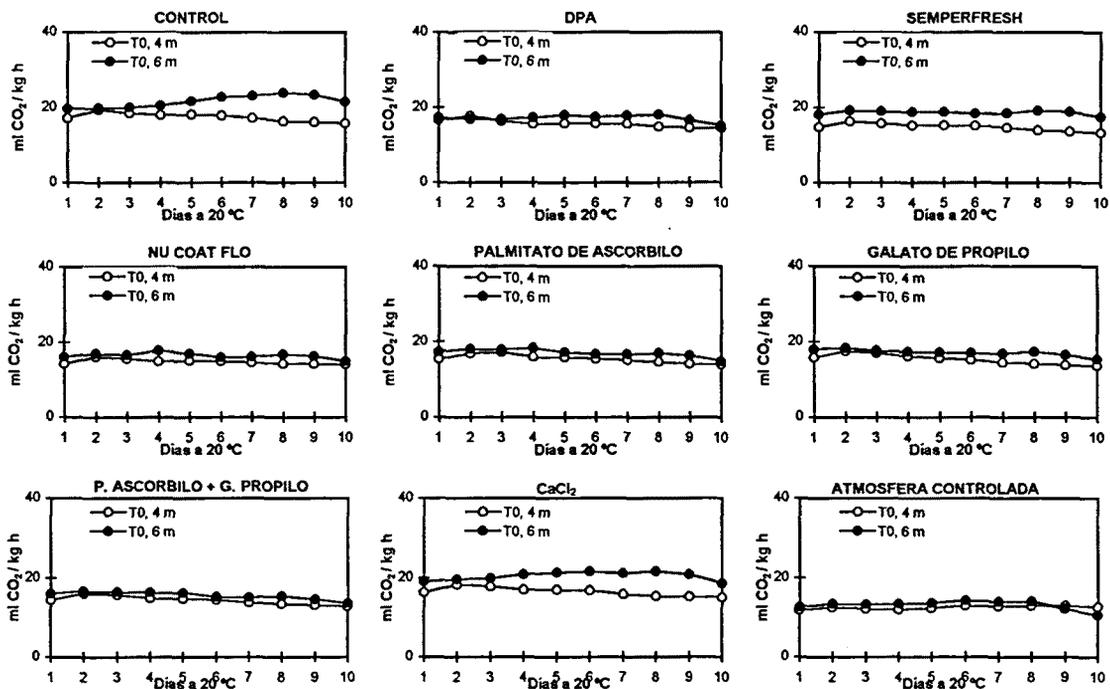


Figura 3. Producción de CO₂ (ml CO₂ / kg h) en manzanas Granny Smith cosechadas el 17-10-91 (campaña 91-92), tratadas con diversos productos inmediatamente después de la cosecha (T0, Fig. a) o a las 6 semanas de la cosecha (T6, Fig. b) y conservadas en atmósfera normal a 0,5 °C durante 4 meses (4m) o 6 meses (6m) más 10 días a 20 °C. Los antioxidantes palmitato de ascorbilo, butilhidroxitolueno, galato de propilo y α-tocoferol se aplicaron junto con el recubrimiento Semperfresh.

