



# 2<sup>do</sup> Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones

16 al 19 de julio del 2000 - Santa Fe de Bogotá - Colombia

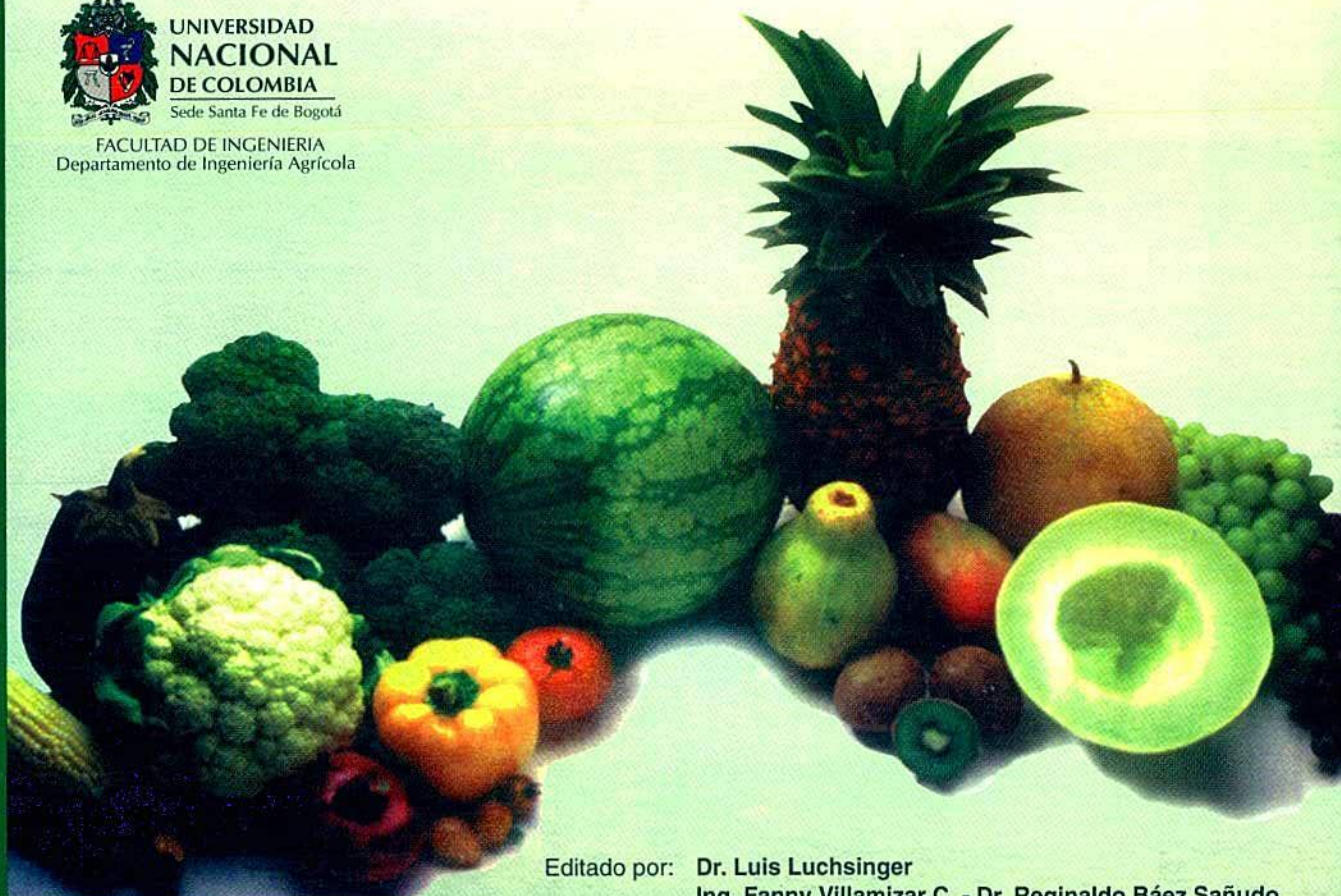
**CYTED**

Proyecto XI.10  
Proyecto XI.14

Sociedad Iberoamericana de Tecnología Postcosecha de Frutas y Verduras - SITEP

## 3er. Simposio Control de fisiopatías en frutas durante el almacenamiento en frío

  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**  
Sede Santa Fe de Bogotá  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Departamento de Ingeniería Agrícola



Memorias

Editado por: Dr. Luis Luchsinger  
Ing. Fanny Villamizar C. - Dr. Reginaldo Báez Sañudo

ISBN: 970-18-4953-1

76155

BIBLIOTECA AGROPECUARIA  
DE COLOMBIA

15 JUL. 2013

62392

62527-62528



# Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones

16 al 19 de julio del 2000 - Santa Fe de Bogotá - Colombia

## Memorias

3er. Simposio  
**Control de fisiopatías en frutas  
durante el almacenamiento en frío**

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE  
 COLOMBIA - BAC

|            |                                     |          |                          |
|------------|-------------------------------------|----------|--------------------------|
| Compra     | <input checked="" type="checkbox"/> | Donación | <input type="checkbox"/> |
| Canje      | <input type="checkbox"/>            | Deposito | <input type="checkbox"/> |
| Procedente | Hipertexto Ltda                     |          |                          |
| Fecha      | 15 JUL. 2000 \$16.000               |          |                          |

2do. Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones

© Universidad Nacional de Colombia  
 Facultad de Ingeniería  
 Departamento de Ingeniería Agrícola

Ciudad Universitaria - Departamento de Ingeniería Agrícola  
 Teléfono: 3165430 PBX: 3165000 ext. 16611  
 Fax: 3165462  
 Email: ingagric@ing.unal.edu.co  
 Santa Fe de Bogotá - Colombia

Editores: Dr. Luis Luchsinger  
 Ing. Fanny Villamizar C.  
 Dr. Reginaldo Báez Sañudo

3er. Simposio: Control de fisiopatías en frutas durante el almacenamiento en frío  
 ISBN: 970-18-4953-1

Estas memorias fueron editadas gracias a la colaboración de: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural,  
 Fondo de Fomento Hortifrutícola y Asohofrucol.  
 Avenida 32 No. 16-33 Teléfonos 2457875/79 - 3381803 Fax: 2329107  
 E-mail: asohofru@gaitana.interred.net.co - Bogotá - Colombia

#### Compilación y edición

Grupo editor de la revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha: Reginaldo Báez Sañudo, Armida Rodríguez Félix,  
 Elsa Bringas Taddei, Verónica Araiza Sánchez, Gabriela Camarena, Javier Ojeda Contreras, Jorge Nemesio Mercado Ruíz.

#### Producción gráfica

OPCIONES GRAFICAS EDITORES LTDA.  
 Teléfonos: 2601643 - 2600162 Bogotá - Colombia

Impreso en Colombia  
 Julio 2000

Se permite reproducir el material publicado siempre que se reconozca la fuente

## CONTENIDO

|                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Mecanismos bioquímicos de fisiopatías importantes de frutas</b>                                                                                                                                                                                                                            | 5  |
| Edmundo Mercado Silva<br>Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro, México.                                                                                                                                                                    |    |
| <b>Factores de precosecha que afectan la calidad</b>                                                                                                                                                                                                                                          | 21 |
| Ma. Eugenia Salvador<br>Ing. Agr. Mg. Cs. INTA                                                                                                                                                                                                                                                |    |
| <b>Efecto del estado de madurez de los frutos a la cosecha sobre su conservación</b>                                                                                                                                                                                                          | 29 |
| Ing. Agr. (Dra.) Albertina Guarinoni<br>Prof. Adjunto de Fruticultura Facultad de Agronomía - Universidad de la República                                                                                                                                                                     |    |
| <b>Inhibición de los daños por frío en frutas tropicales</b>                                                                                                                                                                                                                                  | 39 |
| L. Patricia Restrepo S<br>Profesora Asociado, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia.                                                                                                                                                                                      |    |
| <b>Modificaciones de la atmósfera y tratamientos térmicos para reducir los daños por el frío en la postrecolección hortofrutícola</b>                                                                                                                                                         | 47 |
| Dr. Ing. F. Artés CALERO<br>Presidente de la Comisión Ciencia e Ingeniería de Alimentos del Instituto Internacional del Frío.<br>Investigador Científico Responsable del Laboratorio de Refrigeración y Postrecolección del CEBAS-CSIC.                                                       |    |
| <b>Efectos de diferentes fuentes de calcio en melocotones (Prunus pérsica L. Batsch).</b>                                                                                                                                                                                                     | 63 |
| Reginaldo Báez-Sañudo, Rosalba Troncoso-Rojas, Elsa Bringas-Taddei, Javier Ojeda-Contreras y Ana Ma. Mendoza-Wilson.<br>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Tecnología de Alimentos de Origen vegetal.                                                                 |    |
| <b>Influencia de la temperatura y el tiempo de almacenamiento en la conservación del mango (Mangífera indica L) variedad Van Dyke</b>                                                                                                                                                         | 79 |
| Harvey Arjona D. <sup>1</sup> y Jesús Antonio Galvis V. <sup>2</sup><br><sup>1</sup> Ing. Agrónomo, PhD Fisiología de Cultivos. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional. Bogotá.<br><sup>2</sup> Ing. Agrícola. Candidato a Doctorado en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional. Bogotá. |    |
| <b>Control de fisiopatías en frutos de carozo (hueso)</b>                                                                                                                                                                                                                                     | 87 |
| Dr. Luis Luchsinger Lagos<br>Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) Fac. de Ciencias Agronómicas . Universidad de Chile.                                                                                                                                                                      |    |
| <b>Control de fisiopatías en pomáceas</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | 95 |
| Flores-Cantillano, F.<br>Dr.Ing.Agr. Investigador. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, , Brasil.                                                                                                                                                                                     |    |

# MECANISMOS BIOQUIMICOS DE FISIOPATIAS IMPORTANTES DE FRUTAS

**Edmundo Mercado Silva**

Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro, México.  
Centro Universitario Cerro de las Campanas s/n CP 76010 Querétaro, México.  
E-mail: mercado@sunserver.uaq.mx

---

## RESUMEN

El oscurecimiento es una de las principales causas de pérdida de calidad y nutrimental en la producción comercial de frutas y hortalizas. En productos frescos se presenta como un síntoma, muy generalizado, asociado al daño por frío. La incidencia de este fenómeno se asocia a las reacciones en las que participan los compuestos fenólicos que son oxidados por un grupo de enzimas conocidas genéricamente como polifenoloxidasas. El inicio de este problema se ubica en la descompartmentalización de los fenoles facilitando la acción enzimática descrita; la liberación de estos fenoles se explica por la pérdida de permeabilidad de las membranas que inicialmente mantienen compartimentalizados a aquellos compuestos fenólicos. Los alcances y problemas de esta teoría serán analizados en el presente trabajo en el marco de las nuevas investigaciones que se están llevando a cabo en distintos laboratorios. Por su parte el problema de harinosidad (woolliness o mealiness) de los frutos de hueso así como de manzanas y peras, también es un desorden fisiológico asociado al daño por frío; cuya explicación se asocia a los cambios que sufren los componentes de la pared celular en particular las pectinas dando como resultado productos que pierden su jugosidad, succulencia y textura crujiente.

## INTRODUCCION

El estudio de las fisiopatías que afectan a las frutas y hortalizas durante su manejo poscosecha ha sido tema de investigación durante varios años por parte de muchos investigadores. El oscurecimiento enzimático es una manifestación muy evidente cuando son sometidas a diferentes tipos de estrés como el mecánico, el patológico o bajas temperaturas (Kays, 1991); convirtiéndose en un fuerte problema durante el manejo comercial (Macheix, 1990). Las estrategias para resolver este problema han sido muy diversas y van desde la selección y caracterización de variedades que tengan una menor susceptibilidad al oscurecimiento o la modificación genética de los organismos que permita minimizar la expresión de los genes responsables que codifican para la enzima polifenol oxidasa (Bachem, 1994), hasta el estudio de los mecanismos bioquímicos básicos que generan el oscurecimiento.

En términos generales se conoce que existen productos con una mayor susceptibilidad a las manifestaciones del oscurecimiento (Amiot y col, 1992 y 1995), entre los productos susceptibles

se encuentran la manzana, pera, plátano, durazno y nectarinas; y dentro de las hortalizas se tiene a la papa, lechuga, jícama, entre otras. Sin embargo, dentro de estos mismos frutos existe también una gama de manifestaciones en cuanto a su susceptibilidad habiendo variedades francamente sensibles al oscurecimiento y otras muy resistentes. También las manifestaciones de los agentes que participan en el oscurecimiento no son constantes durante el tiempo de desarrollo de los productos, habiendo un cambio dinámico tanto de la actividad de las enzimas involucradas como de la cantidad y tipo de fenoles presentes.

Existen dos tipos de reacciones que pueden llevar al desarrollo del oscurecimiento. Uno de ellos, el que más interés tiene en el manejo de productos frescos, es el oscurecimiento enzimático en el que los fenoles son oxidados por las orto difenol oxidasas o polifenol oxidasas (PPO) generando orto quinonas que al reaccionar con grupos amino, o se polimerizan o se asocian con otros fenoles para generar compuestos de color café; el segundo tipo de reacciones, es el oscurecimiento no enzimático en el que compuestos amino reaccionan con azúcares reductores para formar compuestos glucosil amino y compuestos de Amadori, los cuales generan derivados cetónicos que reaccionan con aminoácidos para formar las melanoidinas de color café oscuro (Walker, 1995) (Figura 1). Aunque las dos reacciones dan colores café oscuros; las condiciones para que se lleven a cabo son diferentes; el oscurecimiento enzimático puede ocurrir a temperatura ambiente mientras que el oscurecimiento no enzimático requiere de calor externo. Aún cuando estos aspectos se reconocen generalmente, el proceso dista mucho de estar completamente entendido.

Aunque el oscurecimiento está considerado como un proceso dañino para la calidad de las frutas y hortalizas, los productos de oscurecimiento pueden contribuir a la resistencia a algunos tipos de estrés. Por lo que la aparición de los compuestos oscuros es uno de los primeros signos de una respuesta al daño mecánico, al ataque de patógenos y las orto quinonas formadas parecen poseer un mayor poder antimicrobiano que los compuestos originales que participan en el mecanismo de resistencia (Marquez y col 1995)

Por su parte la harinosidad "woollines" o "mealiness" es una fisiopatía que presentan fundamentalmente las frutas de hueso, manzanas y peras cuando son almacenadas por debajo de 8°C y por arriba de sus temperaturas óptimas de conservación y transferidas posteriormente a temperatura ambiente. Esta fisiopatía se describe principalmente como una pérdida de la crujencia de los tejidos y una pérdida de su jugosidad que hace al producto tener una textura seca al masticarlo, aun cuando su contenido de humedad no ha cambiado. La mayoría de los estudios realizados a este respecto se centran en los cambios cualitativos que sufren la pared celular y los cambios en el contenido de  $Ca^{+2}$ . Bramlage y Meir (1990) opinan que los frutos pierden su capacidad para hidrolizar la pectina cuando son almacenados a bajas temperaturas.

La incidencia de la harinosidad se ha atribuido a la presencia de sustancias pécticas de bajo metoxilo y alto peso molecular que pueden formarse durante el proceso de daño por frío a través de la acción de la pectin metil esterasa (PME) en combinación con una actividad reducida de PG después del almacenamiento (Lill y col., 1989)

Este trabajo presenta una discusión general de los mecanismos bioquímicos que generan los problemas de oscurecimiento y harinosidad.

### ESQUEMA GENERAL DEL OSCURECIMIENTO ENZIMATICO

El inicio de las reacciones de oscurecimiento debido al daño por frío se atribuye a modificaciones fisicoquímicas de las membranas que propician la descompartmentalización celular y ponen en contacto la enzima y el sustrato (Wang, 1982). Esto supone un evento primario a nivel de membranas que generará varias respuestas o fenómenos de tipo secundario que facilitarán el desarrollo de los compuestos de color. El estrés mecánico, o daño físico, rompe la organización celular en forma violenta y facilita el contacto entre los reactantes propiciando que el desarrollo del color sea más rápido. Aunque en ambos casos el color sea muy parecido, puede ser que los mecanismos utilizados para llegar a estos productos tengan algunas diferencias sustanciales. Estas diferencias pueden ser importantes para lograr entender estas manifestaciones o tratar de controlar estas reacciones.

**Características generales de PPO.** PPO es una proteína ampliamente distribuida en bacterias, hongos, plantas y animales, aunque generalmente se asocia más al reino vegetal. Se considera que es codificada por una familia de multigenes que se expresan en varios tipos de tejidos relacionados con determinadas formas de resistencia (Márquez y col., 1995).

Debido a su relativa facilidad de su extracción se podría pensar que es una enzima que está en forma soluble en el citosol. Sin embargo, esta enzima también está ligada a membrana y se ha

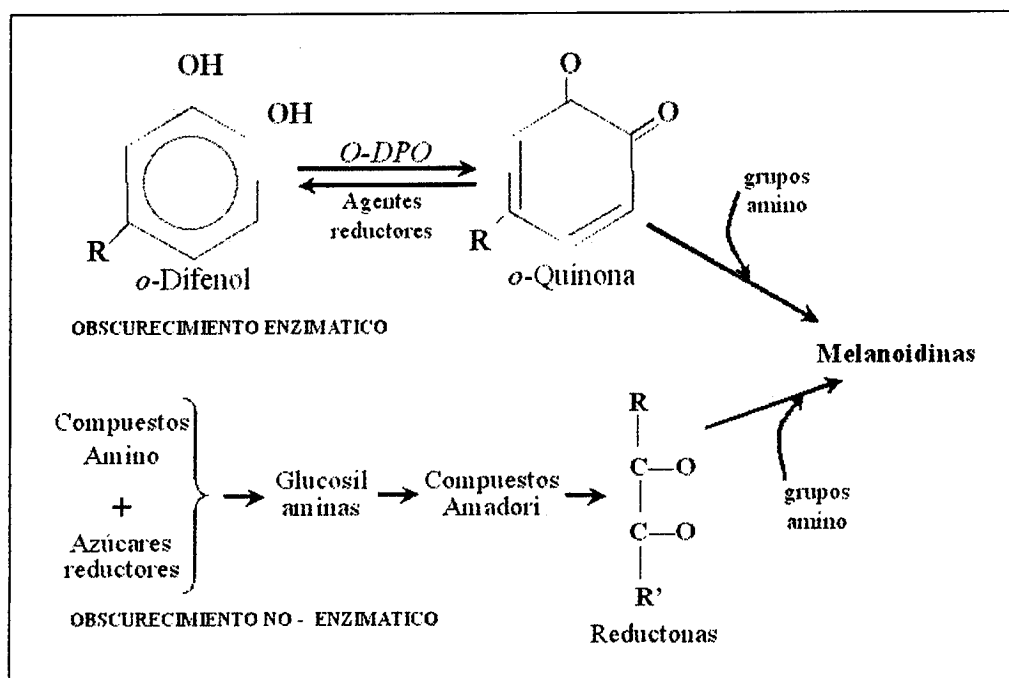


Figura 1. Reacciones de oscurecimiento enzimático y no enzimático

reportado que se encuentra tanto en cloroplastos como en las membranas internas de la mitocondria, así como en microcuerpos o parcialmente asociada con la pared celular. El grado de ligado a membranas depende del tejido, tipo de producto y estado de desarrollo del mismo, En aceituna, por ejemplo, cuando el fruto es inmaduro está fuertemente ligada a membrana mientras que en estado maduro se encuentra principalmente en forma soluble. Con el avance de la maduración o el desarrollo de la senescencia, las membranas de los organelos se desintegran y liberan a la enzima. Por ello los procesos que alteran la integridad de la membrana indudablemente alterarán la actividad de estas enzimas y muy probablemente también alterarán los cambios de color de los tejidos afectados.

La actividad de esta enzima durante el desarrollo de los frutos, generalmente es más alta en las primeras etapas de desarrollo que en las frutas maduras, Sin embargo los cambios no son los mismos para las distintas formas de PPO. Como ya se ha expresado, hay un cambio de enzima ligada a enzima libre durante el proceso de desarrollo pero la actividad de esta última es generalmente menor que la enzima de etapas jóvenes. En algunos frutos como durazno y aguacate la actividad de la fracción particulada se incrementa conforme avanza el proceso de maduración.

El peso molecular de esta enzima varía desde 29 hasta 200 kd con subunidades entre 29 y 67 kd siendo la más sencilla aquella correspondiente a microorganismos (Lerch, 1995).

La polifenol oxidasa, se ha reportado frecuentemente en forma latente o inactiva y para que manifieste su acción requiere de su activación. A nivel de laboratorio puede activarse a través de un detergente como el SDS. Esta enzima tiene diferentes pHs óptimos desde ácidos hasta neutros y se han encontrado hasta dos pHs para la misma especie. También se ha reportado una amplia variedad de isoformas por ejemplo en manzana están reportadas enzimas de 46 o 26 kd o desde 24 hasta 134. Lo cual puede estar relacionado a diferencias genéticas, estado de desarrollo, almacenamiento bajo frío, y tejido estudiado (Márquez y col 1995).

**Papel biológico de PPO.** Al considerar el papel de los fenoles oxidados como agentes antimicrobianos parece claro el papel de PPO en los mecanismos de defensa, así mismo si consideramos que durante el proceso de daño físico se ponen en marcha un proceso de biosíntesis de fenoles para la construcción de elementos de cicatrización, también podemos asociar una función biológica de participación en la reparación de tejidos. Estas funciones estarían soportadas por lo asentado por Walker (1995), en el sentido de que muchas ortodifenol oxidasas son capaces de catalizar la inserción de un grupo hidroxilo en la posición tres del anillo benzénico (actividad cresolasa) participando con ello en la biosíntesis de compuestos fenólicos.

La síntesis de compuestos fenólicos esta soportada por varios trabajos en tejidos sujetos a estrés de bajas temperaturas. Ose y col. (1995) encontraron que las hojas de *Ipomoea aquatica* sensibles a daños por frío cuando se almacenan por debajo de 9°C presentaron una disminución de los compuestos fenólicos ligados y un incremento de su forma libre (más reactiva) y que las actividades de las enzimas cafeoil CoA: quinato hidroxicinamoil transferasa (CQT) e hidroxicinamoil CoA ligasa; enzimas importantes en la síntesis del ácido clorogénico, se incrementaron antes de la

aparición de los síntomas de daño por frío. En tanto que la posterior destrucción del cloroplasto y tonoplasto estuvieron relacionados al proceso de oscurecimiento de esta hoja.

No obstante, hay grande expectación de que PPO tenga otras funciones en las células de las plantas; su naturaleza multigénica y su expresión específica en distintos tipos de tejidos dan esta aseveración. Sherman y col (1995), opinan que aunque esta enzima toma su nombre por su capacidad para catalizar la oxidación de los fenoles, esta puede ser solo una función secundaria o no tener relevancia fisiológica en muchos tipos de plástidos. Como ejemplo se puede señalar que a PPO se le ha asociado en la modulación de la reducción del oxígeno molecular del fotosistema I (también llamada reacción de Mehler). Esto puede ocurrir cuando existen condiciones que limitan la disponibilidad de CO<sub>2</sub> y las altas concentraciones de O<sub>2</sub> se pueden presentar debido al continuo funcionamiento del aparato fotosintético (Figura 2). En este esquema PPO se encontraría ligada al fotosistema PSII, ahí PPO oxidaría a las quinonas reducidas generadas por el fotosistema PSI, evitando la acumulación del oxígeno molecular y regenerando el sustrato para la operación continua del ciclo.

El aspecto anterior también recibe soporte por otras observaciones realizadas con la toxina tentoxina la cual inhibe el traslado de PPO a los cloroplastos generando tejidos cloróticos (Lax y Cary 1995). Sin embargo esta es solo una función pero es muy posible que esta enzima tenga varias funciones no relacionadas que aprovechen la capacidad de interactuar en las funciones de oxidoreducción con quinonas.

**Proceso de oscurecimiento enzimático.** A la polifenol oxidasa se le asocian dos tipos de reacciones. La Figura 3, muestra que PPO tiene capacidad para hidroxilar un mono fenol y dar un orto difenol (actividad cresolasa) que no tiene color; este ortodifenol es posteriormente oxidado

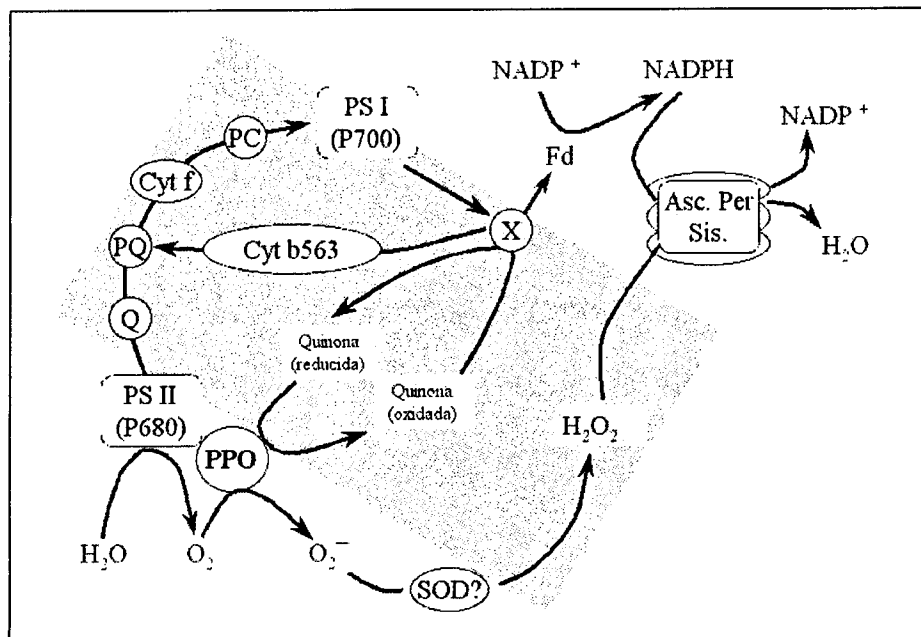


Figura 2. Posible función de PPO en la reacción de Mehler de fotosíntesis. Sherman y col (1995)



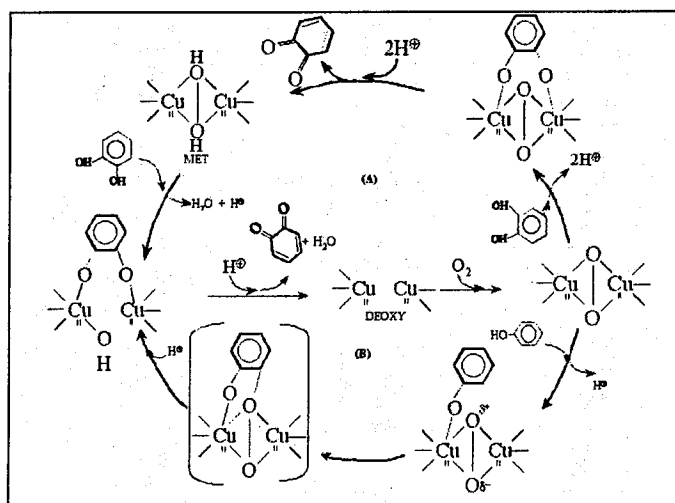


Figura 5. Mecanismos de acción de PPO. A) o-difenol, B) monofenol

del oxígeno con los átomos de Cu para formar un complejo oxi fenol PPO, el fenol es oxidado a su forma de quinona y la enzima es reducida a su forma "met PPO". Otra molécula de fenol se enlaza a met PPO, se oxida a su correspondiente quinona y se recupera la forma "deoxy PPO" original para iniciar el ciclo nuevamente.

Para el caso de monofenoles, el ciclo empieza de la misma forma que en el caso anterior, el monofenol se liga al  $\text{Cu}^+$  formando un complejo oxígeno monofenol PPO, una posterior hidroxilación en la posición orto se lleva a cabo y esto generaría el orto difenol; aunque puede ser que las condiciones generen nuevamente una quinona debido a la transferencia de electrones intramolecular que lleva a esta quinona.

**Reacciones acopladas.** El proceso de oscurecimiento no termina con la formación de las orto quinonas; éstas al ser muy reactivas son objeto de posteriores reacciones secundarias, enzimáticas o no enzimáticas, que finalmente llevan a la formación de los compuestos coloridos. Dependiendo de los compuestos fenólicos que les dieron origen y los factores ambientales en que se lleve a cabo la reacción estas quinonas mostrarán diferente estabilidad y reactividad y por lo tanto los colores desarrollados diferirán en cuanto al matiz e intensidad (Richard-Forget y col., 1995; y Richard-Forget y Gaillard, 1997). Estas reacciones son:

Adición nucleofílica en la cual pueden participar los sulfitos, tioles o grupos amino y generar melanoidinas, también se pueden formar trifenoles que nuevamente pueden ser oxidados por PPO para formar p quinonas.

Otra posibilidad de reacción sería que las quinonas formadas pueden reaccionar con fenoles parientes formando dímeros, que sufren una posterior oxidación dando oligómeros más grandes con diferentes intensidades de color. Estos dímeros tienen un sistema de dobles enlaces conjugados extendido y por ello una mayor capacidad de extensión del color; por ejemplo las benzoquinonas tienen un coeficiente de extinción molar de 20 mientras la difenoquinona tiene cerca de 69 000 a 398 nm.

También estas quinonas pueden reaccionar con diferentes moléculas de fenoles para llevarlo a un copolímero o regenerando el fenol original y dando una quinona diferente por una reacción de oxidación acoplada.

Cheyrier y col., (1988, 1989, 1991 y 1995), hacen una clara descripción de este tipo de reacciones en sistemas modelo de mosto de uva, indicando que la presencia de reacciones acopladas se puede demostrar inequívocamente por la detección o formación de las orto quinonas en presencia de ácido caftárico. En esas soluciones modelo que contenían ácido caftárico y catequina en diferentes proporciones, la velocidad de degradación del ácido caftárico y la concentración de sus quinonas disminuyeron conforme aumentó la concentración de catequinas mientras que se formaron mayores cantidades de catequin orto quinonas en presencia del ácido caftárico. Esto dio la evidencia de la presencia de reacciones acopladas. Sin embargo, estas catequin quinonas se transformaron rápidamente a compuestos coloridos. En forma simultánea la incorporación del ácido caftárico a productos de condensación fue muy rápida en soluciones que tenían catequina sugiriendo que los productos ácido caftárico- catequina se forman más rápidamente que los oligómeros del ácido caftárico puro (Figura 6). Las procianidinas no fueron susceptibles a la oxidación enzimática pero fueron degradadas a quinonas muy inestables en soluciones que contenían PPO y ácido caftárico.

También en sistemas modelo, un extracto de antocianinas en presencia de la PPO no fue degradado ni se consumió oxígeno; sin embargo, al adicionar ác. caftárico se observaron pérdidas importantes de antocianinas, confirmando que la degradación de antocianinas se inició por quinonas del ác. caftárico. La adición de antocianinas a un sistema de ac. caftárico, glutatión y PPO retrasó la formación de 2-S-glutathionilcaftárico y disminuyó su nivel máximo, sugiriendo alguna clase de competencia entre el glutatión y las antocianinas por la quinona del ác. caftárico. El nivel máximo de ác. caftárico quinona también disminuyó conforme la concentración de antocianinas se incrementó confirmando que las antocianinas reaccionan con las quinonas.

La primera reacción que permite el oscurecimiento depende de la naturaleza de la antocianina: antocianinas o-difenolicas se comportan más como un reductor mientras que las antocianinas no o-difenolicas actúan como nucleofílicas para producir productos de condensación de antocianinas - ácido. caftárico. Las antocianinas o-quinonas secundarias generadas por oxidación acoplada también forman productos de condensación. Una vez formados, todos los productos de condensación son rápidamente degradados a compuestos incoloros, por oxidación enzimática o por reacción con quinonas primarias o secundarias (Sarni y col., 1995).

Aunque las antocianinas no pueden ser degradadas por PPO, estas pueden ser oxidadas en la presencia de las orto quinonas del ácido caftárico generadas por la acción de PPO alterándose con ello el color de los productos que contienen este tipo compuestos. Este es otro ejemplo de reacciones acopladas (Cheyrier y col., 1994).

El tipo de fenoles presentes tiene un efecto importante en el desarrollo del color. Cheyrier y col., (1988), indicaron que la oxidación del ácido caftárico indujo muy poco cambio de color mientras que las soluciones que contenían catequinas fueron muy cafés. Este hecho sirve de base

para establecer un criterio para determinar el potencial de oscurecimiento de los productos; de acuerdo con esto, la presencia de flavonoides y en particular de los flavan 3 ol como la catequina y epicatequina pueden servir para indicar el potencial de oscurecimiento de los productos. En frutos de manzana, la capacidad de oscurecimiento esta dado por los flavan 3 ol y los derivados del ácido hidroxicinámico. Esta capacidad de oscurecimiento también está influenciada por la presencia del ión hierro dentro del sistema, estando directamente relacionado con la concentración de este metal.

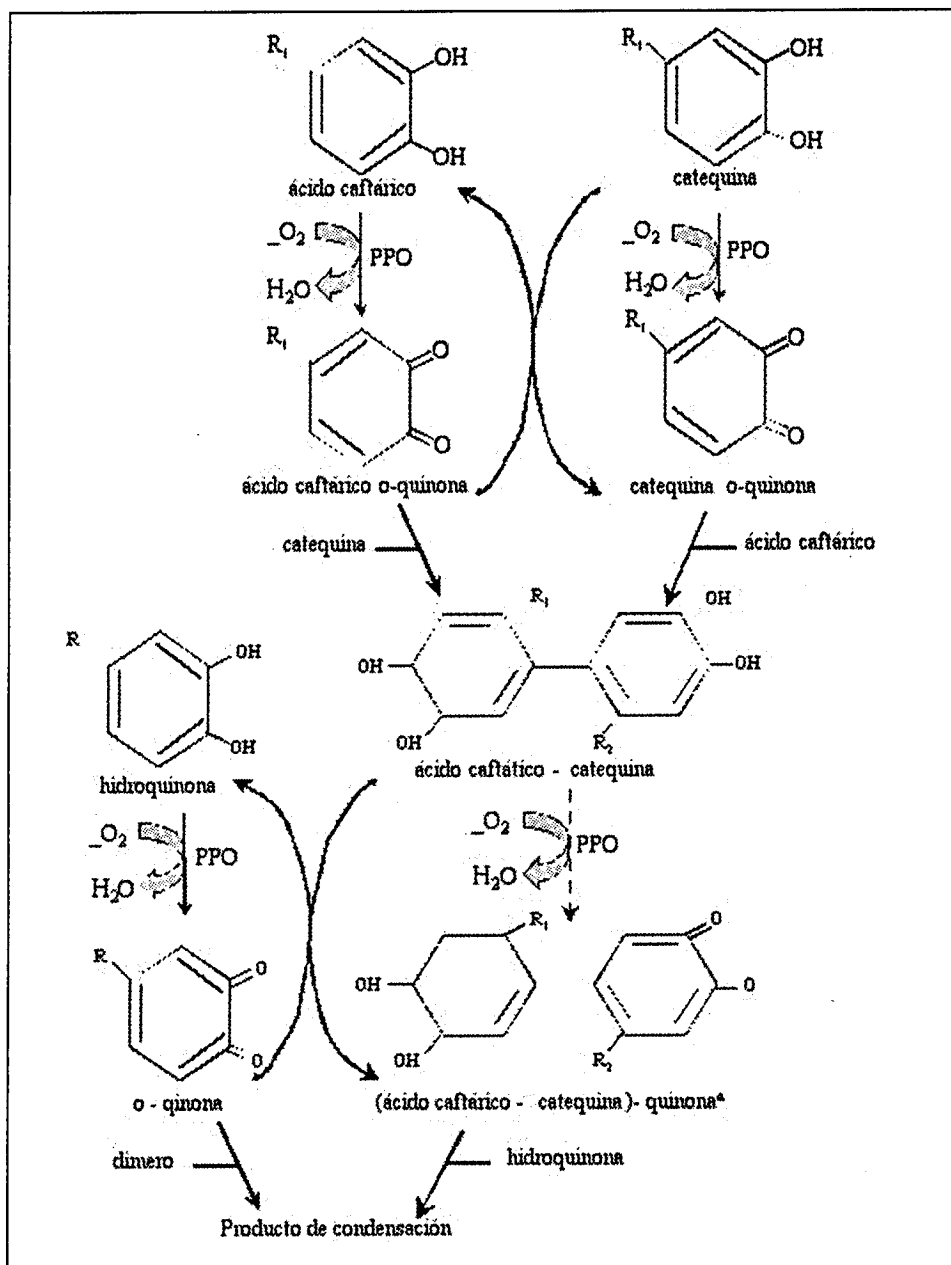


Figura 6. Oxidación enzimática de catequina y cafeoil tartárico por reacciones acopladas. Cheynier y Col. 1988.

Richard-Forget y col., (1995) estudiaron este mismo tipo de reacciones tomando como modelo el ácido clorogénico con epicatequinas en presencia de PPO. Encontrando que durante la reacción se formaron diferentes codímeros durante los primeros 20 minutos de reacción, estos fueron producto de la condensación del ácido clorogénico y la epicatequina. Uno de ellos fue sustrato para la enzima, pero los tres compuestos mostraron ser inhibidores competitivos de la enzima cuando se usó el metil catecol como sustrato, Sin embargo, mostraron una mayor afinidad por la enzima en comparación que el ácido clorogénico. Estos experimentos indicaron la reactividad de los compuestos formados mostrando que estos fueron capaces de reaccionar con los productos primarios de la reacción y por lo tanto influir en la coloración final del producto. También mostraron que el tipo de sustratos va a tener un efecto importante en la manifestación del color del producto.

Esta opinión lleva a la idea de que el oscurecimiento diferencial presentado por diferentes productos tolerantes y no a las bajas temperaturas pueda, en parte, deberse a una composición diferente de los fenoles presentes en el tejido en particular a la presencia de flavonoides.

## CONTROL DEL OSCURECIMIENTO ENZIMÁTICO

**Compuestos antioxidantes.** Uno de los procedimientos tecnológicos a los cuales se ha recurrido para disminuir el impacto o tratar de controlar las reacciones de oscurecimiento es el uso de compuestos que inhiben la actividad de la enzima Polifenol oxidasa (PPO), sin embargo, solo un número limitado de ellos se consideran seguros a la salud y accesibles económicamente (Lee y Whitaker, 1995). Se ha observado que materiales de una misma especie o género presentan distinta susceptibilidad al desarrollo del oscurecimiento. Estos materiales podrían servir como modelos de estudio para indagar algunas de las causas básicas que generan este problema, lo cual daría un mejor entendimiento de los mecanismos involucrados en el proceso.

Singleton y Cillers (1995) trabajando con sistemas modelo de PPO de uvas sobre ácido cafeico; indicaron que el proceso de oscurecimiento no se ve incrementado cuando se añaden aminoácidos pero que la adición de flavan 3 ol, catequinas y sus derivados incrementa la capacidad de oscurecimiento. Estos mismos autores señalaron que la presencia de antioxidantes en el sistema como el glutatión inhibe el oscurecimiento pero que no inhibe la actividad de PPO y que este compuesto parece actuar a nivel de la oxidación de los fenoles atrapando las quinonas y así compitiendo con las posteriores reacciones dependientes de las quinonas, por lo que la polimerización se limita con la presencia del glutatión.

Estos mismos autores indicaron que en la oxidación de ácido caféico en presencia de tirosinasa, la presencia tanto de ácido ascórbico como de glutatión reducido lleva a un mayor consumo de oxígeno en la reacción, siendo especialmente notable la absorción de oxígeno cuando se añade ácido ascórbico mientras que con glutatión reducido llega a un nivel máximo y a partir de ahí la absorción de oxígeno no cambia. Es bien conocido que el ácido ascórbico reduce las quinonas regresándolas a su forma de hidroquinona la cual es reoxidada por PPO lo que incrementa el consumo de oxígeno en esta reacción. Este es el caso de una reacción acoplada con el efecto neto

que el ácido ascórbico se oxida en lugar del fenol hasta que el ascórbico se consume. También indicaron que el glutatión evita la destrucción de PPO a través de las quinonas producidas.

Este aspecto lleva nuevamente a reforzar la idea respecto de que la disminución en compuestos antioxidantes puede facilitar la oxidación de los fenoles facilitando la formación de compuestos coloridos como ocurre durante el almacenamiento refrigerado de distintos productos que presentan daño por frío..

Si se analiza la reacción de PPO a través de los cambios de coloración del medio de reacción se podría pensar que los antioxidantes inhiben la reacción de oxidación de los fenoles y no la actividad de la enzima. Si embargo, cuando se evalúa la actividad de PPO en base al consumo de oxígeno se percata que lejos de disminuir el consumo de oxígeno aumenta.

Sin embargo, Osuga y Whitaker (1995) informaron que PPO es inactivada durante la conversión de sustratos por el ácido ascórbico, el ditrioteitol y bisulfito de sodio. Que la inactivación por sustratos lleva a la pérdida de cobre y de histidina del sitio activo a través de un radical libre intermediario. El ascorbato destruye aeróbicamente los residuos de histidina liberando cobre y que el bisulfito de sodio parece reducir el sitio activo de  $Cu^{+2}$  a  $Cu^{+}$  el cual se pierde más rápidamente de PPO. De acuerdo con estos resultados la acción del ácido ascórbico es doble ya que regenera los fenoles a partir de las quinonas formadas por PPO pero también inhibe la actividad de la enzima.