PRODUCCION DE CO₂ CAMPAÑA 92-93

(a) Tratamiento después de la cosecha



(b) Tratamiento a las 6 semanas de la cosecha

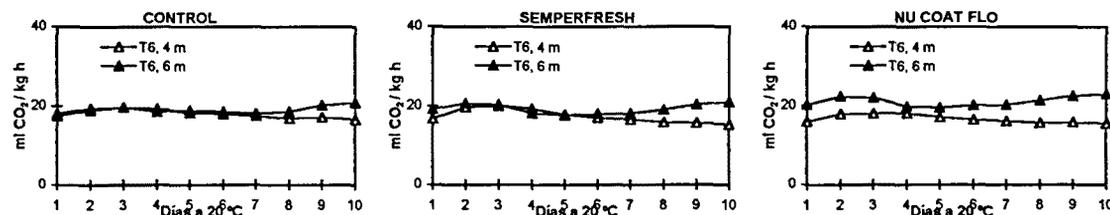


Figura 4. Producción de CO₂ (ml CO₂ / kg h) en manzanas Granny Smith cosechadas el 13-10-92 (campaña 92-93), tratadas con diversos productos inmediatamente después de la cosecha (T0, Fig. a) o a las 6 semanas de la cosecha (T6, Fig. b) y conservadas en atmósfera normal a 0,5 °C durante 4 meses (4m) o 6 meses (6m) más 10 días a 20 °C. Un grupo de manzanas sin tratar se almacenó inmediatamente después de la cosecha en atmósfera controlada. Los antioxidantes palmitato de ascorbilo y galato de propilo se aplicaron junto con el recubrimiento Semperfresh.

Tabla 2. Contenido de ACC (nmol ACC / g peso seco) en la pulpa de manzanas Granny Smith recolectadas el 17/10/1991 (campaña 91-92), tratadas con diversos productos inmediatamente después de la cosecha y conservadas a 0,5 °C en atmósfera normal. Determinaciones realizadas con pulpa congelada y liofilizada de frutos mantenidos a 20 °C en aire después de cada salida de cámara.

TRATAMIENTO ⁽¹⁾	Concentración	Días a 20 °C después de la frigoconservación		
		1	4	10
<i>4 meses de conservación a 0,5 °C</i>				
CONTROL		17,68	20,89	23,04
DPA	2500 ppm	19,29	22,68	25,36
SF	1%	20,18	27,32	24,64
CaCl ₂	1%	20,54	25,18	37,14
<i>6 meses de conservación a 0,5 °C</i>				
CONTROL		15,18	22,86	46,96
DPA	2500 ppm	17,68	26,96	45,00
SF	1%	17,50	30,36	24,29
CaCl ₂	1%	21,07	24,11	46,79

(1) DPA = Difenilamina; SF = Semperfresh.

Tabla 3. Contenido de ACC (nmol ACC / g peso seco) en la pulpa de manzanas Granny Smith recolectadas el 13/10/1992 (campaña 92-93), tratadas con diversos productos inmediatamente después de la cosecha y conservadas a 0,5 °C en atmósfera normal. Un grupo de manzanas sin tratar se almacenó después de la cosecha en atmósfera controlada. Determinaciones realizadas con pulpa congelada y liofilizada de frutos mantenidos a 20 °C en aire después de cada salida de cámara.

TRATAMIENTO ⁽¹⁾	Concentración	Días a 20 °C después de la frigoconservación		
		1	4	10
<i>4 meses de conservación a 0,5 °C</i>				
CONTROL		23,57	25,54	28,57
DPA	2500 ppm	30,54	27,68	39,82
SF	1%	21,79	21,43	20,89
CaCl ₂	1%	19,82	25,00	31,43
AC	3% O ₂ + 3% CO ₂	21,96	14,46	17,32
<i>6 meses de conservación a 0,5 °C</i>				
CONTROL		20,71	23,57	28,04
DPA	2500 ppm	24,29	24,64	50,54
SF	1%	15,36	15,89	20,18
CaCl ₂	1%	26,07	21,79	40,71
AC	3% O ₂ + 3% CO ₂	14,29	12,68	28,04

(1) DPA = Difenilamina; SF = Semperfresh; AC = Atmósfera controlada.

Tabla 4. Actividad de la enzima ACC oxidasa (nmol C₂H₄ / g peso fresco y h) en la pulpa de manzanas Granny Smith recolectadas el 17/10/1991 (campaña 91-92), tratadas con diversos productos, inmediatamente después de la cosecha o a las 6 semanas de la cosecha, y conservadas a 0,5 °C en atmósfera normal. Determinaciones realizadas en frutos mantenidos a 20 °C en aire después de cada salida de cámara.