El glutatión reducido no actúa por el mismo medio que actúa el ácido ascórbico ya que la absorción de oxígeno llega a un máximo y se mantiene. Singleton y Cillers (1995) sugieren que el glutatión tiene dos efectos; el primero de ellos es convertir la quinona del ácido caféico a un producto de reacción del glutatión (GRP) o 2S glutationil caféico y así terminar la reacción hasta que se consuma el caféico y el segundo es el prevenir la destrucción de la enzima causada por la reacción con las quinonas. Este último aspecto lo comprobaron mediante la adición de albúmina bobina al sistema sin glutatión donde observaron que ésta incrementó la acción de PPO notablemente y que la presencia del glutatión previno el oscurecimiento.

En el proceso de oxidación del ácido gálico por PPO se elimina  $CO_2$ , la presencia de glutatión disminuyó el consumo de oxígeno a cerca de la mitad del necesario para producir la quinona y eliminó la producción de  $CO_2$ , en este caso se piensa que el glutatión atrapa la quinona del ácido gálico y minimiza la dimerización. De una manera similar, la oxidación de la catequina ocurrió con un mayor consumo de oxígeno en la presencia de glutatión. Esto soporta la idea de que el glutatión reducido inhibe el proceso de polimerización de las quinonas.

En la degradación de antocianinas catalizadas por PPO en presencia de ácido caftárico, la presencia de ácido ascórbico, retrasó la oxidación del ácido caftárico e incrementó el consumo de  $O_2$  en un átomo por molécula de ácido ascórbico y la degradación del ascórbico toma lugar durante la primera etapa de la reacción, en forma simultánea, las quinonas formadas son instantáneamente reducidas por el ácido ascórbico.

**Inhibición de o-difenoloxidasas por sustratos análogos.** Se ha encontrado que varios ácidos cinámicos son potenciales inhibidores de la actividad de la PPO. Su actividad inhibitoria disminuye

en el siguiente orden: ác. cinámico > ác. p-cumárico > ác ferúlico >ác. m-cumárico>ác. o-cumárico>>ác. benzoicos. Pareciera que la cadena lateral insaturada de los ác. cinámicos fuera esencial para inhibir la acción de la enzima; la cantidad exacta del inhibidor requerido dependerá del nivel de fenoles de fruto o variedad en particular, pero se ha estimado que se requieren menos de 10 ppm para prevenir el oscurecimiento en jugo de uva. Sin embargo, no se ha investigado su posible toxicidad y estos compuestos son caros.

Se ha sugerido el uso de la enzima O-metil transferasa para convertir el sustrato o-dihidroxifenol al correspondiente derivado metoxi, pero este proceso no parece ser económico para usarse a gran escala.

**Métodos físicos.** La modificación de la atmósfera, tal como el incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> y/o la disminución de O<sub>2</sub>, ha mostrado retrasar el oscurecimiento enzimático. Sin embargo, cuando los niveles de estos gases no son adecuados se puede dañar al producto por inducción del metabolismo anaerobio, lo cual produce olores y sabores desagradables (Kader, 1986).

Sin embargo el mantener los niveles bajos de oxígeno, puede estar asociado a una inhibición del PPO debido a la limitación de uno de los sustratos de la reacción (Larrigaudiere y col., 1998).

El monóxido de carbono también puede inhibir el oscurecimiento, sin embargo para su utilización se requiere extremar medidas para la seguridad de los trabajadores en la planta (Laurila et al., 1998).

## HARINOSIDAD DE PRODUCTOS DE FRUTAS

El desarrollo de esta fisiopatía es una de las manifestaciones de los daños por frío, se caracteriza por una falta de jugosidad de la fruta, una textura seca y pérdida de su crujencia, además de la presencia de oscurecimiento. También se supone que hay una alteración de la membrana con sus consecuentes alteraciones en los procesos de difusión a través de ella. No obstante, también se presentan cambios fisiológicos que terminan en la pérdida de la integridad estructural del producto.

Se reporta que la incidencia de esta fisiopatía esta asociada al tipo de producto, variedad y condiciones de almacenamiento, pero también se presenta una mayor incidencia en los frutos de tipo tardío los cuales también tienen una vida de anaquel más corta (Luza y col., 1992 y King y col., 1989).

**Descripción citológica.** Una vez que aparece el daño, las células del mesocarpo aparecen retorcidas con expansiones de los espacios intracelulares que causan separación de las paredes celulares adjuntas. Estas paredes empiezan a engrosar irregularmente, algunas veces llegan a tener 2 a 3 veces el espesor de una pared normal. También se presenta una separación de la membrana plasmática de la pared celular, una desintegración de la vacuola y una completa desorganización del citoplasma.

Se ha sugerido que la harinosidad se relaciona con la separación de la lámina media sin una degradación extensiva de la pared celular. Los espacios intercelulares se caracterizan por la presencia de sustancias pécticas amorfas y polisacáridos. Por estas observaciones, se supone que el problema de harinosidad se debe a la presencia de sustancias pécticas de bajo metóxilo de alto peso molecular formadas por la acción de PME. Esto involucra que algún tipo de síntesis de pared celular ocurre durante el daño. También se demostró que hay una deposición de celulosa con lo que la celulosa no disminuye durante el proceso de maduración a pesar de la presencia de celulasas.

Debido a estos factores, Luza y col., (1992) establecieron que los cambios estructurales debidos a este fenómeno estaban relacionados al hinchamiento de la pared celular, pérdida de cohesión de la pared, desarrollo de una matriz intercelular con nuevos carbohidratos y pectinas y aparente síntesis de pared celular. No obstante, Hobbs y col., (1991) no encontraron diferencias en los tamaños moleculares de los polímeros pécticos aislados de nectarinas con y sin harinosidad, indicando que la depolimerización de la pectina no esta directamente involucrada en la generación de esta fisiopatía, pero si encontraron un mayor contenido de xylosa en las fracciones solubles al carbonato.

De una forma coincidente Harker y Hallet (1992) establecieron que la harinosidad, para el caso de manzana, estaba relacionada con la separación de las paredes celulares de las células y con una mayor fuerza de tensión en el tejido.

Valero y col., (1997). Encontraron que el desarrollo de la harinosidad en duraznos estuvo relacionada a la temperatura de almacenamiento (5°C) y al estado de madurez,; y que aquellos frutos que mostraron desarrollo de harinosidad también mostraron un incremento en la producción de espermidina sin aportar datos sobre su interrelación.

Los resultados aquí señalados permiten observar que aún se requiere de realizar más investigación para encontrar una explicación consistente al problema de harinosidad en los frutos que sufren esta fisiopatía.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Amiot, M.J., Tacchini, M., Aubert, S. y Oleszek, W. 1995. Influence of cultivar, maturity stage, and storage conditions on phenolic composition and enzymatic browning of pear fruits. *J. Agric. Food Chem.* 43: 1132-1137.
- Amiot, M.J., Tacchini, M., Aubert, S. y Nicolas, J. 1992. Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *J. Food Sci.* 57: 958-962.
- Bachem, C.W.B., Speckmann, G.J. y Zabeau, M. 1994. Antisense expression of polyphenol oxidase genes inhibits enzymatic browning in potato tubers. *Biol. Technology.* 12: 1101-1105.
- Bramlage W. J. y Meir S. 1990. Chilling Injury of Temperate Origin. En Wang Ch. Y. (Ed.) *Chilling Injury of Horticultural Crops.* CRC Press. Boca Raton Fld.USA. p. 37 - 50
- Cheyrier, V.F. y Ricardo da Silva, J.M. 1991. Oxidation of grape Procyanidins in model solutions containing trans-caffeoyltartaric acid and polyphenoloxidase. *J. Agric. Food Chem.* 39: 1047-1049.
- Cheyrier, V.F y Van Hulst, M.W.J. 1988. Oxidation of trans- Caftaric Acid and 2-S- gluationylcaftaric Acid in Model Solutions. *J. Agric. Food Chem.* 36: 10-15.

- Cheyrier, V.F., Basire, N. y Rigaud, J. 1989. Mechanism of trans-Caffeoyltartaric acid and catechin oxidation in model solutions containing grape polyphenoloxidase. *J. Agric. Food Chem.* 37: 1069-1071.
- Cheyrier, V., Souquet, J.-M., Kontek, A. y Moutounet, M. 1994. Anthocyanin degradation in oxidising grape Musts. *J. Sci. Food Agric.* 66:283-288.
- Cheyrier V. H. Fulcrand, Guyot, S., Oszmianski J. y Moutounet M.. 1995 Reactions of Enzymically quinones in relation to browning in grape musts and wines. En C. L. Lee y Whitaker R. J. (Editores) *Enzymatic Browning and its prevention*. ACS. Washington D.C p 130 - 143.
- Cheyrier, V., Osse, C. y Rigaud, J. 1988. Oxidation of grape juice phenolic compounds in model solutions. *J. Food Sci.* 53(6): 1729-1732.
- Harker F.R. y Hallett I.C. 1992. Physiological changes associated with development of mealiness of apple fruit during cool storage. *HortScience* 27(12): 1291 - 1294
- Kader A.A. y Mitchell G. 1989. Postharvest Physiology. En LaRue J.H. y Scott-Johnson R. (Eds) *Peaches, Plums and Nectarines. Growing and handling for Fresh Market*. Publicación 3331 Universidad de California. Davis CA. p 158 - 164.
- Kader, F., Rovel, B., Girardin, M. y Metche, M. 1997. Mechanism of Browning in fresh highbush blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L.). Role of Blueberry polyphenol oxidase, chologenic acid and antocianins. *J. Sci. Food Agric.* 74:31-34.
- Kays J.S. 1991. Postharvest physiology of perishable plant products. Van Nostrand Reinhold. New York. p 335 - 408.
- King, G.A., Henderson K. G. y Lill R.E. 1989. Ultrastructural changes in the nectarine cell wall accompanying ripening and storage in a chilling-resistant and chilling sensitive cultivar. *N.Z. J. Crop Hort. Sci.* 17: 337- 344.
- Larrigaudiere, C., Lenthéric, I. y Vendrell, M. 1998. Relationship between enzymatic browning and internal disorders in controlled-atmosphere stored pears. *J. Sci. Food Agric.* 78: 232-236.
- Laurila, E., Kervinen, R. y Ahvenainen, R. 1998. The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits. *Postharvest news and information.* 9(4): 53N-66N.
- Lax A.R. y Cary J. W. 1995. Biology and Molecular Biology of Polyphenol Oxidase. En C. L. Lee y Whitaker R. J. (Editores) *Enzymatic Browning and its prevention*. ACS. Washington D.C p 120 - 129.
- Lee C.Y. 1991. Browning Reaction, Enzymatic. En *Encyclopedia of Food Science and Technology*. John Wille & Sons, Inc. New York. p 208- 218.
- Lee, C.Y., Kagan, V., Jaworski, A.W. y Brown, S.K. 1990. Enzymatic Browning in relación to phenolic compounds and polyphenoloxidase activity among various peach cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 38:99-101.
- Lerch K. 1995. Tyrosinase: Molecular and active-site structure. En C. L. Lee y Whitaker R. J. (Editores) *Enzymatic Browning and its prevention*. ACS. Washington D.C p 64-80.
- Lill R.E., O'Donoghue E.M. y King G.A. 1989. Postharvest Physiology of Peaches and Nectarines. *Horticultural Reviews.* 11: p 413 - 452.
- Luza J.G., van Gorsel R., Polito V.S. y Kader A.A. 1992. Chilling injury in peaches: A Cytochemical and ultrastructural cell wall study. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(1): 114-118.
- Macheix, J.J., Fleuriet, A., Billot, J. 1990. *Fruit Phenolics*. CRC Press. Boca Ratón, FL. p 1-378.

- Marquez, L. Fleuriet A. y Macheizx 1995. Fruit Polyphenols oxidases. En C. L. Lee y Whitaker R. J. (Editores) Enzymatic Browning and its prevention. ACS. Washington D.C p 90-102.
- Ose K., K Chachin y Imahori Y.. 1995. Browning Mechanism of Water Convoulvus (*Ipomoea aquatica*) Stored at Low Temperature. En C. L. Lee y Whitaker R. J. (Editores) Enzymatic Browning and its prevention. ACS. Washington D.C p 178 - 187.
- Oszmianski, J. y Lee, C.Y. 1990. Ezymatic oxidative reaction of catechin and Chlorogenic acid in a model system. *J. Agric.Food Chem.* 38: 1202-1204.
- Radi, M., Mahrouz, M., Jaouad, A., Tacchini, M., Aubert, M., Hugues, M. Y Amiot, M.J. 1997. Phenolic composition, browning susceptibility, and carotenoid content of several apricot cultivars at maturity. *HortScience* 32(6):1087-1091.
- Richard-Forget F., Amiot M.J., Goupy P. y Nicolas P. 1995. Evolution of chlorogenic acid o quinones in model solutions. En C. L. Lee y Whitaker R. J. (Editores) Enzymatic Browning and its prevention. ACS. Washington D.C p 144 - 156
- Richard-Forget, F.C. y Gauillard, F.A.. 1997. Oxidation of Chlorogenic acid, catechins, and 4-methylcatechol in model solutions by combinations of pear (*Pyrus communis* Cv. Williams) polyphenol oxidase and Peroxidase: A Possible Involvement of peroxidase in enzymatic browning. *J. Agric.Food Chem.* 45: 2472-2476.
- Sarni, P., Fulcrand, H., Souillol, V., Souquet, J-M. y Cheynier, V. 1995. Mechanisms of anthocianin degradation in grape must-like model solutions. *J Sci Food Agric* 69: 385-391.
- Sherman T.D., Le Gardeur T.. y Lax A.R 1995. Implications of the phylogenetic distribution of polyphenol oxidase in plants. En C. L. Lee y Whitaker R. J. (Editores) Enzymatic Browning and its prevention. ACS. Washington D.C p 103-119
- Singleton V. L. y Cillers J.J.L. (1995) Phenolic browning: A perspective from grape and wine research. En C. L. Lee y Whitaker R. J. (Editores) Enzymatic Browning and its prevention. ACS. Washington D.C p 23 - 48.
- Vamos-Vigyazo, L. 1981. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr* 15: 49-127.
- Walker, J.R. 1995. Enzymatic browning in fruits its Biochemistry and control. En *Enzymatic Browning and its prevention*. ACS Symposium Series 600, Washington D.C. p. 8-22.
- Wang C.Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. *HortScience* 17:173-186
- Whitaker J. R. y Lee C. Y. 1995 Recents advances in chemistry of enzymatic browning. An overview. En Lee C. L y Whitaker R. J. (Editores) *Enzymatic Browning and its prevention*. ACS. Washington D.C p 2-7

# FACTORES DE PRECOSECHA QUE AFECTAN LA CALIDAD

**Ma. Eugenia Salvador**

*Ing. Agr. Mg. Cs. INTA Alto Valle, C.C. 782. C.P. 8332 Gral. Roca,  
Río Negro, Argentina. Email: mesalvador@inta.gov.ar*

---

## INTRODUCCIÓN

La calidad del producto cosechado es determinada por un conjunto de condiciones prevalecientes durante la etapa de producción de éste. Dichas condiciones de precosecha (cultivar, patrón, clima, suelo, manejo del cultivo, etc.) definen la calidad del producto al momento de la cosecha, condicionando los requerimientos de manejo poscosecha de éstos y su calidad de conservación. (Toledo, 1993).

### Concepto de calidad

La calidad se define en función del uso que el producto tendrá como destino. Las normas de atributos de calidad de un producto, deben definirse, por lo tanto, al momento de la venta en fresco, del almacenamiento, del transporte o de la industrialización. La venta de frutas y hortalizas frescas exigen que estas despierten la atracción del consumidor cuyas preferencias por un determinado tipo, y en definitiva cuyo juicio acerca de la calidad de un determinado producto, se ven fuertemente condicionados por la tradición (Wills y Lee, 1984).

Los atributos que componen la calidad son, apariencia, tamaño, forma, color, defectos, sabor y factores nutricionales.

### Factores de precosecha que afectan la calidad.

**Clima.** Las condiciones ambientales son de gran importancia cuando se relacionan con la producción, aunque son uno de los factores más difíciles de modificar, ya que dependen de elementos difícilmente controlables por el hombre (Herrero y Guardia, 1992)

**Luz .** En general, cuando el ambiente ofrece una gran radiación solar, influye dando una mayor calidad de fruto.

La luz tiene gran importancia en el desarrollo y calidad de los frutos, en algunos se encontró que la actividad fotosintética, del mismo fruto contribuye directamente en su composición química (Gross, 1987).

En duraznos el sombreado demora el color rojo y sólidos solubles (Byers et al 1984). Smock (1953), encontró en manzanas cv. Mc Intosh que las radiaciones solares intensas durante las últimas

seis semanas de la estación de crecimiento da lugar a frutos con mayor contenido de sólidos solubles, pulpa más firme y menor susceptibilidad a la enfermedad del brown core.

La alta insolación puede producir una quemadura ulcerosa (asoleado) común en manzanas, peras y ciruelas (Gil-Albert 1992). La firmeza de pulpa está significativamente relacionada al porcentaje de densidad de incidencia de flujo de fotones fotosintéticos, pero los modelos varían para los períodos de sombreamiento (Marini et al, 1991).

En un estudio realizado comparando frutos provenientes de una zona interior del árbol (baja insolación) y los provenientes de una zona exterior (alta insolación), puestos ambos en conservación frigorífica, se observó que los frutos de la zona exterior son más sensibles a podredumbres y al bitter pit; mientras que los provenientes de una zona interior tienen mayor sensibilidad a podredumbres internas (Herrero y Guardia, 1992).

**Temperatura.** Este parámetro es muy influyente ya que, afecta la velocidad de los procesos metabólicos, en el rango fisiológico de temperatura, aumenta exponencialmente al crecer ésta (Wills y Lee, 1984).

La forma de los frutos se ve afectada por la temperatura, en manzanas se observó que bajas temperaturas nocturnas estaban asociadas a una menor relación largo/diámetro ecuatorial (Tukey, 1960). Con mayores temperaturas los frutos de duraznero presentan un alargamiento, con un mayor desarrollo de la protuberancia apical y una prominente sutura (Koffmann et al., 1992, Salvador et al 1996) al igual que en pomelos que, con altas temperaturas se producen frutos alargados por excesiva división celular del albedo (Davies y Albugo, 1994).

La coloración de manzanas en desarrollo en el árboles es exaltada por temperaturas nocturnas de 7-10 °C y temperaturas diurnas de 18 - 24 °C, sugiriendo que bajas temperaturas permiten alta acumulación de carbohidratos en la epidermis del fruto (Creasy, 1969).

La coloración de las naranjas también esta relacionada con la temperaturas considerándose la mejor combinación para optimizar la coloración, una temperatura de aire nocturna de 15 °C y 12°C en el suelo (Le Vern et al., 1961).

Las bajas temperaturas producen en duraznero pequeñas hendiduras, manifestándose más tarde, a veces, hendiduras mayores aunque esto último es menos frecuente (Tabuenca, 1965), las grietas se suberifican y toman un aspecto de color pardo, la lesión puede ser solamente superficial o penetrar en el mesocarpo, de tal manera que el fruto en su desarrollo posterior se deforme (Gil-Albert 1992).

Las altas temperaturas nocturnas (25 °C) en cerezas, producen frutos pobremente coloreados y con menor contenido de sólidos solubles, comparado con frutos producidos con noche frías (10 °C) (Tukey, 1952).

Las temperaturas altas en el verano, del orden de los 40 °C, son desfavorables para el damasquero, pues causa el "pit burn", ablandamiento y oscurecimiento de la carne alrededor del carozo, que deprecia los frutos al afectar su calidad, igualmente temperaturas no tan elevadas pueden originar este desorden en árboles excepcionalmente vigorosos o con alto contenido de nitrógeno (Hesse, 1952).

Diversos autores han puntualizado la influencia de las temperaturas precosecha sobre el desarrollo de la escaldadura superficial en manzana, es importante el contraste día noche, en particular las condiciones climáticas de las 4 y 6 semanas que preceden a la cosecha (Torrellardona, 1983). Bajas temperaturas antes de la cosecha inducen resistencia a la escaldadura superficial en manzana, considerando temperaturas menores a 10 grados, inclusive sirve como parámetro para predecir la aparición de este desorden (Bramlage et al, 1989)

Las temperaturas adversas durante las primeras semanas después de la floración provocan la aparición de la rugosidad en la epidermis de manzanas cv. Golden, particularmente consecuencia de temperaturas y humedades bajas (Herrero y Guardia, 1992).

**Precipitaciones.** Es evidente que las precipitaciones pueden provocar irregularidades en la alimentación hídrica de los árboles e incidir indirectamente sobre ciertas alteraciones de conservación. Los años lluviosos son desfavorables a una larga conservación y predisponen los frutos a las alteraciones fúngicas (Herrero y Guardia, 1992).