TRATAMIENTO ⁽¹⁾	Concentración	Tratamiento después de cosecha			Tratamiento a las 6 semanas		
		Días a 20 °C después de la frigoconservación					
		1	4	10	1	4	10
<i>4 meses de conservación a 0,5 °C</i>							
CONTROL		3,90	3,79	4,75	2,30	3,97	3,60
DPA	2500 ppm	3,12	4,41	4,63	3,60	4,00	4,29
SF	1%	3,46	1,83	6,93	2,20	5,72	2,72
SF+ PA	1% + 1875 ppm	3,21	4,77	3,66	3,15	5,85	5,61
SF + BHT	1% + 1875 ppm	2,41	3,59	3,82	2,47	5,58	3,70
SF + GP	1% + 1875 ppm	2,94	4,20	2,98	2,71	4,42	4,91
SF + T	1% + 1875 ppm	4,30	4,15	3,68	2,55	3,81	4,87
SF + CaCl ₂	1% + 1%	1,69	2,73	4,61	3,20	5,49	6,51
CaCl ₂	1%	2,08	4,19	4,32	2,02	6,19	5,80
<i>6 meses de conservación a 0,5 °C</i>							
CONTROL		3,14	3,95	1,02	3,55	4,57	1,39
DPA	2500 ppm	3,97	3,98	1,05	3,92	4,83	0,80
SF	1%	5,48	7,50	5,78	4,63	3,57	0,88
SF+ PA	1% + 1875 ppm	5,20	7,63	3,25	4,14	4,14	2,81
SF + BHT	1% + 1875 ppm	4,37	6,34	2,14	2,80	4,29	1,17
SF + GP	1% + 1875 ppm	3,70	7,34	3,33	3,07	3,63	2,55
SF + T	1% + 1875 ppm	4,41	5,95	3,26	3,97	4,49	1,42
SF + CaCl ₂	1% + 1%	5,13	6,90	3,25	3,68	5,53	1,33
CaCl ₂	1%	4,95	5,43	2,74	5,07	4,33	0,96

(1): DPA = Difenilamina; SF = Semperfresh; PA = Palmitato de ascorbilo; BHT = Butilhidroxitolueno; GP = Galato de propilo; T = α -Tocoferol.

Tabla 5. Actividad de la enzima ACC oxidasa (nmol C₂H₄ / g peso fresco y h) en la pulpa de manzanas Granny Smith recolectadas el 13/10/1992 (campaña 92-93), tratadas con diversos productos, inmediatamente después de la cosecha o a las 6 semanas de la cosecha, y conservadas a 0,5 °C en atmósfera normal. Un grupo de manzanas sin tratar se almacenó después de la cosecha en atmósfera controlada. Determinaciones realizadas en frutos mantenidos a 20 °C en aire después de cada salida de cámara.

TRATAMIENTO ⁽¹⁾	Concentración	Tratamiento después de cosecha			Tratamiento a las 6 semanas		
		Días a 20 °C después de la frigoconservación					
		1	4	10	1	4	10
<i>4 meses de conservación a 0,5 °C</i>							
CONTROL		2,85	3,91	3,80	5,19	5,52	4,55
DPA	2500 ppm	2,92	6,63	4,26			
SF	1%	3,21	4,22	3,22	2,41	4,79	2,39
NCF	1,5%	2,56	3,89	1,92	2,99	5,55	2,77
SF+ PA	1% + 1875 ppm	2,45	2,52	4,21			
SF + GP	1% + 4687 ppm	2,06	1,95	3,82			
SF + PA + GP	1%+1875 ppm+1875ppm	2,26	2,83	4,19			
CaCl ₂	1%	3,61	4,86	5,53			
AC	3% O ₂ + 3% CO ₂	2,02	2,76	3,26			
<i>6 meses de conservación a 0,5 °C</i>							
CONTROL		4,79	5,08	2,79	3,39	4,34	1,49
DPA	2500 ppm	3,47	6,44	2,59			
SF	1%	3,53	5,12	3,31	3,22	4,52	2,32
NCF	1,5%	2,88	6,35	2,32	5,02	5,46	1,64
SF+ PA	1% + 1875 ppm	4,18	4,51	3,04			
SF + GP	1% + 4687 ppm	3,83	4,28	3,24			
SF + PA + GP	1%+1875 ppm+1875ppm	3,67	4,03	3,45			
CaCl ₂	1%	3,35	4,88	2,50			
AC	3% O ₂ + 3% CO ₂	4,74	4,11	3,28			

(1) DPA = Difenilamina; SF = Semperfresh; NCF = Nu Coat Flo; PA = Palmitato de ascorbilo; GP = Galato de propilo; AC = Atmósfera controlada.

Tabla 6. Desarrollo de escaldado superficial en manzanas Granny Smith recolectadas el 17/10/1991 (campaña 91-92), tratadas mediante baños con diversos productos, inmediatamente después de la cosecha o a las 6 semanas de la cosecha, y conservadas a 0,5 °C en atmósfera normal. Determinaciones realizadas en frutos mantenidos a 20 °C en aire después de cada salida de cámara. Índice de escaldado = [(1 x % frutos ligeramente afectados) + (2 x % frutos medianamente afectados) + (4 x % frutos severamente afectados)] / 4.

TRATAMIENTO ⁽¹⁾		Índice de escaldado					
		Tratamiento después de cosecha			Tratamiento a las 6 semanas		
		Días a 20 °C después de la frigoconservación					
		1	4	10	1	4	10
		<i>4 meses de conservación a 0,5 °C</i>					
	Concentración	0	0	5,6	0	0	11,1
CONTROL		0	0	0	0	0	0
DPA	2500 ppm	0	16,7	13,9	0	0	0
SF	1%	0	14,2	17,5	2,5	20,0	20,0
SF+ PA	1% + 750 ppm	1,7	16,7	11,1	0	25,0	25,0
	1% + 1875 ppm	0	13,3	17,5	1,7	15,8	16,7
	1% + 4687 ppm	0	11,7	15,8	3,3	14,2	15,0
SF + BHT	1% + 750 ppm	0	16,7	22,2	0	22,2	11,1
	1% + 1875 ppm	0	7,5	12,5	0,8	15,8	16,7
	1% + 4687 ppm	0	13,3	15,0	1,7	17,5	18,3
SF + GP	1% + 750 ppm	0	19,4	11,1	0	30,6	16,7
	1% + 1875 ppm	2,8	16,7	16,7	5,0	16,7	17,5
	1% + 4687 ppm	0	15,0	15,0	1,7	22,5	18,3
SF + T	1% + 750 ppm	0,8	30,6	30,6	2,8	21,9	33,3
	1% + 1875 ppm	0	17,5	17,5	4,2	32,5	32,5
	1% + 4687 ppm	0	16,7	13,9	0	13,9	22,2
SF + CaCl ₂	1% + 1%	2,8	8,3	13,9	0	5,5	8,3
CaCl ₂	1%	0					
		<i>6 meses de conservación a 0,5 °C</i>					
CONTROL		13,9	30,5	33,3	5,6	16,7	27,8
DPA	2500 ppm	3,1	5,6	2,8	0	5,6	11,1
SF	1%	9,4	13,9	33,3	2,8	16,7	16,7
SF+ PA	1% + 750 ppm	8,3	21,7	22,5	16,7	24,2	26,7
	1% + 1875 ppm	13,9	27,8	19,4	11,1	27,8	30,5
	1% + 4687 ppm	6,7	17,5	18,3	17,5	30,0	30,8
SF + BHT	1% + 750 ppm	5,8	22,5	25,0	5,0	16,7	17,5
	1% + 1875 ppm	11,1	27,8	27,8	13,9	33,3	13,9
	1% + 4687 ppm	9,2	20,7	20,7	8,3	20,8	21,7
SF + GP	1% + 750 ppm	17,5	30,8	30,8	17,5	30,8	32,5
	1% + 1875 ppm	11,1	25,0	19,4	16,7	46,9	33,3
	1% + 4687 ppm	10,0	19,2	21,7	22,5	35,8	40,0
SF + T	1% + 750 ppm	18,3	27,5	31,7	21,7	33,3	36,7
	1% + 1875 ppm	22,2	50,0	28,1	25,0	41,7	47,2
	1% + 4687 ppm	22,5	29,2	33,6	20,8	31,7	35,0
SF + CaCl ₂	1% + 1%	13,9	27,8	30,5	11,1	16,7	44,4
CaCl ₂	1%	11,1	16,7	16,7	5,6	27,8	19,4

DPA = Difenilamina; SF = Semperfresh; PA = Palmitato de ascorbilo; BHT = Butilhidroxitolueno; GP = Galato de propilo; T = α -Tocoferol.