Cuando la fruta está próxima a la madurez, lluvias después de un período de sequía provocan la absorción intensa de agua, que se acumula en los frutos, si la epidermis no es muy elástica, se producen grietas casi siempre próximas a la fosa calicinal. En algunos casos las grietas son muy aparentes, con tamanos hasta de un centímetro o mayores, con lo que los frutos quedan totalmente depreciados. En otros casos, durante largos períodos de lluvia o zonas muy húmedas se forman grietas microscópicas, muy numerosas, que luego se suberizan, formando manchas que dan al fruto el aspecto de piel plata (Gil-Albert, 1992).

En manzanos, los frutos desarrollados de árboles privados de agua durante las últimas semanas de vegetación no desarrollan plenamente su calidad y son particularmente sensibles al bitter-pit (Herrero y Guardia, 1992).

**Viento.** El viento produce el roce de las hojas y ramas con el fruto produciendo heridas muy pequeñas que cicatrizan dejando la piel del fruto russeteada (Torrellardona, 1983).

## CARACTERÍSTICAS VEGETALES DEL CULTIVO

**Variiedad.** Las características fisiológicas inherentes a la variedad desempeñan un rol fundamental de los frutos en la conservación (Herrero y Guardia, 1992).

La sensibilidad a desórdenes fisiológicos; el período idóneo de frigoconservación, la resistencia al manipuleo, la sensibilidad o resistencia a enfermedades, son todas características dependientes de la genética del producto.

**Porta injerto.** La influencia del patrón en la duración del ciclo vegetativo de la variedad condiciona el crecimiento de los frutos y la maduración de éstos. La composición mineral de los frutos también es diferente según el patrón (Herrero y Guardia, 1992).

En manzanas, si se exceptúa el patrón M-2, los demás patrones parecen inducir tanta más coloración cuanto más débil es el patrón. (Torrellardona, 1983).

Los patrones débiles dan frutos más dulces. Estos patrones también inducen a la precocidad, pero estos frutos tienen una vida más corta en la conservación frigorífica, como en consecuencia, de su mayor tamaño (Herrero y Guardia, 1992). Los frutos de mayor tamaño pueden favorecer la aparición de diversas fisiopatías destacando el decaimiento interno y Bitter-pit en manzanas y litiasis en peras (Torrelladorna, 1983).

**Edad del árbol.** Un fruto proveniente de un árbol joven es más sensible a las alteraciones de conservación que uno proveniente de un árbol viejo. La sensibilidad a podredumbres es mayor en uno proveniente de una plantación vieja. Los árboles jóvenes presentan mejores calibres (Herrero y Guardia, 1992).

**Polinización.** Una adecuada polinización induce a un crecimiento homogéneo de todos los frutos, obteniéndose calibres idénticos y maduración simultánea. Un fruto con una gran cantidad de semillas tiene mayor calibre; mayor peso; mayor cantidad de materia seca, menor extensión e intensidad de la rugosidad en la epidermis; forma regular. (Herrero y Guardia, 1992).

La forma en pomáceas condiciona lo atractivo de la fruta, estando ésta condicionada con el número de semillas que presenta el fruto (Torrelladorna, 1983).

Durante la conservación un fruto con una gran cantidad de semillas tendrá una menor deshidratación e incidencia de bitter-pit (Herrero y Guardia, 1992).

Entre las características de los frutos parcialmente polinizados están la asimetría, retardo de la hidrólisis de almidón, mayor dureza de pulpa, maduración irregular etc.

## TÉCNICA DE PLANTACIÓN

**Densidad de plantación.** La mayor densidad de plantación asegura una producción más abundante, pero la calidad sufre una pérdida debido a una escasa iluminación y el insuficiente aporte nutritivo (Herrero y Guardia, 1992).

**Sistema de conducción.** La forma de conducción debe asegurar un equilibrio entre vegetación y producción, evitar la formación de frutos excesivamente grandes o muy pequeños, obteniéndose una buena calidad para la conservación. Con una poda racional se mejora la iluminación, en consecuencia, se incrementa el calor, elevándose el contenido en materia seca. Los frutos de excesivo calibre en árboles de poca cosecha, ya sea por poda, por aclareo, por vecería o por heladas, son más sensibles a las alteraciones de conservación y a podredumbres. La escasa calidad es debida a una excesiva relación hoja fruto (Herrero y Guardia, 1992).

Con el aclareo, operación complementaria a la poda, se intenta conseguir una adecuada relación hoja fruto. Si la relación es adecuada permite obtener frutos más coloreados, así como una menor sensibilidad al escaldado. Si la relación es elevada, en manzanas Golden y Starking, se favorece el bitter-pit (Herrero y Guardia, 1992).

**Control fitosanitario.** Muchos de los problemas fúngicos que se expresan en poscosecha provienen de contaminaciones en el campo como *Monilinia fructicola*; *Botrytis cinerea*, *Mucor piriformis*; *Alternaria alternata*; *Penicillium expansum*; etc. (Ogawa and English, 1991)

La eficacia de la acción de los tratamientos preventivos de los ataques de los hongos y curativos de los ataques de los insectos es un factor importante para mejorar la calidad y obtener una buena frigoconservación, estando el fruto presentable a la salida de ésta (Herrero y Guardia, 1992).

La acción de los fitofármacos todavía no es conocida totalmente pero normalmente repercuten en una acción del metabolismo de la planta y del fruto con el consiguiente efecto indirecto sobre la calidad y la frigoconservación. Los fitofármacos pueden modificar: las características exteriores (color y rugosidad), los componentes químicos (acidez y azúcares), los componentes físicos (firmeza), la maduración (acción de estímulo o retardo). (Herrero y Guardia, 1992).

La aplicación de Captan favorece el escaldado en manzana, mientras que el Dodine lo reduce. El metiltiofanato retrasa la degradación de clorofila, por lo que indirectamente favorece la escaldadura (Torrellardona 1983).

En general los insectos y arácnidos causan pequeños daños que se cicatrizan quedan la superficie afectada russeteada, esto trae aparejado una mayor pérdida de agua en poscosecha.

La concentración de residuos de plaguicidas en los frutos son cada vez más un parámetro de calidad alimenticia de los frutos, por lo que las prácticas culturales utilizada para el control fitosanitario influyen directamente en la calidad.

## **FACTORES NUTRICIONALES**

El calcio y el nitrógeno, en frutales de pepita y carozo, son los dos elementos que mayor influencia ejercen. Del resto poco se sabe, pero se debe convenir que actúan indirectamente en la fisiología del árbol (Sánchez, 1999)

**El calcio**, es el elemento más crítico como determinante de la calidad. Son numerosas las asociaciones entre este elemento y los desórdenes fisiológicos en la fruta de pepita, así como también es conocido su rol preponderante en mantener la firmeza del fruto y optimizar la conservación (Sánchez, 1999).

En Manzanas el Bitter-pit fue el primer desorden relacionado con bajos contenidos de calcio en el fruto, más tarde se diferenció la mancha corchosa (cork spot), también asociada a bajos niveles de calcio en fruto, por otro lado los frutos con menores niveles de calcio tienen a madurar más rápido, lo cual causa un aumento de la incidencia de corazón acuoso y como consecuencia de esto una menor vida poscosecha (Bramlage 1995).

El nivel de calcio esta negativamente correlacionado con la escaldadura en manzana (Sánchez, 1999). El decaimiento interno por senescencia está inversamente correlacionado con los niveles de calcio en el fruto esto se observa no sólo entre frutos sino en las distintas zonas del fruto. (Perring, 1989)

Las peras son también susceptibles a desórdenes causados por deficiencias en de calcio, estas presentan desórdenes como mancha corchosa, verdeamiento (alfalfa greening) en Anjou y ápice negro (black end) en Bartlett (Bramlage 1995).

**El nitrógeno**, desde el punto de vista de la calidad del fruto, juega un rol principal tanto en frutales de pepita como de carozo. El nitrógeno, al ser el nutriente determinante del vigor del árbol, causa desequilibrios entre el crecimiento de los brotes y de los frutos (Sánchez, 1999).

En manzanos cuando se abona excesivamente con nitrógeno o se aplica tardíamente, favorece la acumulación de clorofila en detrimento de la pigmentación antocianica, esto causa disminución en el color favoreciendo la escaldadura (Torrellardona, 1983).

Altos niveles de nitrógeno estimulan el crecimiento vegetativo, éste absorbe el calcio disponible en el árbol, disminuyendo la disponibilidad de los frutos, lo que trae aparejado desórdenes por falta de calcio (Bramlage 1995).

En nectarines y duraznos, altos niveles de nitrógeno producen un retraso en la maduración y una disminución del color rojo (LaRue y Jonson, 1989).

En damascos la fertilización nitrogenada incrementa la concentración de nitrógeno en el fruto favoreciendo una fisiopatía conocida como pitburn (Sánchez, 1999)

**Otros minerales**, deficiencias de fósforo producen frutas más coloreadas, maduran antes pero muestran defectos en la superficie y pobres en calidad alimenticia (LaRue y Jonson, 1989).

Las contaminaciones con metales (Cobre, Hierro, Aluminio) promueven la manifestación de entintado (inking), provenientes, entre otros, de productos químicos durante el crecimiento y maduración del árbol, como los fertilizantes foliares (Zoffoli, 1996)

Los árboles con deficiencias en potasio producen frutos pobres en color o falta de éste, tienen un aspecto de sucio color anaranjado (LaRue y Jonson, 1989).

Altas concentraciones de potasio, ácidos orgánicos y particularmente Mg y P incrementan la resistencia en manzanas Cox's Orange Pippin al decaimiento interno por bajas temperaturas (LaRue y Jonson, 1989).

La carencia del zink afecta drásticamente la producción produciendo frutos pequeños, elongados y deformes. (LaRue y Jonson, 1989).

La fertilización urea-boro disminuye significativamente la incidencia de bitter pit en cosecha y luego del almacenamiento en manzanas (Granelli y Ughini 1989)

La composición mineral al momento de la cosecha puede usarse como un predictor del potencial de almacenamiento en frutas, Manzanas cv. Jonagold con mayor contenido de fósforo, calcio y magnesio, menor relación K/Ca y peso fresco presentan menor incidencia de desórdenes fisiológicos durante el almacenamiento (Marcelle et al, 1989).

## BIBLIOGRAFÍA

- Bramlage W.; Meir, S.; A potencil method fro predicting susceptibility af apples to superficial scald. Acta Horticulturae 258, pag 365-372
- Bramlage W 1995. Calcio y desórdenes fisiológicos p 73-81.
- Byers, R. E.; Lyons, C. G.; Del Valle, T. B.; Barden, J. A. And Young, R. W. 1984. Peach fruit abscission by shading and photosynthetic inhibition. HortScience 19 (5): 694-651.

- Gil-Albert Velerda, F. 1992 La ecología del árbol frutal. Vol 2. Mundi-Prensa. Madrid España. 248 p.
- Granelli G. And Ughini, V. 1089. Harvest and postharvest apple influenced by boron application. *Acta Horticulturae* 258, pag 405-412.
- Gross, J 1987. Pigments in fruti. Academic Press INC. University of California. Davis California, U.S.A. 303 p.
- Herrero y Guardia, 1992 Conservación de frutos. Manual técnico. Edit Mundi-Prensa. Madrid España. 409p.
- LaRue y Jonson, 1989. Peaches, plums and nectarines growing and handling for fresh market. University of California. Publication. 3331. p.246
- Marini, P. R.; Sower, D. and Marini, M. C. 1991. Peach fruit quality affected by shade during final swell of fruit growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(3):383-389.
- Marcelle, R.D.; Porreye W.; Goffings G. Herregods, M. 1989. Relationship between fruit mineral composition and storage life of apple, cv. Jonagold. *Acta Horticulturae* 258, pag 373-378.
- Ogawa, J. And English, H. 1991. Diseases of temperate fruit and nut crops. University of California. Publication. 3345. 391p.
- Perring M. A. 1989. Apple fruit quality in relation to fruit chemical composition. *Acta Horticulturae* 258, pag 365-372.
- Marcelle, R.D.; Porreye W.; Goffings G. Herregods, M. 1989. Relationship between fruit mineral composition and storage life of apple, cv. Jonagold. *Acta Horticulturae* 258, pag 373-378.
- Salvador, M. E.; Lizana, L. A.; Alonso, E.; Loyola E. and Luchsinger L. 1997. Locality effect over some quality aspect in peaches and nectarines. *Acta Hoticuturæ* 465, Vol 2, p. 447-454.
- Sanchez, E. 1999. Nutrición mineral de fruta de pepita y carozo. Editado por I.N.T.A. Argentina. P.196.
- Smock, R. M 1953. Some effects of climateric during the growing season on keeping quality in prune tree canopies. *HortScience* 25(7):272-8.
- Toledo, J. 1993 Aspectos generales de manejo poscosecha de frutas y hortalizas. I Simposio Nac. De Tec. Poscosecha de frutas y hortalizas. Montevideo Uruguay. P.1-7.
- Torrellardona 1983 Manual de frigoconservación. Edit Aedos. España. P.369.
- Wills, R. H. y Lee, T. H. 1984. Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección. Edit. Acribia, S.A. España. 220p.
- Zoffoli, J. P. 1996. Los principales problemas de frutos de carozo: deshidratación, desarrollo de manchas, ablandamiento y falta de calidad organoléptica. I curso internacional de postcosecha. Colección Extemción. Univ. Cat. Chile. Cap. V.

# EFFECTO DEL ESTADO DE MADUREZ DE LOS FRUTOS A LA COSECHA SOBRE SU CONSERVACIÓN

**Ing. Agr. (Dra.) Albertina Guarinoni**

*Prof. Adjunto de Fruticultura Facultad de Agronomía - Universidad de la República.  
Av Garzón 780. 12.900 Montevideo. URUGUAY. E-mail graf@adinet.com.uy*

---

## INTRODUCCIÓN

Los frutos, en su condición de organismos vivos, continúan luego de la cosecha con una serie de actividades metabólicas, que pueden ser más o menos intensas dependiendo de sus características intrínsecas y del ambiente físico circundante.

Una manifestación fundamental del metabolismo del fruto lo constituye la emisión de calor y anhídrido carbónico como resultado de la respiración del mismo. De acuerdo con el patrón seguido por la respiración, los frutos se distinguen en climatéricos y no climatéricos. El climaterio es un período de actividad vital de algunos frutos durante el cual suceden una serie de cambios bioquímicos que se inician con la producción autocatalítica de etileno. Ésta a su vez involucra un incremento de la respiración, acelerando consecuentemente la maduración.

En el proceso de desarrollo y maduración, el fruto va adquiriendo atributos que determinan la calidad del mismo.

Inmediatamente luego de cosechado, sea por las altas temperaturas generalmente reinantes o por el stress propiamente dicho que representa la cosecha, los frutos -y también otros productos vegetales- soportan una elevadísima actividad metabólica que puede determinar su vida comercial.

La cosecha interrumpe la fuente de hidratación y alimentación del fruto. Es posible entonces establecer este evento como un punto crítico donde cesan las entradas metabólicas. De aquí en más el fruto debe mantener su metabolismo a expensas de sus propias reservas, por lo que tarde o temprano se produce el deterioro del mismo.

El grado de desarrollo y el nivel de atributos adquiridos por el fruto, -esto es el estado de madurez en el cual el fruto es cosechado- reviste gran importancia en su comportamiento postcosecha y determina en gran medida su potencial de almacenamiento. Del reconocimiento de este hecho surge la necesidad de utilizar índices de madurez no solamente para fijar el momento de cosecha, sino para evaluar el manejo postcosecha más adecuado en relación al fruto en cuestión y según el objetivo comercial perseguido.

## **DETERMINACIÓN DE LA MADUREZ**

En general los frutos inmaduros o cosechados precozmente tienen calibres menores, son mas consistentes, mas verdes, mas ácidos, menos dulces y menos aromáticos. Por el contrario los frutos cosechados tardíamente son de mayor calibre, mas coloreados, mas dulces, menos ácidos, menos consistentes y mas aromáticos.

Entre ambos estados fisiológicos es necesario establecer una madurez de cosecha tal, que permita la manipulación del fruto en las tareas de clasificación, empaque, transporte y muchas veces un período de conservación; y que a su vez alcance la máxima expresión organoléptica al momento del consumo.

Generalmente no resulta dificultoso identificar el estado óptimo de consumo, pero esta situación cambia cuando se trata de definir el estado óptimo de cosecha que permita transcurrir por la fase postcosecha y llegar con las máximas características al consumidor. En esta definición la utilización de índices de cosecha para cada especie y cultivar se hace imperante.

## **ANTAGONISMO ENTRE EL ESTADO DE MADUREZ Y LA FACILIDAD DE MANIPULACIÓN**

El estado de madurez a la cosecha influencia sea la calidad del fruto como la situación fitosanitaria condicionando, sobre todo en este último caso, la tecnología postcosecha y el éxito económico comercial. En consecuencia los índices de madurez utilizados no pueden prescindir de la evolución en el tiempo que tendrán las características cualitativas, y también la susceptibilidad que tendrán los frutos a enfermedades infectivas (podredumbres) y fisiopatías. Es oportuno remarcar que el estado de madurez a la cosecha no siempre satisface ambas exigencias. Muy frecuentemente ocurre que el tan buscado óptimo de calidad mercantil no coincide con la menor susceptibilidad a enfermedades, sino que por el contrario favorece la aparición de podredumbres y desórdenes fisiológicos. Desde este punto de vista la madurez de cosecha debe surgir de un compromiso entre estos dos objetivos antagónicos.

Por otra parte, como ya se ha expresado, la máxima expresión de las características organolépticas de muchos frutos, solo se expresa en un punto muy avanzado del proceso de maduración cuando el fruto ofrece una consistencia generalmente no adecuada para su manipulación.

## **PRINCIPALES FACTORES DE PÉRDIDAS POSTCOSECHA DEPENDIENTES DEL ESTADO DE MADUREZ A LA COSECHA**

### **Pérdida de peso**

La pérdida de peso de los frutos en la fase postcosecha está representada por pasaje del vapor de agua desde el fruto hacia el ambiente circundante. Este fenómeno ocurre por la transpiración y depende fundamentalmente de la temperatura del fruto, de la humedad relativa del ambiente y de las barreras naturales o artificiales que disponga éste para impedir esa pérdida de agua. La relación superficie/volumen del fruto, las características de la epidermis, la presencia y composición de las ceras naturales influyen directamente este proceso.

La tasa transpiratoria es elevada en los primeros estados de desarrollo del fruto y presenta una evolución siempre decreciente a medida que avanza la madurez. En muchos frutos, la tasa transpiratoria en postcosecha depende del estado de maduración en el cual es cosechado.

El racimo de uva, es un ejemplo en el cual pueden ocurrir serias pérdidas de agua luego de la cosecha, causando desecamiento y amarronamiento del raquis, ruptura y desprendimiento de las bayas. El grosor de la cáscara, la cantidad y tipo de pruina, grado de lignificación y abundancia de estomas y lenticelas en el raquis, son barreras naturales a la pérdida de agua por transpiración.

Las cosechas tempranas pueden determinar un mayor grado de deshidratación del raquis de los racimos de uva de mesa, desmereciendo su calidad y acortando el período de conservación. La cosecha en un estado de mayor lignificación del raquis, es por este motivo recomendado.

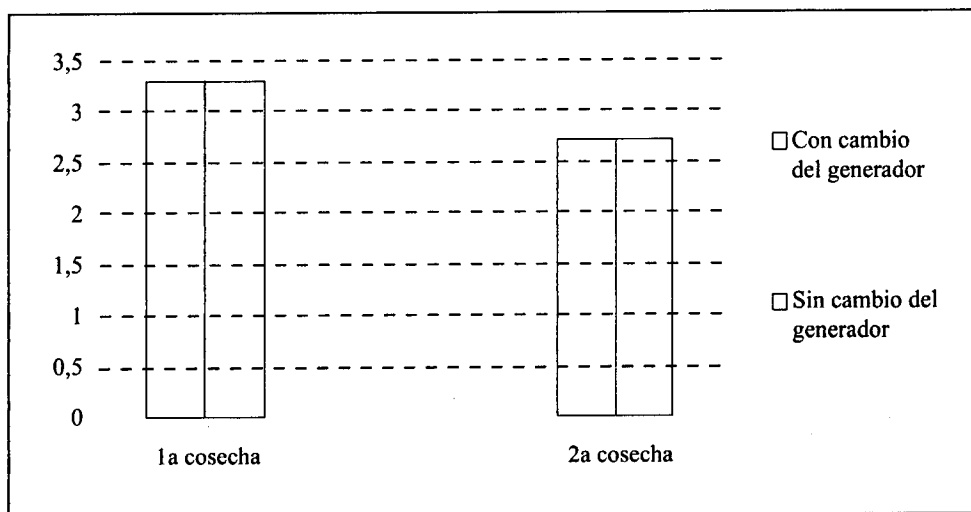


Figura 1. Grado de deshidratación del raquis del cv *Moscatel de Hamburgo* según el estado de madurez conservada durante 120 días (de Abreo & Perugorria, 1996).

Sin embargo, en frutos como los duraznos que presentan -cerca de la madurez- una elevada tasa metabólica, la pérdida de peso parece ser mayor cuanto más maduro se lo coseche, probablemente por la contribución a la pérdida de peso que efectúan los sustratos respirados. En la figura 2 se evidencia ese efecto en dos cultivares: *Royal Glory* (precoz) y *Elegant Lady* (de estación).

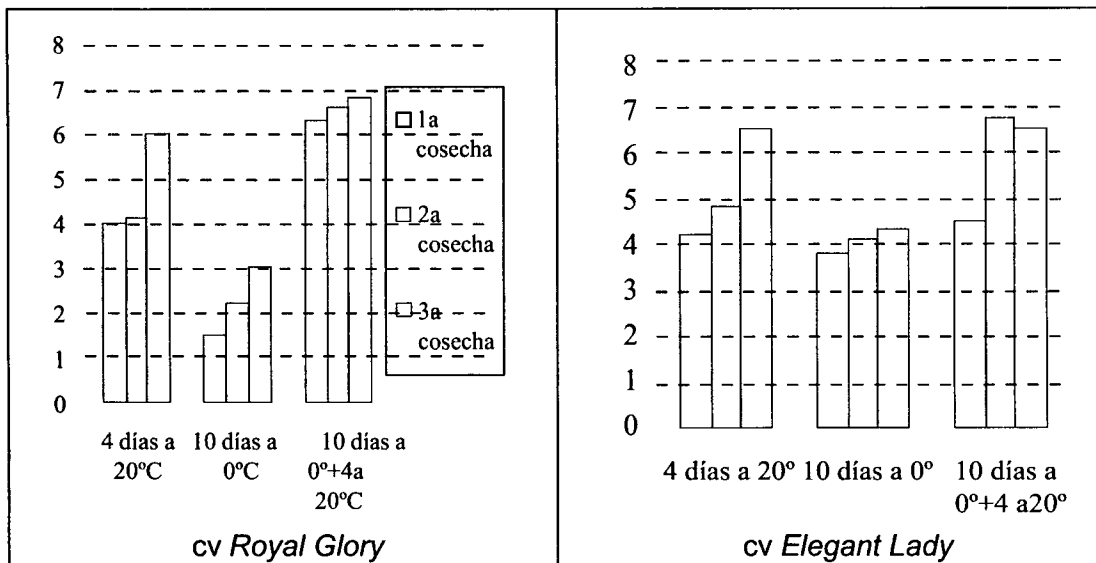


Figura 2. Pérdida de peso (% del peso inicial) para dos cultivares *Royal Glory* y *Elegant Lady* cosechados en tres diferentes estados de madurez (de Guarinoni, 1997).

En manzanas las pérdidas de peso por deshidratación en relación al estado de madurez no son generalmente tan notorias, excepto cultivares con poca cubierta cerosa y alta concentración de lenticelas como por ejemplo *Golden Delicious*. En el siguiente gráfico se evidencian las pérdidas de peso ocurridas en manzana *cv Royal Gala* en relación a su estado de madurez en cosecha y al período de conservación. Los resultados no han mostrado diferencias significativas en las diferentes cosechas para un mismo período de conservación.

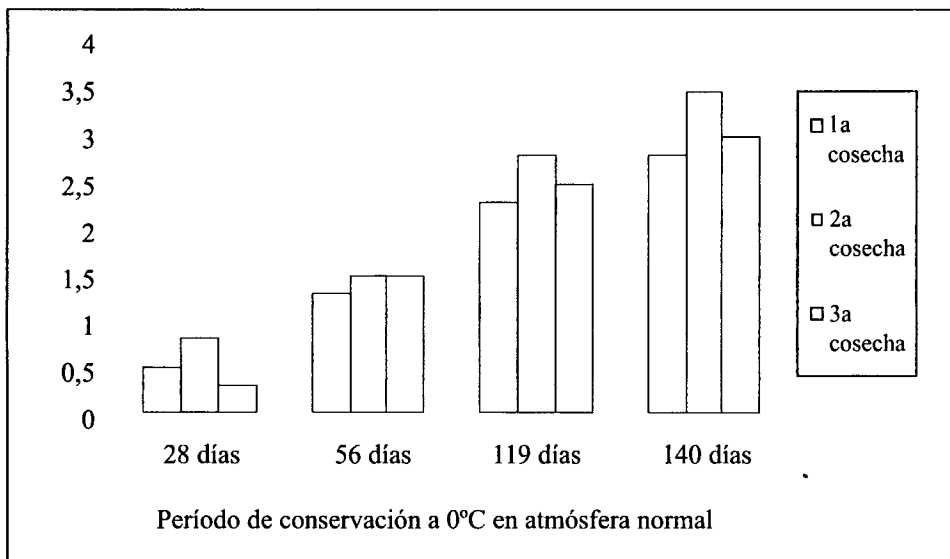


Figura 3. Pérdida de peso de manzanas *Royal Gala* en diferentes períodos de conservación y cosechadas en tres estados de madurez (de Guarinoni et al. 1996).

### Cambios de textura del fruto

Los cambios en la textura de los frutos carnosos es mayormente representado por el ablandamiento de la pulpa. Tal proceso es irreversible y está estrechamente ligado a su estado de madurez. En el período de agrandamiento celular comienzan a hidrolizarse los pectatos de las paredes celulares, ocasionando una disminución de su consistencia.

Existe una relación inversa entre el tamaño del fruto y su grado de ablandamiento. Los frutos chicos son generalmente más duros, esto puede ser explicado por la mayor proporción de paredes celulares en relación a su volumen que presenta un fruto chico en comparación con uno grande.

El ablandamiento del fruto continúa luego de cosechado con una velocidad más o menos rápida dependiendo de la consistencia inicial y de la tecnología de conservación empleada.

Cuando un fruto es cosechado con un alto grado de inmadurez, y por lo tanto con elevada consistencia, es probable que el proceso de maduración se interrumpa no alcanzando a darse los necesarios cambios en textura y ocasionando grandes pérdidas por deshidratación, desórdenes fisiológicos y 'daños de frío'.

Sin embargo los resultados en duraznos son dispares según los cultivares. En la tabla 1 se ilustra la evolución de la consistencia en la conservación de dos cultivares *Flordaking* (precoz) y *Dixiland* (de estación). En la tabla 2 se aprecia el efecto del estado de madurez a la cosecha en la pérdida de firmeza de las nectarina *Stark Red Gold* y *Nectaross* en diferentes períodos de conservación.

Tabla 1. Evolución de la consistencia de la pulpa de duraznos cosechados en tres estados de madurez (adaptado de Murria et al. 1998).

|            | Estado de madurez | Consistencia de la pulpa (Kg/cm <sup>2</sup> ) |                                                          |       |
|------------|-------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------|
|            |                   | En cosecha                                     | Luego de 21 días 0°C mas<br>12 hs a 20°C    84 hs a 20°C |       |
| Flordaking | 1                 | 6.2 a <sup>y</sup>                             | 4.8 a                                                    | 1.3 a |
|            | 2                 | 5.3 b                                          | 4.1 b                                                    | 0.8 b |
|            | 3                 | 1.7 c                                          | 1.5 c                                                    | 0.8 b |
| Dixiland   | 1                 | 7.2 a                                          | 5.2 a                                                    | 0.5 a |
|            | 2                 | 5.7 a                                          | 3.7 b                                                    | 0.4 a |
|            | 3                 | 2.9 b                                          | 1.7 c                                                    | 0.4 a |

<sup>y</sup> Medias seguidas de igual letra no difieren estadísticamente con un nivel de 5% de significación.

### Características organolépticas

La madurez del fruto desempeña un rol central en desarrollo del sabor particularmente en los frutos climatéricos donde la maduración es regulada por el etileno.

El aroma característico de los duraznos y nectarinas se desarrolla solo a pocos días de la plena maduración (madurez fisiológica) y entre los principales volátiles responsables se citan las lactonas (gamma y delta decalactona), y terpenos. En el caso de frutos inmaduros se observa la preponderancia de aldehidos y alcoholes (hexanal y hexanol) que le imprimen al fruto un sabor herbáceo.

Tabla 2. Evolución de la consistencia de la pulpa en la nectarina *Stark Red Gold* cosechada en dos estados de madurez, conservada en atmósfera normal (AN) y atmósfera controlada (AC) por 10, 20 y 30 días y 5 días a 20°C (de Guarinoni et al. 1996).

| Cosecha | Días en conservación<br>+ 5 días a 20°C | Consistencia de la pulpa (Kg) |                  |
|---------|-----------------------------------------|-------------------------------|------------------|
|         |                                         | <i>Stark Red Gold</i>         | <i>Nectaross</i> |
| 1a      | a la cosecha                            | 6.4 A <sup>y</sup>            | 5.1 NS           |
| 2a      | a la cosecha                            | 5.5 B                         | 5.5 NS           |
| 1a      | 10 AN                                   | 1.0 B                         | 1.3 C            |
|         | 20 AN                                   | 1.2 B                         | 1.4 C            |
|         | 30 AN                                   | 1.1 B                         | 3.4 AB           |
|         | 30 AC                                   | 2.2 A                         | 3.4 AB           |
| 2a      | 10 AN                                   | 0.8 B                         | 1.2 C            |
|         | 20 AN                                   | 1.0 B                         | 1.4 C            |
|         | 30 AN                                   | 2.0 A                         | 3.7 A            |
|         | 30 AC                                   | 2.4 A                         | 2.9 B            |

<sup>y</sup> Medias seguidas de igual letra no difieren estadísticamente con un nivel de 1% de significación

Tabla 3. Influencia del grado de madurez a la cosecha en el daño mecánico de manzanas cv *Aroma* (adaptado de Sekse, 1996).

| Nivel de madurez | Color de fondo* | Tamaño del machucamiento (mm) a tres intensidades de impacto |         |         | Amarronamiento del daño a tres intensidades de impacto ** |        |        |
|------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------|---------|---------|-----------------------------------------------------------|--------|--------|
|                  |                 | 5 cm                                                         | 10 cm   | 15 cm   | 5 cm                                                      | 10 cm  | 15 cm  |
| 1                | 3               | 11.92 A                                                      | 15.46 A | 17.43 A | 1.86A                                                     | 2.91 A | 3.42 A |
| 2                | 5               | 10.87 B                                                      | 15.07 B | 16.93 B | 1.54 B                                                    | 2.62 B | 3.10 B |
| 3                | 7               | 9.52 C                                                       | 15.03 B | 17.00 B | 1.40 B                                                    | 2.56 B | 3.12 B |

\* 0 = completamente verde; 9 = completamente amarillo

\*\* 0 = amarronamiento no visible; 5 = amarronamiento severo

<sup>y</sup> Medias seguidas de igual letra no difieren estadísticamente con un nivel de 5% de significación

Un efecto adicional relacionado al grado de madurez, lo tienen ciertos cultivares de manzana donde la susceptibilidad a machucamientos se correlaciona con el grado de madurez.

El fruto cosechado en este estado no desarrollará en postcosecha el aroma característico constituyendo una importante pérdida de su calidad.

En la figura 4 se ilustran las variaciones porcentuales de los compuestos aromáticos desarrollados en los frutos madurados en el árbol en relación a duraznos cosechados cinco días antes y conservados por siete días a 15°C.

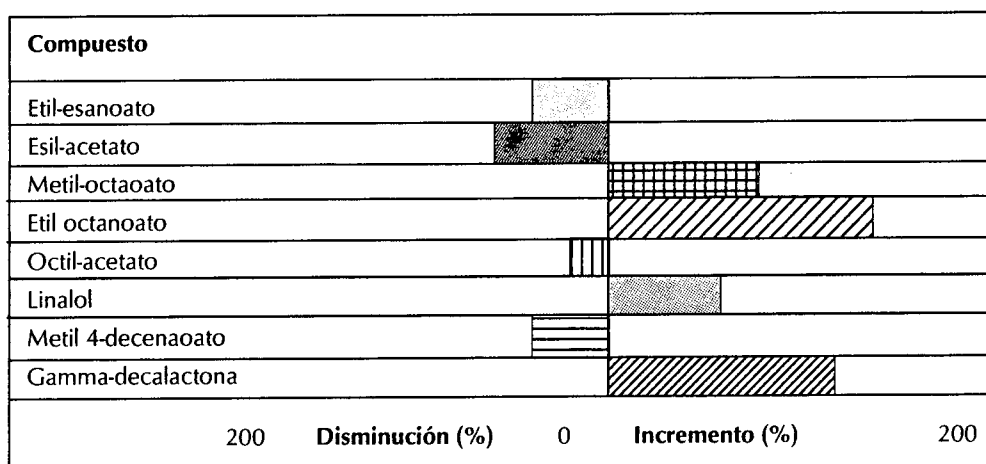


Figura 4. Variaciones de los diferentes compuestos volátiles en duraznos (adaptado de Testoni, 1995).

En la tabla 4 se evidencian las diferencias en la emanación de volátiles en pera responsables del aroma característico de los cultivares, en frutos cosechados a intervalos de cinco días.

Tabla 4. Valores medios de volátiles (mg/kg) en frutos de pera cv *Conference* y *Doyenne du Comice* luego del almacenamiento y seis días a 15° cosechados en tres estados de madurez (adaptado de Eccher et al. 1993).

| Estado de madurez | cv <i>Doyenne du Comice</i> |                   | cv <i>Conference</i>   |                   |
|-------------------|-----------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
|                   | Dureza en cosecha (kg)      | Volátiles (mg/kg) | Dureza en cosecha (kg) | Volátiles (mg/kg) |
| 1                 | 5.1                         | 21.5              | 4.6                    | 12.6              |
| 2                 | 5.0                         | 29.9              | 4.7                    | 22.6              |
| 3                 | 4.9                         | 32.3              | 5.2                    | 27.2              |

### Desórdenes fisiológicos

Son numerosos los desórdenes fisiológicos relacionados al estado de madurez. Algunos son mas frecuentes en frutos cosechados en estado avanzado de madurez, en cambio otros se hacen mas evidentes en frutos inmaduros. Los ejemplos más notorios lo constituyen la vitrescencia y la escaldadura superficial en manzanas.

En la tabla 5 se aprecia el efecto del estado de madurez sobre la incidencia de

escaldadura en manzana cv *Granny Smith* y *Imperial Red Delicious* en relación al período de almacenamiento.

La vitescencia es una disfunción en la fisiología de los carbohidratos del fruto que se asocia a un incremento del sorbitol en los espacios extracelulares. Las cosechas tardías con avanzado estado de madurez, son señaladas como uno de los factores predisponentes.

Tabla 5. Efecto del estado de madurez en cosecha sobre la incidencia de escaldadura superficial (adaptado de Manseka & Vasilakakis, 1993).

| Fecha de cosecha | Período de almacenamiento (días) |        |         |                                  |         |         |        |
|------------------|----------------------------------|--------|---------|----------------------------------|---------|---------|--------|
|                  | cv <i>Granny Smith</i>           |        |         | cv <i>Imperial Red Delicious</i> |         |         |        |
|                  | 90                               | 135    | 180     | 127                              | 157     | 187     | 217    |
| 8/10             | 6.35 b <sup>y</sup>              | 6.91 b | 35.00 a |                                  |         |         |        |
| 29/10            | 0.16 c                           | 0.00 c | 0.00 c  |                                  |         |         |        |
| 12/11            | 0.30 c                           | 0.00 c | 0.00 c  |                                  |         |         |        |
| 30/08            |                                  |        |         | 20.75de                          | 37.08 c | 60.41a  | 49.33b |
| 7/09             |                                  |        |         | 14.83 e                          | 26.83 d | 38.00 c | 25.58d |
| 11/09            |                                  |        |         | 10.16 ef                         | 8.66 ef | 9.50 ef | 5.08 f |

<sup>y</sup> Medias seguidas de igual letra no difieren estadísticamente con un nivel de 5% de significación

Si bien niveles bajos de vitescencia pueden revertirse en la conservación, cuando coincide un fruto de madurez avanzada y temperaturas bajas cercanas a la cosecha, el desarrollo de la alteración puede ser tal que no se revierta y evolucione a decaimiento interno.

La susceptibilidad varietal desempeña un rol importante en la incidencia de este desorden. En la tabla 6 se ilustra la ocurrencia de vitescencia en un cultivar susceptible en relación al grado de maduración determinado por el color de fondo.

Tabla 6. Incidencia de la vitescencia en manzana *Fuji* según la madurez del fruto (extractado de Watkins et al., 1993).

| Color de fondo         | Frutos vitrescentes (%) | Intensidad de la vitescencia ( 0-5) |
|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 1 (verde)              | 7 d <sup>y</sup>        | 0.16 cd                             |
| 2                      | 11 d                    | 0.00 d                              |
| 3                      | 57 c                    | 0.75 c                              |
| 4                      | 72.b                    | 0.75 c                              |
| 5                      | 86 ab                   | 1.83 d                              |
| 6                      | 86 ab                   | 2.17 ab                             |
| 7                      | 95 a                    | 2.33 ab                             |
| 8 (amarillo)           | 95 a                    | 2.63 a                              |
| Nivel de significación | ***                     | **                                  |
| Fecha de cosecha       |                         |                                     |
| 8/04                   | 55 b                    | 1.36                                |
| 17/04                  | 57 b                    | 1.31                                |
| 29/04                  | 71 a                    | 1.31                                |
| Nivel de significación | *                       | NS                                  |

<sup>y</sup> Medias seguidas de igual letra no difieren estadísticamente con un nivel de 5% de significación

El decaimiento interno en duraznos parece también relacionarse con el estado de madurez. La tabla 7 muestra la incidencia de decaimiento interno en dos cultivares (precoz y de media estación).

Tabla 7. Decaimiento interno en los duraznos *Flordaking* y *Dixiland* cosechados en tres estados de madurez (extractado de Murria et al., 1993).

|                                             | Días a 0°C + 3,5 días a 20°C | 21                 | 28    | 35    |
|---------------------------------------------|------------------------------|--------------------|-------|-------|
| Estados de madurez del cv <i>Flordaking</i> | M1                           | 0.3 b <sup>y</sup> | 1.2 c | 1.6 b |
|                                             | M2                           | 0.8 ab             | 1.8 b | 1.9 b |
|                                             | M3                           | 1.2 a              | 2.4 a | 1.6 a |
| Estados de madurez del cv <i>Dixiland</i>   | M1                           | 2.7 a              | 3.7 a |       |
|                                             | M2                           | 1.9 ab             | 3.7 a |       |
|                                             | M3                           | 1.2 b              | 3.2 a |       |

<sup>y</sup> Medias seguidas de igual letra no difieren estadísticamente con un nivel de 5% de significación

Sin embargo los resultados obtenidos por otros investigadores parecen contradecirse. Las respuestas no coincidentes encontradas deben explicarse por diferencias atribuidas a los cultivares, efectos del ambiente local, diversas condiciones pre-cosecha y a las diferencias entre los estados de madurez utilizados en las investigaciones.

## ASPECTOS CONCLUSIVOS

El estado de madurez en el cual un fruto es cosechado representa un estado inicial de calidad cuyo decremento debe ser mínimo en la fase postcosecha.

Respeto a la influencia que este estado del desarrollo ejerza sobre la calidad postcosecha del fruto, no existen reglas generales aplicables a la gran variedad de situaciones. Surge entonces la necesidad de experimentar para cada cultivar en su ambiente de cultivo a fin de avanzar en las tecnologías de postcosecha a emplear.