Tabla 7. Desarrollo de escaldado superficial en manzanas Granny Smith recolectadas el 13/10/1992 (campaña 92-93), tratadas con diversos productos, inmediatamente después de la cosecha o a las 6 semanas de la cosecha, y conservadas a 0,5 °C en atmósfera normal. Un grupo de manzanas sin tratar se almacenó después de la cosecha en atmósfera controlada. Determinaciones realizadas en frutos mantenidos a 20 °C en aire después de cada salida de cámara. Índice de escaldado = [(1 x % frutos ligeramente afectados) + (2 x % frutos medianamente afectados) + (4 x % frutos severamente afectados)] / 4.

TRATAMIENTO ⁽¹⁾		Índice de escaldado					
		Tratamiento tras la cosecha			Tratamiento a las 6 semanas		
		Días a 20 °C después de la frigoconservación					
		1	4	10	1	4	10
		<i>4 meses de conservación a 0,5 °C</i>					
	Concentración	0	25,0	40,0	0	27,5	40,0
CONTROL		0	25,0	40,0	0	27,5	40,0
DPA	2500 ppm	0	7,5	5,0			
SF	1%	0	32,5	30,0	12,5	45,0	52,5
NCF	1,5%	0	37,5	22,5	15,0	40,0	52,5
SF+ PA	1% + 1875 ppm	0	30,0	37,5			
SF + GP	1% + 4687 ppm	0	47,5	52,5			
SF + PA + GP	1%+1875 ppm+1875ppm	0	35,0	35,0			
CaCl ₂	1%	0	22,5	27,5			
AC	3% O ₂ + 3% CO ₂	0	0	0			
		<i>6 meses de conservación a 0,5 °C</i>					
CONTROL		35,0	55,0	55,0	45,0	67,5	62,5
DPA	2500 ppm	7,5	15,0	20,0			
SF	1%	30,0	72,5	60,0	50,0	85,0	85,0
NCF	1,5%	50,0	72,5	77,5	67,5	75,0	80,0
SF+ PA	1% + 1875 ppm	32,5	50,0	55,0			
SF + GP	1% + 4687 ppm	45,0	65,0	72,0			
SF + PA + GP	1%+1875 ppm+1875ppm	40,0	45,0	57,5			
CaCl ₂	1%	47,5	57,5	85,0			
AC	3% O ₂ + 3% CO ₂	0	20,0	27,5			

(1) DPA = Difenilamina; SF = Semperfresh; NCF = Nu Coat Flo; PA = Palmitato de ascorbilo; GP = Galato de propilo; AC = Atmósfera controlada.

Tabla 8. Parámetros de calidad en manzanas Granny Smith recolectadas el 17/10/1991 (campaña 91-92), tratadas con diversos productos mediante baños y conservadas a 0,5 °C en atmósfera normal. Los tratamientos se realizaron inmediatamente después de la cosecha. Los datos corresponden a la media de 30 frutos mantenidos a 20 °C en aire después de cada salida de cámara.

TRATAMIENTO ⁽¹⁾		Peso (g)	Firmeza (lb)	Acidez (g ác. málico/l)	Sólidos solubles (%)
<i>4 meses de conservación a 0,5 °C</i>					
	Concentración				
CONTROL		179,9 b ⁽²⁾	14,01 bc	7,19 cd	11,99 bcd
DPA	2500 ppm	187,0 bcd	13,24 a	7,34 de	11,76 ab
SF	1%	201,0 f	13,61 ab	7,53 e	12,07 bcd
SF+ PA	1% + 1875 ppm	169,6 a	13,83 bc	6,92 abc	11,56 a
SF + BHT	1% + 1875 ppm	194,8 def	13,91 bc	6,76 a	12,20 cd
SF + GP	1% + 1875 ppm	191,5 cde	14,57 d	7,05 bcd	12,27 d
SF + T	1% + 1875 ppm	200,1 ef	14,27 cd	7,29 de	11,91 bc
SF + CaCl ₂	1% + 1%	185,3 bc	14,18 cd	7,26 de	12,61 e
CaCl ₂	1%	182,0 b	13,27 a	6,77 ab	12,08 cd
<i>6 meses de conservación a 0,5 °C</i>					
CONTROL		175,6 a	11,25 ab	5,93 a	11,86 bcd
DPA	2500 ppm	181,0 a	11,13 ab	6,25 bc	12,06 d
SF	1%	200,1 d	11,39 b	6,52 cd	11,98 cd
SF+ PA	1% + 1875 ppm	182,2 a	11,97 c	6,13 ab	11,14 a
SF + BHT	1% + 1875 ppm	185,3 ab	11,01 a	6,08 ab	11,59 b
SF + GP	1% + 1875 ppm	193,2 bc	11,41 b	6,23 abc	11,65 bc
SF + T	1% + 1875 ppm	212,2 d	12,05 c	6,64 d	11,82 bcd
SF + CaCl ₂	1% + 1%	198,0 c	11,47 b	6,21 ab	12,02 d
CaCl ₂	1%	182,2 a	11,33 ab	6,07 ab	11,62 b

(1) DPA = Difenilamina; SF = Semperfresh; PA = Palmitato de ascorbilo; BHT = Butilhidroxitolueno; GP = Galato de propilo; T = α -Tocoferol.

(2) Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, para cada salida de cámara. Separación de medias según Test de Duncan ($\alpha = 0,05$)

Tabla 9. Parámetros de calidad en manzanas Granny Smith recolectadas el 17/10/1991 (campana 92-93), tratadas con diversos productos mediante baños y conservadas a 0,5 °C en atmósfera normal. Los tratamientos se realizaron después de 6 semanas de frigoconservación. Los datos corresponden a la media de 30 frutos mantenidos a 20 °C en aire después de cada salida de cámara.

TRATAMIENTO ⁽¹⁾		Peso (g)	Firmeza (lb)	Acidez (g ác. málico/l)	Sólidos solubles (%)
<i>4 meses de conservación a 0,5 °C</i>					
	Concentración				
CONTROL		183,4 c ⁽²⁾	11,80 ab	6,96 cd	11,82 abc
DPA	2500 ppm	170,1 a	11,57 a	6,84 bcd	11,59 a
SF	1%	171,1 ab	12,68 de	7,01 de	11,57 a
SF+ PA	1% + 1875 ppm	184,3 c	12,01 bc	6,50 a	11,99 bcd
SF + BHT	1% + 1875 ppm	183,8 c	11,74 ab	6,69 abc	11,78 ab
SF + GP	1% + 1875 ppm	186,3 c	12,78 e	6,91 bcd	12,27 d
SF + T	1% + 1875 ppm	165,4 a	12,60 de	6,88 bcd	12,10 cd
SF + CaCl ₂	1% + 1%	172,8 ab	11,96 abc	6,65 ab	11,74 ab
CaCl ₂	1%	180,3 bc	12,29 cd	7,28 e	11,64 a
<i>6 meses de conservación a 0,5 °C</i>					
CONTROL		166,6 ab	11,15 ab	6,01 abc	11,33 a
DPA	2500 ppm	163,2 a	11,09 a	5,96 ab	11,62 b
SF	1%	174,6 bc	12,05 e	6,54 ef	11,25 a
SF+ PA	1% + 1875 ppm	181,7 cd	11,91 de	5,79 a	11,96 c
SF + BHT	1% + 1875 ppm	174,1 bc	11,75 de	6,11 bcd	11,47 ab
SF + GP	1% + 1875 ppm	180,4 cd	11,80 de	6,29 de	11,36 ab
SF + T	1% + 1875 ppm	172,7 abc	11,65 cd	6,20 bcd	11,29 a
SF + CaCl ₂	1% + 1%	184,8 d	11,42 bc	6,58 f	11,33 a
CaCl ₂	1%	179,4 cd	11,84 de	6,23 cd	11,31 a

(1) DPA = Difenilamina; SF = Semperfresh; PA = Palmitato de ascorbilo; BHT = Butilhidroxitolueno; GP = Galato de propilo; T = α -Tocoferol.