Sea cual fuere la madurez de cosecha, se exige un compromiso entre el logro de una máxima expresión de la calidad para el consumidor y las restricciones impuestas en cada uno de los eslabones de la cadena de mercadeo.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Abreo, E. & Perugorria, A. L. 1996. Determinación de un índice de cosecha que permita prolongar la conservación en cámara frigorífica de uva de mesa cv *Moscatel de Hamburgo*. Tesis de grado, Universidad de la República, Montevideo. 153 p.
- Eccher, P. & Spada, G. L. 1993. Effect of picking date on quality and sensory characteristics of pears after storage and ripening. *Acta Horticulturae* 326: 291 – 298.
- Ferguson, I.; Volz, R. & Woolf, A. 1999. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. *Postharvest biology and technology*, 15 (3): 255 – 262.
- Guarinoni, A. 1997. Índice di maturazione delle pesche Royal Glory ed Elegant Lady e conservazione postraccolta nel breve periodo. Tesis doctoral. 66p.
- Guarinoni, A.; Carli, C.; Giacalone, G.; Peano, C. & Bounous, G. 1996. caratteristiche qualitative delle nettarine Stark Red Gold e Nectaross dopo conservazione frigorifera. *Italus Hortus*, 3 (5): 42 – 48.
- Guarinoni, A.; Giacalone, G. & Bounous, G. 1996. Valutazione della qualità de mele cv Royal Gala dopo conservazione frigorifera. *Actas de III Giornate Scientifiche S.O.I.*, Erice, pp 363 – 364.
- Kanellis, A. K.; Roubelakis-Angelakis, K. A. 1993. Grapes *In* Seymour, G. B.; Taylor, J. E.; Tucker, G. A. (eds.). *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman & Hall. pp. 189 - 221.
- Manseka, V. S. & Vasilakakis, M. 1993. Effect of storage of maturity, postharvest treatments and storage conditions on superficial scald and quality of apples. *Acta Horticulturae* 326: 213 – 224.
- Mattheis, J. P. & Fellman J. K. 1999. Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables. *Postharvest biology and technology*, 15 (3): 227 – 232.
- Murria, R.; Valentini G.; Yommi, A. & Tonelli, F. 1998. Storage life and quality of peach fruit harvested at different stage of maturity. *Proc. Fourth Intern. Peach Symposium*. Ed. Monet, *Acta Horticulturae* 465: 462-465.
- Pratella, G. C. & Baraldi, E. 1997. Epoca di raccolta, protezione postraccolta, conservazione e qualità delle mele di pianura. *Actas del congresso 'Melicoltura di pianura: quale futuro'*, Verona, pp 245 – 264.
- Sams, C. E. 1999. Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest biology and technology*, 15 (3): 249 – 254.
- Sekse, L. 1996. The postharvest appearance of bruising damage in apples is influenced by fruit maturity and development at harvest. *In* de Jager, A.; Johnson, D. & Hohn, E. (eds.). *Determination and prediction of optimum harvest date of apples and pears*. *Proceedings of COST 94*. 9-10 June 1994, Lofthus, Norway. Brussels, ECSC-EC-EAEC. pp 99- 104.
- Testoni, A. 1995. Momento di raccolta, qualità, condizionamento e confezionamento delle pesche. *Actas del congresso 'La peschicoltura veronese alle soglie del 2000'*, Verona, pp 327 – 354.
- Watkins, C.B.; Brookfield, P.L. & Harker, F.R. 1993. development of maturity indices for the 'Fuji' apple cultivar in relation to watercore incidence. *Acta Horticulturae* 326:267-275.

# INHIBICIÓN DE LOS DAÑOS POR FRÍO EN FRUTAS TROPICALES

**L. Patricia Restrepo S**

*Profesora Asociado, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia.  
E-mail: parestre@ciencias.ciencias.unal.edu.co*

---

## INTRODUCCIÓN

Dadas las actuales condiciones de apertura económica y la imperiosa necesidad que tienen Colombia de abrir espacios en el mercado internacional, se hace prioritario el fortalecimiento del sector agroindustrial, específicamente en el renglón de las frutas tropicales.

Nuestros países tropicales merced a su privilegiada ubicación geográfica y diversidad climatológica, poseen un potencial incalculable para la generación de divisas, ya que una gran variedad de frutas se comercializa como pulpa, siendo mejor hacerlo como fruto fresco, para que de esta forma se disminuyan costos de exportación y se mejore su adquisición en el exterior.

Se ha determinado que la mayor parte de las pérdidas en la producción de frutas tropicales se presenta en el periodo poscosecha, el cual incluye: recolección, operaciones de manejo, almacenamiento y transporte inadecuados, que provocan alteraciones en el fruto tanto fisiológicas como organolépticas, que impiden su posterior comercialización.

Durante los últimos años la técnica más empleada para la conservación de frutas, ha sido el almacenamiento a bajas temperaturas, aunque en forma indiscriminada. Por lo tanto uno de los problemas a que se ven expuestas las frutas tropicales es la acción de temperaturas menores de 15 °C, las cuales provocan lesiones en los tejidos, aunque la temperatura a la cual comienzan a aparecer los daños por frío varía de un fruto a otro.

Ante la necesidad, entonces de prolongar la vida útil de nuestros frutos, desde hace más de quince años el Proyecto de Frutas Tropicales del Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia, ha encaminado sus trabajos a establecer las causas que producen estos daños por frío, con el fin de comprender el proceso y desarrollar técnicas de mejoramiento a su resistencia al frío.

## COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DE LOS FRUTOS TROPICALES

La mayoría de las frutas tropicales poseen un proceso de desarrollo, crecimiento y maduración típico de frutos climatéricos, cuyo metabolismo prosigue después de cosechados, una vez el fruto es separado del árbol vive a expensas de sus propias reservas, continuando con su proceso de maduración, el cual se ve afectado por una serie de fenómenos que comprenden el catabolismo (degradación), el cual produce energía e involucra el consumo

de oxígeno y el anabolismo, el cual sintetiza moléculas complejas y consume energía. Así, durante la maduración ocurren **cambios en el color**, debido a la degradación de clorofilas (pigmentos verdes) y aparición de carotenos (rojos, naranjas y amarillos) y/o xantofilas (azules y violetas); **producción de etileno**, que es una pequeña molécula gaseosa presente en el interior del fruto y de cuyos niveles depende el proceso de maduración; cambios en las **sustancias pécticas**, las cuales se transforman de protopectinas en los frutos verdes a pectinas en los frutos maduros, produciendo una transformación en la textura del fruto por el cambio del estado físico de sólido a gel las membranas celulares. El **contenido de carbohidratos** es transformado de almidón en los frutos verdes a sacarosa, glucosa y fructosa que producen el sabor dulce en el climaterio y los cuales son fermentados en la senescencia. Los **ácidos orgánicos** son oxidados durante el proceso de maduración o se esterifican para generar los aromas y sabores característicos de las frutas tropicales, disminuyendo sus niveles. En cuanto a las **proteínas**, que se encuentran en baja proporción en las frutas, pero tienen un importante papel metabólico, debido a la acción enzimática de algunas de ellas, generalmente aumentan su contenido y actividad durante el proceso de maduración y se degradan en la senescencia.

### **DAÑOS POR FRÍO**

Las bajas temperaturas retardan diversas actividades metabólicas en los frutos haciendo que se prolongue su vida útil. Cada especie y variedad soportan hasta una determinada temperatura, en la cual la velocidad de la maduración se disminuye sin que se produzcan alteraciones en el fruto, esta temperatura se denomina TEMPERATURA CRÍTICA. Por debajo de esta temperatura que es específica para cada fruto, el retardo de algunas reacciones produce acumulación de metabolitos, propios de estas, dando lugar a una disfunción celular, la cual afecta la integridad de su estructura y por tanto un colapso en su funcionamiento.

Los síntomas mas generales de la lesión por frío son las manchas de color marrón en pequeñas depresiones de la corteza, manchas de color pardo difusas, que se extienden por la superficie del fruto, este pardeamiento suele empezar alrededor de los haces vasculares, probablemente a causa de la acción de la polifenoloxidasas sobre los compuestos fenólicos liberados de la vacuola tras el enfriamiento. Aunque los síntomas suelen aparecer a bajas temperaturas, el desarrollo completo y la coloración final se alcanza una vez los frutos han salido de refrigeración. Las partes afectadas suelen reblandecerse con el tiempo y son fácilmente atacadas por microorganismos. Otra consecuencia es la aparición de olores y sabores desagradables. Los daños por frío dependen de la variedad, la localización geográfica, el estado de madurez, la temperatura, la humedad, la localización en el árbol, el tamaño y la época de recolección.

#### **Mecanismos Bioquímicos de la Lesión por Frío**

Las bajas temperaturas inician un sinnúmero de procesos degradativos de los eventos metabólicos que conducen a los síntomas visibles (1):

- ⟨ A nivel de las membranas celulares se ha encontrado una reestructuración física y bioquímica de la membrana plasmática, ocasionadas por los efectos de las bajas temperaturas. Esto se debe al cambio de fluidez de los lípidos presentes en ella, ya que al ser líquidos a temperatura ambiente, al bajar la temperatura adquieren una consistencia de gel quedando inmobilizados, afectando de un modo particular las actividades biológicas y enzimáticas asociadas a ellas.
- ⟨ Aumento de la concentración de iones  $Ca^{++}$  dentro del citosol, hasta en dos ordenes de magnitud afectando el metabolismo por rompimiento de la lámina media liberando el calcio, produciendo cambio en la dinámica y estructura citoplasmática, permitiendo la vacuolización del citoplasma y la disfunción de las membranas celulares.
- ⟨ Cambio conformacional de varias proteínas con actividad biológica (enzimas, receptores, etc.), debido a que mínimos cambios en la temperatura celular pueden ser suficientes para dañar la estructura proteica y su funcionamiento.
- ⟨ Inducción de síntesis de proteínas por inducción de la expresión de genes que se encuentran silenciosos a temperatura ambiente y se activan por acción de las bajas temperaturas.
- ⟨ Aumento de la concentración de sustratos, la cual puede elevar la actividad enzimática a bajas temperaturas.
- ⟨ Inducción de la interrupción en la regulación entre diferentes caminos metabólicos, como el flujo de electrones entre un camino normal y otro alterno en las mitocondrias de las plantas.

### **TÉCNICAS DE INHIBICIÓN DE DAÑOS POR FRÍO**

De acuerdo a lo enunciado se demuestra ampliamente que las frutas tropicales son altamente sensibles al frío, pero el almacenamiento refrigerado en condiciones que no alteren sus características sensoriales, es el más económico y recomendado para la exportación de nuestras frutas; por lo que uno de los principales tópicos de investigación actual debe centrarse en la obtención de tecnologías que disminuyan al máximo los daños por frío. Dentro de estas tecnologías, se encuentran:

#### **Los Choques Térmicos**

Consisten en tratamientos de calentamiento de los frutos a altas temperaturas (20-50°C), durante cortos tiempos (2 min.- 48 horas), antes de ser sometidos a la refrigeración. Wild, logró reducir en un 65% los daños por frío en naranjas precalentadas a 50°C por dos minutos(2). Shalom, reporta que al almacenar manzanas pretratadas a 38°C durante cuatro días y posterior almacenamiento a 0°C, se obtiene un aumento en la firmeza de las frutas, acompañada por el aumento de agua, una alta estabilidad de la pared celular (3).

Dentro del proyecto de Frutas Tropicales se han obtenido resultados positivos con aplicación de choques térmicos a pitahaya ( *Acanthocereus pitajaya*) (4), la cual al ser sometida a

una temperatura de 25°C, durante 24 horas y posterior refrigeración a 2°C, se logra prolongar el tiempo de vida en doce días, mientras que en banano bocadillo (*Musa x paradisiaca* L.) (5), los diferentes pretratamientos térmicos no han mostrado resultados positivos para inhibir los daños por almacenamiento refrigerado a 4°C. En lulo (*Solanum quitoense* Lam.) (6), el pretratamiento térmico (27°C x 24 horas), previo a la refrigeración a 4°C durante dos semanas y a la maduración complementaria, prolonga el tiempo de vida en 14 días y promueve la síntesis de algunas proteínas que pueden estar relacionadas con el desarrollo de la resistencia al frío del fruto.

Desde la década de los ochenta se ha mostrado que la mayoría de organismos vivos, desde las levaduras hasta los mamíferos, tienen un grupo de genes que no se expresan, mientras el organismo no es sometido a algún tipo de estrés que lo lleva a daños irreversibles. Las proteínas producidas a partir de estos genes son denominadas HSP (Heat Shock Proteins), por haber sido reconocidas inicialmente en embriones de *Drosophila* sometidos a choques térmicos (7). La comparación de la aparición de estas proteínas, como respuesta de un amplio rango de organismos a los choques de alta temperatura, ha mostrado: que al mecanismo molecular de la inducción de genes por calentamiento tiene mucha similitud en muchos eucariotes y que la mayoría de HSP muestran alta homología entre los eucariotes, incluidas las plantas. No está claro aún si la síntesis de las HSP produce tolerancia de las plantas al estrés, ni cual es el papel metabólico de cada una de estas proteínas, por lo cual se considera uno de los principales tópicos de investigación actual. En frutas han sido reportados recientemente (8,9) estudios en tomates pretratados a 42°C durante 2 días, antes de ser refrigerados a 2°C, los resultados muestran que dos nuevos genes: LcHSP que sintetiza la HSP 17,6Kd producida en el citosol y el *hcit2* que se expresa como la proteína 16,5 Kd extraída de la membrana celular, están directamente involucrados en la tolerancia adquirida por el fruto a daños por frío.

### **Atmósferas Modificadas y Choques de Dióxido de carbono**

La técnica de conservación de productos vegetales en atmósferas modificadas, en empaques de plástico con permeabilidad definida, se basa en el cambio de las condiciones gaseosas del entorno inmediato del producto como consecuencia de su metabolismo. El fruto establece un equilibrio dinámico entre su entorno y la barrera semipermeable que constituye el empaque. La utilización de atmósferas modificadas debe considerarse como un complemento a un adecuado manejo de la temperatura y humedad relativa. El posible beneficio que produzca el empleo de la atmósfera depende del producto, la variedad, estado fisiológico, temperatura, humedad y tiempo de almacenamiento. Como se ha indicado, los frutos climatéricos recolectados, aumentan su metabolismo continuando su intercambio gaseoso con la atmósfera que los rodea. Cuando se utiliza la atmósfera modificada en empaques plásticos de permeabilidad determinada, se elimina el aire interior del envase (aplicando vacío) y se sustituye por una mezcla de gases que proporciona una composición atmosférica inicial en

el entorno del producto diferente de la del aire. La nueva atmósfera supone una reducción en la concentración de oxígeno y/o una elevación de la concentración de dióxido de carbono. Después de un período de adaptación a las nuevas condiciones atmosféricas se establece un equilibrio dinámico entre los gases producidos endogenamente entre los distintos centros de acción enzimática de la célula y los gases del medio ambiente que rodea al fruto. En este equilibrio, el porcentaje de consumo de oxígeno y el porcentaje de desprendimiento de dióxido de carbono equivalen al porcentaje de salida estos gases a través del empaque a una determinada temperatura. Estos intercambios fruto-micro ambiente y micro ambiente atmósfera externa, se producen simultáneamente modificando la composición de la atmósfera interna inicial, empobreciéndola en oxígeno y enriqueciéndola en dióxido de carbono y vapor de agua.

En este proceso el oxígeno es importante por que se requiere para que factores de descomposición como microorganismos aerobios y reacciones oxidativas, puedan ejercer sus acciones degradativas. La disminución de su contenido en la atmósfera inicial inhibe este deterioro. El oxígeno no se puede eliminar del todo en las atmósferas de conservación de frutas tropicales, debido a que estas continúan su proceso de respiración y la ausencia de oxígeno produciría condiciones anaerobias produciendo una aceleración en la senescencia del fruto. Por su parte el dióxido de carbono, presenta un efecto inhibitor sobre la acción metabólica del etileno. Aunque las interacciones que presenta el dióxido de carbono en la ruta metabólica del etileno, son múltiples, no se conocen los mecanismos responsables de estos efectos. Paralelamente a esta acción, el dióxido de carbono ejerce un efecto inhibitor sobre el crecimiento bacteriano y fúngico, aunque su acción depende de factores como su concentración en la atmósfera, como de la temperatura de almacenamiento, ya que temperaturas bajas aumentan la solubilidad del gas tanto intra como intercelularmente. Las altas concentraciones de gas (superiores al 20%) inducen reacciones anaerobias. Igualmente es importante tener en cuenta que el dióxido de carbono se difunde 30 veces mas rápidamente a través de los empaques que los otros gases; este fenómeno ha inducido entonces el uso de choques de altas concentraciones de gas previos al almacenamiento refrigerado.

En los últimos años, numerosos investigadores han aplicado las atmósferas modificadas a diferentes frutos, estudiando los efectos de diferentes composiciones y películas de empaque en la fisiología, bioquímica y calidad de los productos almacenados y las posibilidades de prolongar su vida comercial. Starkinson, aplico en manzanas concentraciones elevadas de dióxido de carbono (73%) durante 23 semanas a 2°C, produciéndose pardeamiento y desestabilización de varios antocianos presentes en la corteza(10). Chambroy realizó estudios en fresas, utilizando películas de polipropileno de permeabilidad selectiva, encontrando que a 10°C y concentraciones superiores al 10% de CO<sub>2</sub>, se reduce significativamente el desarrollo de hongos y los frutos tienen mejor apariencia y textura. Ensayos en pera envasada en polietileno de baja densidad, con atmósferas que en el equilibrio con el fruto tienen contenidos entre el 4 y el 9% de dióxido de carbono y 5% de oxígeno, después de tres días de almacenamiento a 20°C, presentan maduración anormal y quemaduras en la piel.(10).

En el proyecto de Frutas Tropicales del Departamento de Química de la Universidad Nacional se ha estudiado, la conservación poscosecha de Mora de Castilla (*Rubus glaucus*), mediante la aplicación de choques de dióxido de carbono al 20% , con duración de dos días y un día de descanso durante una semana, y a una temperatura de 1°C, retrazándose el proceso de maduración del fruto en tres días, con excelentes características sensoriales (11). El tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*), almacenado a 5°C con pretratamiento de dióxido de carbono al 20%, durante 48 horas, retarda la maduración del fruto en 14 días, sin presentar daños por frío(12). En frutos de pitahaya (*Acanthocereus pitajaya*), los frutos tratados con dióxido de carbono al 20% durante 48 horas almacenados a 2°C, prolongaron su vida útil en más de diez días (13). Se ha encontrado que el empleo de atmósferas modificadas en concentraciones de 15% de dióxido de carbono y 8% de oxígeno en bolsas de etileno de baja densidad (calibre 1mm) produce buenos resultados en el almacenamiento de: Banano Bocadillo (*Musa x paradisiaca* L.), almacenados a temperaturas de 10, 13 y 18°C; en lulo (*Solanum quitoense* L.) , que almacenado en esta atmósfera y a temperaturas de 18°C y 4°C, se logra retrazar en siete días la aparición del máximo climatérico. Además se ha encontrado que el almacenamiento de los frutos tropicales en atmósferas enriquecidas en dióxido de carbono y a bajas temperaturas, aumentan considerablemente el contenido de azúcares en el fruto , siendo este un probable mecanismo de defensa del fruto a las bajas temperaturas, mientras que no produce cambios en el perfil proteico de los frutos(10).

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Chien Yi Yong, "Chilling Injury of Cross", CRC press, Boca Raton, Florida, 1990.
- (2) Shalom, N. , *Phytochem.*, 4, 955-958, 1993.
- (3) Wild, B. L., *Australian J. Of Exp. Agric.*, 33, 495-498, 1993.
- (4) Camargo, A. y Moya, O. L., "Influencia del Choque Térmico en la Inhibición de daños por Frío de la Pitahaya Amarilla (*Acanthocereus pitajaya*)", Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Sede Santafé de Bogotá, Carrera de Farmacia, 1997.
- (5) Jiménez A. y Wonston J.C., "Inhibición de los Daños por Frío del Banano Murrapo ( *Musa x paradisiaca* L.)", Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Sede Santafé de Bogotá, Carrera de Farmacia, 1997.
- (6) Rubio, E., "Estudio del cambio de Actividad de la Polifenoloxidasas PFO, durante el proceso de maduración del lulo (*Solanum quitoense* L.)", Tesis de Maestría en Química, 1999.
- (7) Bond, V. and Schlesinger, " Heat Shock Proteins and development", Department of Microbiology and Immunology, Washington University, School of Medicine, St. Luis, Missouri, 1993.
- (8) Kadyrzhanova, D. K., *Plant Molecular Biology*, 36, 885-895, 1998.
- (9) Adnan, S., *Plant Molecular Biology*, 36, 935-939, 1998.

- (10) Jaramillo, P. y Marin, E., " Estudio del Almacenamiento del Lulo (*Solanum quitoense* L.) en Atmósferas Modificadas", Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Sede Santafé de Bogotá, Carrera de farmacia, 1999.
- (11) Acero, J., Aparicio E., Camargo, C., *Fruticultura Profesional*, 36, 61-64, 1991.
- (12) Cubillos, M., Díaz, D., Camargo C., *Fruticultura Profesional*, 55, 56-62, 1993.
- (13) Arenas, C. Y Camero, L., " Influencia del dióxido de Carbono en la inhibición de los Daños por Frío de la Pitaya Amarilla (*Acanthocereus Pitajaya*)", Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Sese Santafé de Bogotá, Carrera de Farmacia, 1995.

# MODIFICACIONES DE LA ATMÓSFERA Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA REDUCIR LOS DAÑOS POR EL FRÍO EN LA POSTRECOLECCIÓN HORTOFRUTÍCOLA

Dr. Ing. F. Artés CALERO

*Presidente de la Comisión Ciencia e Ingeniería de Alimentos del Instituto Internacional del Frío.  
Investigador Científico Responsable del Laboratorio de Refrigeración y Postrecolección del CEBAS-CSIC.  
30100 MURCIA. ESPAÑA. E-mail: fr.artes@natura.cebas.csic.es*

---

## RESUMEN

Una causa importante de pérdidas de productos vegetales recolectados, es debida a los daños provocados durante el imprescindible almacenamiento a bajas temperaturas, pero superiores al punto de congelación, lo que se denominan daños por el frío. El metabolismo del órgano celular se modifica, produciéndose a veces desregulaciones que conducen a la alteración, con frecuencia irreversible, de la calidad de los productos afectados. La sensibilidad al frío depende de numerosos factores genéticos y ambientales, y suele agravarse en determinadas producciones de los países más cálidos. Los síntomas como se manifiestan los daños por el frío son muy diversos, y, con frecuencia, poco conocidos, desde cambios inapreciables hasta profundas alteraciones que impiden el consumo del producto dañado. Algunas técnicas son muy eficaces para llegar a inhibir dichos daños, entre las que destacan determinados tratamientos físicos, como la modificación apropiada de la composición de la atmósfera de conservación y el empleo de elevaciones moderadas de la temperatura, antes o en el curso del almacenamiento. El presente trabajo revisa algunos aspectos interesantes de la génesis e identificación los daños provocados por la refrigeración a los productos hortofrutícolas, y de los medios para controlarlos a escala comercial, así como la justificación de su eficacia.

## 1. LA REFRIGERACIÓN DE LOS PRODUCTOS VEGETALES Y LOS DAÑOS POR EL FRÍO

Es conocido que la vida de un organismo mono o pluricelular es una suma de procesos metabólicos en los que intervienen reacciones químicas e intercambios entre los compartimentos celulares o entre diferentes tejidos u órganos. La intensidad de estos procesos está muy afectada por la temperatura del organismo y por la del medio exterior. Mientras que los animales disponen de sistemas de regulación térmica, los vegetales no, por lo que son particularmente sensibles a las bajas temperaturas. El frío moderado sobre los vegetales, superior al punto de congelación (entre -1 y -3°C), reduce la velocidad de las reacciones metabólicas al modificar la energía de activación, la velocidad máxima y la constante de Micaelis de las reacciones enzimáticas y las concentraciones de substratos y de productos de la reacción. Los principales procesos ligados al metabolismo energético de la planta, respiración y fotosíntesis,

y todo el metabolismo general, se perturban por las temperaturas de refrigeración (Lance y Moreau, 1992).

La estructura y composición de las biomembranas vegetales se modifican con los cambios en la temperatura del medio, que afectan también al funcionamiento de las enzimas y de los transportadores incluidos en la matriz lipídica de las membranas y con esto a los intercambios a través de ella, lo que conduce a desviaciones metabólicas y fisiológicas de las células, de los tejidos, del órgano o de la planta. La temperatura no congelante provoca un aumento de la microviscosidad de la matriz lipídica y de la rigidez de las membranas, que adquieren una estructura gel-cristalina, y se redistribuyen las proteínas integradas, que son expulsadas de las zonas lipídicas rígidas. Ello altera la permeabilidad y perturba las funciones celulares, que, en los casos más graves, produce el trasvase de electrolitos y metabolitos entre los diversos compartimentos celulares y entre las células y el medio, llegando incluso a la ruptura de las membranas, necrosis y muerte del órgano o de la planta (Mazliak, 1992). Estas enfermedades fisiológicas se denominan daños por el frío (DF).

La acción del frío moderado produce unos efectos directos y rápidos sobre las membranas, con la alteración de la célula, cuya gravedad depende de la intensidad y duración de la baja temperatura. También puede tener una acción más gradual y duradera, que conduce a una alteración primaria e indirecta del metabolismo, o bien a un desequilibrio hídrico que da lugar a una alteración secundaria (Levitt, 1980, citado por Marcellin, 1992). Un estrés severo por un choque de frío, que produce daños de manera muy rápida, ejerce una acción irremediable y a veces letal. Pero si es limitado, puede tener consecuencias reparables, aunque dependiendo en gran medida del estado fisiológico. El retorno a una temperatura superior al umbral crítico revela el estado reversible o irreversible de los desórdenes (Marcellin y Ulrich, 1983; Jackman *et al.*, 1988; Marcellin, 1992). Se ha observado que los frutos inmaduros o precoces son más sensibles que los maduros o tardíos de la misma cosecha y que la sensibilidad al frío en ciertos productos es inversamente proporcional al estado de madurez; por ejemplo, los tomates se puede almacenar 2 semanas al aire entre 5 y 12°C y 90%HR, adoptándose las temperaturas más elevadas para los más inmaduros (Báez *et al.*, 1998).

El desarrollo de los DF no se conoce perfectamente, aunque se sabe que tiene lugar en dos fases sucesivas. La primera dura desde algunas horas (banana) hasta algunos meses (manzana), aunque lo más frecuente es una a dos semanas (judía verde, tomate, melocotón, cítricos). En esta fase inicial las alteraciones son tan poco severas que no manifiestan síntomas, lo que se denomina fase de latencia, y los productos pueden retornar a un estado normal, por simple calentamiento superior a la temperatura crítica (es el caso de las alteraciones de tipo primario indirecto). La segunda fase ocurre con la aparición de los síntomas, su instalación es irreversible y el calor contribuye a acelerar su desarrollo (Marcellin, 1992).

Los síntomas de los desórdenes provocados por el frío en frutas y hortalizas recolectadas son muy diversos (Cuadro 1), distinguiéndose dos categorías, que pueden coexistir y desarrollarse simultáneamente, lo que sucede con frecuencia en frutos tropicales y subtropicales.

La primera es de naturaleza cualitativa y consiste en anomalías del desarrollo o del metabolismo, como la maduración incompleta del tomate, papaya o mango, el endulzado de las patatas, o los defectos de sabor y aroma en banana, plátano, piña, papaya o sandía.

La segunda categoría de DF la integran verdaderas enfermedades que presentan manifestaciones muy variadas: depresiones de la piel (picado o "pitting", que afecta al 60% de las especies de frutas y hortalizas de regiones tropicales y subtropicales, o la peteca del limón), descomposición de tejidos ("breakdown" típico en fruta de hueso y de pepita), pardeamientos internos o superficiales ("internal browning" y escaldadura o "scald" típicos de la fruta de pepita, cítricos, granada, aguacate, piña y patata), infiltración de agua en los espacios intercelulares (frecuente en tomate, pepino y papaya), desarrollo de textura algodonosa, lanosidad o harinosidad ("wooliness" o "mealiness" del melocotón y nectarina), pardeamiento de las membranas carpelares (membranosis o "membranous stain" en limón y granada), debilitamiento de la resistencia a daños mecánicos y al ataque microbiano (muy generalizado), y otras más específicas de algunas frutas y hortalizas, como el "russetting" de la judía verde o el ablandamiento de la punta del espárrago (Hardenburg *et al.*, 1990; Marcellin, 1992; Artés, 1999a), e incluso un incremento en las pérdidas por deshidratación en jícama, tras dos semanas de almacenamiento a temperatura inferior a 13°C (Mercado-Silva y Cantwell, 1998).

## **2. CONSERVACIÓN DE LOS PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS POR REFRIGERACIÓN Y ATMÓSFERA CONTROLADA O MODIFICADA**

En la práctica industrial resulta necesario frenar el metabolismo de numerosos productos vegetales recolectados para favorecer su supervivencia, ya que continúan vivos, manifestando fenómenos respiratorios y de transpiración, así como procesos de crecimiento, maduración y senescencia. Atendiendo a los factores que controlan el metabolismo vegetal se deducen las actuaciones precisas en la postrecolección: empleo de baja temperatura (sin alcanzar la congelación, ni el umbral de sensibilidad a los DF), elevada humedad relativa (HR) sin que condense el agua sobre los productos, y renovación apropiada del aire ambiente. Como consecuencia, se frena el metabolismo, se prolonga la vida del órgano y se preserva su calidad para el consumo (Artés, 1997).

El mejor conocimiento de la fisiología y bioquímica y en particular de los procesos de la maduración y senescencia en la postrecolección, así como del modo en que actúan la temperatura, la HR, el O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> y otros gases sobre los vegetales, ha permitido optimizar su conservación por refrigeración. El avance más notable consiste en modificar la composición de la atmósfera alrededor del órgano recolectado, en un ambiente refrigerado y estanco, mediante la eliminación o adición de gases respecto del aire, técnica denominada atmósfera controlada (AC) o atmósfera modificada (AM). Su aplicación se fundamenta en que las bajas presiones parciales de O<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> y/o elevadas de CO<sub>2</sub> y vapor de agua, frenan el metabolismo (respiratorio y no respiratorio), reduce la transpiración y mantiene la calidad inicial del vegetal a conservar (Kader, 1990; Artés, 1995, 1999a y 2000).

La conservación en AC adapta permanentemente la composición de la atmósfera que rodea los productos dispuestos para su conservación o transporte frigorífico, a temperatura y HR adecuadas. La reducida concentración de O<sub>2</sub> y/o elevada de CO<sub>2</sub> y de vapor de agua, se logra por la respiración de los productos y con medios artificiales, en un recinto frigorífico estanco.

Cuando la generación y estabilización de las atmósferas se consigue envasando el producto refrigerado en una película plástica, de dimensiones reducidas, relativa y selectivamente permeable a los gases permanentes del aire y provista de cierre hermético, la técnica se denomina AM. La composición gaseosa deseada se genera y estabiliza por la simple interacción entre la respiración y la permeabilidad del polímero (modificación pasiva), o bien se prepara en el exterior y se inyecta en el envase antes del cierre, lo que se denomina modificación activa (Kader, 1990; Artés, 1999a y 2000).

### **3. LA REFRIGERACIÓN Y LA MODIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GASEOSA INTERNA EN LOS VEGETALES**

La mayoría de productos tropicales y subtropicales, numerosos productos mediterráneos y algunas especies de clima templado son sensibles a los DF (Cuadro 1). En su desarrollo intervienen una serie de factores genéticos, fisiológicos y bioquímicos muy diversos, que se extienden a las condiciones térmicas del cultivo. La temperatura crítica a la que aparecen los DF, varía de un órgano a otro o de una especie a otra, y puede ser de 0 a 4°C para los poco sensibles, de 2 a 7°C para algunas especies de clima templado, y hasta de 15 a 20°C para las tropicales y subtropicales más sensibles. Por ello, los vegetales se consideran resistentes al frío cuando pueden almacenarse hasta las proximidades del punto de congelación, moderadamente sensibles si se alteran entre 2 y 7°C, y muy sensibles, cuando no soportan temperaturas por debajo de 15 e incluso 20°C (Artés, 1999a).

La composición de la atmósfera interna de los órganos vegetales depende estrechamente de la temperatura. Como las células consumen O<sub>2</sub> y expulsan CO<sub>2</sub> a esa atmósfera, cuanto más elevada es la temperatura, más intensa es la respiración y por tanto más empobrecida en O<sub>2</sub> y más enriquecida en CO<sub>2</sub> estará la atmósfera interna. Cuando se reduce la temperatura, la solubilidad del O<sub>2</sub> dentro de la célula aumenta, mientras su consumo por la respiración disminuye, por lo que un posible exceso de O<sub>2</sub> intracelular puede originar oxidaciones perjudiciales catalizadas por enzimas responsables de pardeamientos superficiales o profundos.

Por ejemplo, las desregulaciones celulares (sin traumatismos mecánicos), producidas por la refrigeración, que modifiquen la permeabilidad del tonoplasto pueden facilitar el contacto entre compuestos fenólicos disueltos en la vacuola, con polifenoloxidasas localizadas en el citoplasma. De aquí se deduce uno de los objetivos que favorecen las atmósferas empobrecidas en O<sub>2</sub> durante la conservación en AC o AM, pues la privación parcial de O<sub>2</sub> evita las oxidaciones fuera de las mitocondrias (Côme y Corbineau, 1994) y, en consecuencia, el pardeamiento de los tejidos vegetales.

Cuadro 1: Daños causados por temperaturas de refrigeración a las frutas y hortalizas

| Producto                   | Tª mínima inferior (°C) | Síntomas más frecuentes de los daños causados por el frío no Congelante                                          |
|----------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aceituna                   | 5-7                     | Picado, pardeamiento (pard.) de la piel, susceptibilidad a podredumbres (suscep. podre.)                         |
| Aguacate                   | 5-13                    | Pard. de piel y pulpa, suscep. podre.                                                                            |
| Alcachofa                  | 1-3                     | Pard. de la punta y bordes de hojas                                                                              |
| Arándano                   | 2                       | Textura gomosa, enrojecimiento de la pulpa                                                                       |
| Banana verde o madura      | 12-14                   | Coloración de la piel anómala: apagada, grisácea o parda, suscep. podre.                                         |
| Batata y boniato           | 13                      | Pard. Interno, picado, descomposición (desc.) interna, endurecimiento de la pulpa en la cocción.                 |
| Berenjena                  | 7-10                    | Escaldadura superficial, podredumbre ( <i>Alternaria</i> sp.)                                                    |
| Ciruela                    | 0-1                     | Pulpa translúcida, consistencia gelatinosa de la pulpa                                                           |
| Calabaza y calabazín       | 10                      | Picado, desc. interna, suscep. podre.                                                                            |
| Chirimoya                  | 8-10                    | Pard. de piel y pulpa, desc. interna                                                                             |
| Chayote                    | 10-12                   | Picado, coloración anómala, suscep. podre.                                                                       |
| Espárrago                  | 1-2                     | Coloración anómala, ablandamiento de la punta                                                                    |
| Gombo                      | 7                       | Picado, coloración anómala, infiltración acuosa,                                                                 |
| Guayaba                    | 5-10                    | Picado, pard. de la piel, desc. interna                                                                          |
| Granada                    | 5                       | Picado, pard. de la piel, membranosis, suscep. podre.                                                            |
| Jicama                     | 13-18                   | Ablandamiento, suscep. podre. y a deshidratación, pardeamiento interno, infiltración acuosa                      |
| Judía verde                | 7-8                     | Picado y manchas pardas ("russetting")                                                                           |
| Lima                       | 7-10                    | Picado, pard. del flavedo                                                                                        |
| Limón                      | 11-14                   | Picado, adustiosis, membranosis, oleocelosis, pard. del flavedo, peteca, necrosis peripeduncular, suscep. podre. |
| Mango                      | 10-13                   | Escaldadura, pard., maduración incompleta                                                                        |
| Melón                      | 7-15                    | Picado, maduración incompleta, coloración anómala, desc. interna, suscep. podre.                                 |
| Honey Dew                  |                         |                                                                                                                  |
| Melón Cantaloup            | 2-5                     | Picado, suscep. podre.                                                                                           |
| Melocotón y nectarina      | 2                       | Textura algodonosa, pard. y desc. interna, enrojecimiento de la pulpa, maduración incompleta                     |
| Manzana (varied. europeas) | 2-4                     | Escaldadura superficial o blanda, corazón rosáceo, pard. interno,                                                |
| Naranja y mandarina        | 3-9                     | Picado, escaldadura superficial, necrosis peripeduncular, pard. del flavedo, desc. acuosa, suscep. podre.        |
| Ocra o gumbo               | 7                       | Picado, color anómalo, infiltración acuosa, suscep. podre.                                                       |
| Patata                     | 4-5                     | Color interno anómalo, ennegrecimiento de la pulpa, endulzamiento de la pulpa                                    |
| Papaya                     | 7                       | Picado, maduración incompleta, desc. interna, sabor y aroma anómalos, suscep. podre.                             |
| Pepino                     | 7-10                    | Picado, infiltración acuosa, ablandamiento, desc. interna, suscep. podre.                                        |
| Pimiento                   | 7                       | Picado, pard. de la semilla, podredumbre ( <i>Alternaria</i> sp.)                                                |
| Piña                       | 7-10                    | Coloración apagada, sabor anómalo, suscep. podre.                                                                |
| Pomelo                     | 10                      | Pard. del flavedo, picado, desc. acuosa, suscep. podre.                                                          |
| Sandía                     | 5-10                    | Picado, sabor anómalo o amargo                                                                                   |
| Tamarillo                  | 3-4                     | Picado, coloración anómala                                                                                       |
| Tomate verde               | 13                      | Ablandamiento, infiltración acuosa, desc. interna                                                                |
| Tomate maduro              | 7-10                    | Ablandamiento y color anómalos, maduración incompleta, podredumbre ( <i>Alternaria</i> sp.)                      |

Fuente: Hardenburg et al., (1990), Marcellin, (1992) y Artés, (1999b).

#### 4. MODALIDADES DE MODIFICACIÓN DE LA ATMÓSFERA

Las mezclas gaseosas que interesa generar son muy variadas, empleándose los siguientes tipos de mezclas (Artés, 2000):

- ⟨ de N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> enriquecidas o no en CO<sub>2</sub> (las de uso más extendido)
- ⟨ de N<sub>2</sub> con poco O<sub>2</sub> (para productos sensibles al CO<sub>2</sub> y tolerantes a bajos niveles de O<sub>2</sub>)
- ⟨ aire muy enriquecido en CO<sub>2</sub> (para productos tolerantes al CO<sub>2</sub> en los que se busca su efecto fisiológico o fungicida)
- ⟨ aire ligeramente enriquecido en C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (para acelerar la maduración o la desverdización)
- ⟨ aire enriquecido en O<sub>2</sub> (como microbicida, muy prometedor en productos procesados en fresco)
- ⟨ aire enriquecido en O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CO o gases nobles (como fungicidas, dependiendo de las sensibilidades y/o autorizaciones de uso)

La composición depende de los objetivos a alcanzar, entre los que se citan: adecuar el tratamiento a las necesidades fisiológicas del fruto, conseguir una determinada finalidad comercial para consumo en fresco o industrialización, prolongar la conservación y mejorar la calidad, favorecer el transporte, acelerar la maduración o lograr efectos fungicidas, bactericidas o insecticidas.

#### 5. EFECTOS DE LA MODIFICACIÓN DE LA ATMÓSFERA

Aunque los beneficios o perjuicios de esta técnica dependen del producto, variedad, cultivo, estado fisiológico, composición de la atmósfera, temperatura, HR y duración del almacenamiento, lo que explica la diversidad de resultados para un mismo producto, su uso adecuado mejora normalmente los resultados de la refrigeración convencional en atmósfera de aire. Con frecuencia la diferencia entre efectos favorables y desfavorables puede ser pequeña, e incluso un efecto favorable como una atmósfera eficaz contra insectos u hongos, puede ser perjudicial para el producto.

##### 5.1. Efectos beneficiosos

Para lograr los beneficios deseables de la AC o de la AM los productos deben conservarse bajo condiciones óptimas de temperatura, HR y de composición de la atmósfera en O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, sin exceder los límites de tolerancia a bajos niveles de O<sub>2</sub> y elevados de CO<sub>2</sub> que implican riesgos desfavorables (Cuadros 2 y 3). Entre los beneficios se cita (Artés, 1996 y 1999a; Kader, 1986 y 1990; Marcellin y Ulrich, 1983) que frena la actividad respiratoria, reduce o inhibe la síntesis de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, inhibe la maduración, limita el ablandamiento (actividades pectinesterasa y poligalacturonasa), restringe los cambios de composición (pérdida de acidez y de azúcares, degradación de clorofila, desarrollo de antocianos, biosíntesis de carotenos y prevención del enranciamiento), preserva el valor nutritivo (vitaminas A y C), y reduce la velocidad de deterioro del órgano vegetal.

Además, la conservación en AC o AM evita el marchitamiento y sus efectos asociados, así como la sensibilidad de los productos a los daños mecánicos y al  $C_2H_4$ , cuando las concentraciones de  $O_2$  son inferiores al 8% y/o las de  $CO_2$  superiores al 1-2%, y con ello retrasa la senescencia. Se ha reseñado también la posibilidad de recolectar y comercializar productos más maduros y con mayor calidad de consumo, o de sustituir o reducir el uso de agentes químicos antiescaldado, fungicidas (con niveles de  $CO_2$  superiores al 10-15%) o insecticidas de cuarentena (10 al 20% de  $CO_2$  o muy pobres en  $O_2$ , del 0,02 al 2%). Igualmente, la AM está posibilitando la extraordinaria expansión industrial de los productos procesados en fresco, al posibilitar el mantenimiento de la calidad y evitar los riesgos de desarrollo microbiano sobre estos alimentos tan frágiles.