(2) Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, para cada salida de cámara. Separación de medias según Test de Duncan ($\alpha = 0,05$)

Tabla 10. Parámetros de calidad en manzanas Granny Smith recolectadas el 13/10/1992 (campaña 92-93), tratadas con diversos productos mediante baños y conservadas a 0,5 °C en atmósfera normal. Los tratamientos se realizaron inmediatamente después de la cosecha. Un grupo de manzanas sin tratar se almacenó después de la cosecha en atmósfera controlada. Los datos corresponden a la media de 30 frutos mantenidos a 20 °C en aire después de cada salida de cámara.

TRATAMIENTO ⁽¹⁾		Peso (g)	Firmeza (lb)	Acidez (g ác. málico/l)	Sólidos solubles (%)
<i>4 meses de conservación a 0,5 °C</i>					
	Concentración				
CONTROL		221,8 cd ⁽²⁾	12,1 a	7,8 e	12,0 e
DPA	2500 ppm	219,8 c	12,4 a	7,4 c	11,5 cd
SF	1%	202,7 a	13,6 c	7,1 ab	10,5 b
NCF	1,5%	221,4 c	13,2 b	7,3 abc	11,9 de
SF+ PA	1% + 1875 ppm	217,5 bc	13,9 cd	7,7 de	11,4 c
SF + GP	1% + 4687 ppm	206,4 a	13,7 c	7,3 bc	10,6 b
SF + PA + GP	1%+1875 ppm+1875ppm	207,2 a	14,1 d	7,1 a	10,1 a
CaCl ₂	1%	207,9 ab	12,4 a	7,6 de	11,8 de
AC	3% O ₂ + 3% CO ₂	231,4 d	14,7 e	7,5 cd	11,4 c
<i>6 meses de conservación a 0,5 °C</i>					
CONTROL		240,0 d	10,7 a	6,9 de	12,2 d
DPA	2500 ppm	202,0 ab	10,9 a	6,8 cd	10,9 b
SF	1%	214,1 c	12,0 b	6,7 bcd	11,0 b
NCF	1,5%	208,4 abc	12,0 b	6,5 ab	11,4 c
SF+ PA	1% + 1875 ppm	210,1 bc	12,4 cd	6,4 ab	11,5 c
SF + GP	1% + 4687 ppm	213,3 c	12,1 bc	7,1 e	11,4 c
SF + PA + GP	1%+1875 ppm+1875ppm	200,0 a	12,5 d	6,6 abc	10,5 a
CaCl ₂	1%	201,1 ab	10,7 a	6,3 a	10,9 b
AC	3% O ₂ + 3% CO ₂	209,1 abc	13,8 e	7,1 e	10,7 ab

(1) DPA = Difenilamina; SF = Semperfresh; NCF = Nu Coat Flo; PA = Palmitato de ascorbilo; GP = Galato de propilo; AC = Atmósfera controlada.

(2) Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, para cada salida de cámara. Separación de medias según Test de Duncan ($\alpha = 0,05$).

Tabla 11. Parámetros de calidad en manzanas Granny Smith recolectadas el 13/10/1992 (campaña 92-93), tratadas con diversos productos mediante baños y conservadas a 0,5 °C en atmósfera normal. Los tratamientos se realizaron después de 6 semanas de frigoconservación. Los datos corresponden a la media de 30 frutos mantenidos a 20 °C en aire después de cada salida de cámara.

TRATAMIENTO ⁽¹⁾		Peso (g)	Firmeza (lb)	Acidez (g ác. málico/l)	Sólidos solubles (%)
<i>4 meses de conservación a 0,5 °C</i>					
	Concentración				
CONTROL		207,1 a ⁽²⁾	12,1 a	7,5 b	11,5 a
SF	1%	210,1 a	12,6 b	7,1 a	11,8 a
NCF	1,5%	211,7 a	12,5 b	7,4 ab	11,5 a
<i>6 meses de conservación a 0,5 °C</i>					
CONTROL		199,9 a	10,8 a	6,6 a	10,8 b
SF	1%	213,7 b	11,2 b	6,3 a	10,2 a
NCF	1,5%	214,1 b	10,7 a	6,6 a	10,9 b

(1) SF = Semperfresh; NCF = Nu Coat Flo.

(2) Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, para cada salida de cámara. Separación de medias según Test de Duncan ($\alpha = 0,05$).