Cuadro 2. Efectos del empobrecimiento en Oxígeno de la Atmósfera de Conservación en Frutas y Hortalizas.

| Favorables                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Desfavorables<br>(Por debajo del límite inferior tolerable)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frenado de la actividad respiratoria y del calor desprendido en la respiración.</li> <li>• Aumento, en ciertos casos, de la duración de la conservación.</li> <li>• Frenado de la maduración y de la degradación clorofílica.</li> <li>• Frenado del metabolismo de azúcares, proteínas, lípidos, ácidos, vitaminas, pectinas, etc.</li> <li>• Disminución de la síntesis de <math>C_2H_4</math> y de compuestos aromáticos.</li> <li>• Disminución de algunos DF (escaldadura blanda, "core flush", etc) y de senescencia.</li> <li>• Reducción en fruta de pepita de algunas alteraciones fúngicas (<i>Gloeosporium sp.</i>).</li> <li>• A muy bajas concentraciones (ULO), menor desarrollo de algunos géneros fúngicos de alteración.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maduración anormal.</li> <li>• Fermentación propia con alteración de sabor y aroma.</li> <li>• Sensibilización de los tejidos a los DF y a elevadas concentraciones de <math>CO_2</math>, con desarrollo de pardeamientos y necrosis:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pardeamientos superficiales e internos, corazón pardo.</li> <li>- Formación de cavernas internas.</li> <li>- Formación de depresiones (picado) en la epidermis.</li> <li>- Necrosis de los tejidos.</li> </ul> </li> <li>• Desarrollo de alteraciones fúngicas de herida sobre tejidos dañados.</li> </ul> |

Fuente: Artés, 2000.

Finalmente conviene destacar en esta exposición, los efectos favorables de la AC o AM en la reducción de la incidencia y severidad de los DF en numerosos productos hortofrutícolas, lo que se comentará en detalle más adelante.

En resumen, los efectos beneficiosos de la modificación de la atmósfera de conservación frigorífica suelen manifestarse en una significativa reducción de pérdidas cualitativas y/o cuantitativas durante la manipulación, el almacenamiento, el transporte y la distribución de numerosos productos. Generalmente cuanto más baja es la concentración de  $O_2$  y más alta la de  $CO_2$  (dentro de los límites de tolerancia), y más larga es la permanencia del producto en AC o AM, más intensos son los efectos residuales favorables (Artés, 1996 y 2000 Kader, 1990).

Cuadro 3. Efectos del empobrecimiento en Dióxido de Carbono de la Atmósfera de Conservación en Frutas y Hortalizas

| Favorables                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Desfavorables<br>(Por encima del límite superior tolerable)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frenado de la actividad respiratoria y del calor desprendido en la respiración.</li> <li>• Frenado de la transpiración.</li> <li>• Aumento, en ciertos casos, de la duración de la conservación.</li> <li>• Disminución e incluso inhibición de la síntesis de <math>C_2H_4</math> y retraso en la aparición del climaterio.</li> <li>• Frenado de los procesos de maduración:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Frenado del metabolismo de azúcares, proteínas, lípidos, ácidos, vitaminas, pectinas, de la degradación clorofílica etc.</li> <li>- Mantenimiento de la textura.</li> <li>- Disminución en la fruta de pepita de la escaldadura, de pardeamientos de senescencia, y de ataques fúngicos (gloeosporiosis).</li> </ul> </li> <li>• En concentraciones superiores al 15%, ligera disminución del desarrollo de algunos hongos (<i>Botrytis spp</i>), bacterias (Gram negativas como <i>Pseudomonas spp</i>) e insectos (trips, áfidos, moscas de la fruta).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maduración anormal.</li> <li>• Alteración del sabor y aroma por formación de etanol, acetaldehído y otros compuestos.</li> <li>• Color anormal (degradación de antocianos).</li> <li>• Desarrollo de alteraciones específicas, como la mancha parda de la lechuga.</li> <li>• Sensibilización de los tejidos a los DF:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pardeamiento interno y superficial, corazón pardo, escaldadura, necrosis de los tejidos.</li> <li>- Formación de cavernas.</li> <li>- Decoloración de la pulpa (en frutos rojos).</li> <li>- Desarrollo de textura harinosa.</li> <li>- Pérdida de textura, ablandamiento y aspecto acuoso.</li> </ul> </li> <li>- Desarrollo de alteraciones fúngicas secundarias sobre tejidos dañados.</li> </ul> |

Fuente: Artés, 2000

## 5.2. Efectos perjudiciales

Si la concentración de  $O_2$  no desciende del 12% no suele ser efectiva, mientras que entre el 1 y el 2% de  $O_2$  (punto de extinción de la fermentación, variable con el producto), suele inducir la respiración anaerobia, que empeora la calidad de los vegetales en conservación. Más o menos al contrario sucede con el  $CO_2$ , por lo que los efectos de la modificación de la atmósfera se deben a la tolerancia particular de cada producto a los bajos niveles de  $O_2$  y a los moderados o elevados de  $CO_2$ . Los perjudiciales generalmente consisten (Kader, 1990) en un aumento de los riesgos de:

- ⟨ Inicio y/o agravamiento de desórdenes fisiológicos como el ennegrecimiento de la pulpa en patata, la mancha parda ("brown stain") en lechuga o el corazón pardo en manzana y pera.
- ⟨ Maduración anormal (banana, pera y tomate), cuando los niveles de  $O_2$  no alcanzan el 2 % y los de  $CO_2$  superan el 5%.
- ⟨ Desarrollo de aroma y sabor anómalos debidos al etanol y acetaldehído, cuando se produce anaerobiosis ( $O_2$  inferior al 1% y/o  $CO_2$  superior al 20%).
- ⟨ Aumento de la susceptibilidad a los ataques microbianos de los tejidos alterados por concentraciones inadecuadas de  $O_2$  o de  $CO_2$ .

⟨ Estimulación de la germinación y retraso del desarrollo del peridermo en algunos tubérculos y raíces, como las patatas.

## 6. EL CONTROL DE LOS DAÑOS POR EL FRÍO

No se conoce bien la relación entre los DF y las modificaciones del metabolismo vegetal, a pesar de su considerable trascendencia económica en la postrecolección, aunque se han producido notables progresos (Artés, 1995). En general se puede afirmar que no existen medios de lucha totalmente eficaces para evitarlos, excepto quizás los que limitan el estrés hídrico, estimulado de manera secundaria por las bajas temperaturas (Marcellin, 1992).. Aunque el mejor paliativo es mantener los productos a una temperatura superior al umbral crítico, se han propuesto diversos métodos para reducir la gravedad de los DF y algunos de ellos ofrecen un interés práctico relevante.

Por exceder el ámbito del presente trabajo, no se comentan los tratamientos químicos, como algunos antioxidantes (etoxiquina y difenilamina), fungicidas (benomilo, tiabendazol o imazalil), disoluciones de calcio, reguladores del crecimiento (etileno, ácido giberélico, ácido abscísico y análogos, jasmonato de metilo y el ácido jasmónico) o las poliaminas, para reducir los DF (Wang, 1991; Marcellin, 1992; Meir *et al.* 2000). Sin embargo, la preocupación de los consumidores por el empleo de sustancias químicas, que dejan residuos sobre los frutos y son potencialmente nocivas para el hombre y el medio ambiente, está erradicando su uso, que se sustituye por tratamientos físicos alternativos, en la vía irreversible de conseguir una producción de alimentos sostenible.

### 6.1. Tratamientos térmicos

Para restringir los DF, se han propuesto tratamientos térmicos moderados como el retraso del enfriamiento, acondicionamiento o curado (Marcellin y Ulrich, 1983; Artés, 1984 y 1995; Artés y Escriche, 1988a,b). La razón exacta de su eficacia para restaurar la alteración de los tejidos no es bien conocida, aunque depende mucho de la variedad y del estado fisiológico, habiéndose comprobado que los frutos inmaduros o precoces son más sensibles que los maduros o tardíos de la misma cosecha.

Para evitar la textura algodonosa del melocotón se ha propuesto que permanezca de 2 a 5 días entre 20 y 25 °C, antes de almacenarlos a 0°C, aunque existe riesgo de aumento de podredumbres (Artés *et al.*, 1999). Si el pomelo se almacena 1 semana a 21°C, se minimiza el picado y el pardeamiento superficial durante su posterior conservación a 10°C (Artés, 1995). Un acondicionamiento desde 10 hasta 4 °C, bajando 2 °C por semana, redujo los DF en mandarina "Fortune", sensible a temperatura inferior a 9°C, respecto al testigo conservado 4 semanas a 4 °C y 90% (Cuquerella *et al.*, 1988). La refrigeración por etapas de 3 ó 4 °C en banana, aguacate y tomate, disminuye los DF (Marcellin y Ulrich, 1983). El curado en aire a 35°C y 95% HR durante 3 días, de mandarina "Fortune", inhibió los DF durante 8 semanas de almacenamiento a 5°C y 90% HR (Martínez *et al.*, 1994).

El curado en aire es efectivo en la reducción de los DF, debido a la menor deshidratación, aunque en menor medida de lo sugerido por Wang (1991) y, sobre todo, al aumento de la resistencia a la difusión de gases ( $O_2$ ,  $CO_2$  y  $C_2H_4$ ) a través de la epidermis (Mc Donald *et al.*, 1993), generando una auténtica AM en el interior del fruto. También es muy eficaz el curado en agua caliente para evitar los DF. En nuestras experiencias, el curado en agua a  $53^\circ C$  durante 2 minutos, inhibió los DF en naranja "Navelate" almacenada 7 semanas a  $2^\circ C$  y 90-95% HR (Artés, 1999c).

Es muy notable el interés de los calentamientos intermitentes para favorecer la conservación frigorífica convencional o en AC de diversas especies hortofrutícolas sensibles. Consisten en someter los frutos a elevaciones periódicas de la temperatura, en el curso de la conservación frigorífica, durante la fase de latencia de la alteración, con duración e intensidad variables según los productos. Su eficacia se ha relacionado con la capacidad para eliminar posibles metabolitos tóxicos acumulados en células y tejidos a baja temperatura (Marcellin y Ulrich, 1983; Artés, 1995). Marcellin (1992), consideró este tratamiento de los más eficaces para minimizar los DF en los vegetales.

Hemos realizado numerosos ensayos en este campo (Artés, 1984 y 1995; Artés y Escriche, 1988a,b), aunque citaremos algunos recientes. En limón se han obtenido excelentes resultados para controlar DF, y también podredumbres, con un calentamiento durante 2 semanas a  $13^\circ C$  cada 2 semanas a  $2^\circ C$ , a lo largo de 2 meses de almacenamiento (Artés *et al.*, 1993). En melocotón, 3 ciclos de 8 días a  $0^\circ C$  y 1 día a  $20^\circ C$ , redujo el "mal radiante", frente a los testigos conservados 1 mes a  $0^\circ C$  (Fernández-Trujillo y Artés, 1997). La combinación de calentamiento intermitente de 4 ciclos de 1 día a  $20^\circ C$  cada 6 días a  $0^\circ C$  y envasado en película perforada también resultó eficaz para reducir la textura algodonosa, el mal radiante y la descomposición interna en melocotón "Miraflores" (Fernández-Trujillo y Artés, 1999). Un calentamiento intermitente de 4 ciclos de 6 días a  $9^\circ C$  y 1 día a  $20^\circ C$ , aplicado a tomate convencional "Darío F-150" y de larga duración "Daniela", eliminó los DF y redujo el desarrollo fúngico respecto a los testigos a  $9^\circ C$  (Artés y Escriche, 1994; Artés *et al.*, 1998).

Es importante la modulación tiempo-temperatura en la eficacia del calentamiento intermitente. En "Clementina Fina" un ciclo de 5 h por semana a  $20^\circ C$  durante 2 meses de conservación a  $2^\circ C$  controló los DF (1,5% frente al 9,8% en el testigo), mientras que aplicando 5 h a  $20^\circ C$  cada 2 semanas se contabilizó un 10,7% de daños. En naranja "Navel", sometida a esas mismas modulaciones, mientras el picado y la membranosis no se vieron afectadas por la distinta secuencia, solo la segunda controló la necrosis peripenduncular durante 3 meses a  $1^\circ C$  (Martínez *et al.*, 1987).

## 6.2. Tratamientos gaseosos

Numerosos trabajos muestran la eficacia de muy diversas composiciones de la atmósfera en la reducción de DF, y con frecuencia se asocia al efecto del  $CO_2$ . Algunas AC como las mezclas de aire y  $CO_2$  (10%, 20% o más), sin que aún se conozca bien porqué, reducen

ciertos DF en cítricos, melocotón, aguacate y pimiento. En la conservación de nectarinas durante 1 mes a 0° C en AC del 20% CO<sub>2</sub> y del 8% o 16% O<sub>2</sub>, con independencia del O<sub>2</sub>, el elevado nivel de CO<sub>2</sub> fue determinante para prevenir las alteraciones fisiológicas y mantener la firmeza (Retamales *et al.*, 1992).

En melón "Charentais" almacenado 12 días a 7°C en AM, concentraciones de CO<sub>2</sub> superiores al 11% inhibieron los efectos del elevado nivel de etileno (120 ppm) acumulado en el interior de los envases (ablandamiento, color, aroma y sabor anómalos y susceptibilidad a podredumbres), con mejor apariencia y prolongando la supervivencia comercial. Similares resultados se obtuvieron en calabacín conservado 16 días a 10°C, con concentraciones de CO<sub>2</sub> próximas al 10% (Rodov *et al.*, 1998). Estos mismos autores mostraron que el almacenamiento durante 14 días de pepino en AM a la temperatura subóptima de 7°C, redujo típicos DF como el picado, ablandamiento y la susceptibilidad a podredumbres, aunque no inhibió el amarilleamiento interno.

La aplicación durante un corto período de tiempo de altas concentraciones de CO<sub>2</sub> (choques de CO<sub>2</sub>), antes o durante la conservación frigorífica convencional, favorece la calidad de consumo de algunos cítricos, frutos de hueso y de pepita, frutos en baya, hortalizas, etc, al reducir los DF y los ataques fúngicos, y retrasar la senescencia, aunque su uso comercial es limitado y su aplicación no es generalizable (Marcellin y Ulrich, 1983; Artés, 1984; Artés y Escriche, 1988,a,b; Kader, 1990). El enriquecimiento periódico del aire (1 día por semana) y breve (1 a 3 días) en CO<sub>2</sub> (20 a 30%), durante la conservación frigorífica disminuye el pardeamiento interno del aguacate conservado a 4°C, o la membranosis del limón conservado a 2°C, aunque a veces estimula otras fisiopatías como la adustiosis del limón (Artés *et al.*, 1993).

Se ha estudiado la acción combinada de concentraciones de O<sub>2</sub> inferiores al 1% y de CO<sub>2</sub> superiores al 50% como tratamiento de cuarentena hortofrutícola, analizando la tolerancia del insecto y los procesos fisiológicos que inducen en el vegetal. Dada la corta duración del tratamiento, los daños son reducidos y las perspectivas de aplicación comercial son favorables (Ke y Kader, 1992).

El mantenimiento de una tensión de vapor de agua próxima a la saturación durante la conservación en AC o AM, inhibe el estrés hídrico de la postrecolección y con ello mejora en general la tolerancia al frío de numerosas especies como cítricos, tomate, pimiento, pepino y berenjena (Grierson *et al.*, 1982), reduciendo los daños o suprimiendo los síntomas. Sin embargo también se han observado efectos opuestos, y, en alguna ocasión, se ha comprobado que con una humedad relativa baja, algunos DF, como el "coreflush" y la descomposición interna de manzanas se reducen (Grierson y Wardowsky, 1978). Los recubrimientos céreos y los envases plásticos son generalmente muy eficaces para evitar los DF, aunque los resultados son difíciles de interpretar, a veces, si modifican la atmósfera de conservación. Así, la AC o AM reduce la mancha rosácea ("russet spotting") en lechuga (asociada a la acción del etileno) y la escaldadura en manzanas y peras (asociada a la emisión volátil y al a-farnaseno). También

el picado y la escaldadura del pomelo se llegan a inhibir con una envoltura plástica (Chun et al., 1988). Este efecto barrera provocado por la envoltura individual de los cítricos, había sido expuesto por Ben-Yehoshua et al. (1983). Los menores DF en "Clementina" conservada 40 días a 4°C en AC seguidos de 7 días en aire a 12°C y 85% HR, así como la mejor calidad sensorial, se obtuvo en los frutos bajo atmósferas del 10 al 12% de O<sub>2</sub> y del 0 al 2,5% de CO<sub>2</sub> (Artés, 1999c).

El tomate "Daniela" pintón, tratado con 1 g/l de iprodione, se ha conservado 3 semanas a 9°C en bolsas de polipropileno perforadas (aire) o herméticas (10% O<sub>2</sub> y 5% CO<sub>2</sub>), sin DF ni ataques fúngicos y con mínima deshidratación, incluso después de 3 días complementarios a 20°C y 75-80% HR. Por el contrario, los frutos verdes fueron más sensibles a las alteraciones (Artés, 1999b).

Los melocotones y nectarinas, que toleran concentraciones moderadas de CO<sub>2</sub>, se pueden almacenar sin DF en AC o AM entre 0 y 5°C, temperaturas a las que son sensibles (Luchsinger et al., 2000), sin que su efecto favorable para evitar DF pueda atribuirse a la reducción de la deshidratación. De nuevo, la menor susceptibilidad a los DF, y en particular la textura algodonosa, se asoció a una madurez más avanzada al iniciar la conservación, así como a la eficacia de la AM con CO<sub>2</sub> superior al 12% y O<sub>2</sub> menor del 5%, sin fermentación, que suele suceder a concentraciones de CO<sub>2</sub> superiores al 20% (Fernández-Trujillo y Artés, 1997; Zoffoli et al., 1998; Fernández-Trujillo et al., 1998).

Otro aspecto que interesa resaltar es que la depuración del etileno del ambiente de conservación frigorífica convencional o en AC, ha sido eficaz para reducir la escaldadura en diversas variedades de manzana (Pratella y Biondi, 1992). En la conservación de pomelo durante 10 semanas a 13°C, en AC (10%O<sub>2</sub> y 0%CO<sub>2</sub>), la eliminación constante del C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> redujo la adustiosis, oleocelosis y picado (Artés, 1995). Una posible explicación de este mismo efecto reductor de DF en melocotón y nectarina, relaciona la baja temperatura con la inhibición de la emisión de etileno y la retención de la firmeza del fruto (Luchsinger, 1996).

Podemos concluir que se debe intensificar el desarrollo de los tratamientos físicos descritos, profundizando en los fundamentos bioquímicos y fisiológicos de su efecto para paliar los DF. Habrá que investigar igualmente que una posible solución para controlar los DF en los productos sensibles, sea la obtención de especies transgénicas, mediante transferencia de genes resistentes al frío a especies sensibles, y la aplicación de técnicas de cultivo apropiadas para facilitar la conservación frigorífica de las cosechas producidas en las regiones cálidas (Patterson y Reid, 1990; Marcellin, 1992). En definitiva, los estudios acerca de la relación entre maduración, composición de la atmósfera y DF deben proseguir, para reducir tan importante capítulo de las pérdidas postrecolección.

## 7. Agradecimiento

Se agradece a la Fundación Séneca de la Región de Murcia y a la CICYT (Proyecto ALI-98-1006), la financiación para realizar experiencias relacionadas con el presente trabajo.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Artés, F. 1984. Pretratamientos térmicos y gaseosos en la conservación hortofrutícola. Alim. Equipos Tecnol. Nov-Dicbre. 83-86.
- Artés, F., Escriche, A. y Marín, J.G. 1993. Treating 'Primofiori' lemons in cold storage with intermittent warming and carbon dioxide. HortScience 28: 819-821.
- Artés, F. 1995. Innovaciones en los tratamientos físicos modulados para preservar la calidad de los productos hortofrutícolas en la postrecolección. I Pretratamientos térmicos. II. Tratamientos térmicos cíclicos. III Tratamientos gaseosos. Rev. Esp. Ciencia Tecnol. Alim. 35: 45-64, 35: 139-149 y 35: 247-269.
- Artés, F. 1996. Envasado de vegetales en atmósferas modificadas. En Jornada de Proyectos I+D de la UE sobre Aplicaciones de Nuevas Tecnologías a Alimentos Vegetales. Proyecto Flair - Flow. Instituto del Frío - CSIC. Madrid. 19 nov. 14 pág.
- Artés, F. 1997. Modalidades de aplicación del frío a los vegetales. II. Atmósferas controladas y modificadas. En: Curso de Aplicaciones del Frío a Productos de Origen Vegetal. 5º Curso Ing. Agrónomos. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Univ. Politécnica de Valencia. 21 pág.
- Artés, F. 1999a. Conservación de productos hortofrutícolas en atmósferas controladas y modificadas. V Curso Superior Ingeniería y Aplicaciones del Frío en la Conservación de Vegetales. CEBAS - CTC. 28 pág.
- Artés, F. 1999b. Nuevas tendencias en la postrecolección del tomate fresco. Alim. Equipos Tecnol. Junio. 5: 143-151.
- Artés, F. 1999c. Innovaciones tecnológicas para mejorar la calidad de la naranja y mandarina en la postrecolección. IV Cong. Citricultura. La Plana. Edit. Promociones LAV. 181-205.
- Artés, F. 2000. Conservación de los productos vegetales en atmósfera modificada. En: Aplicación del frío a los alimentos. Ed: M. Lamúa. Edit. Mundi Prensa. Cap. 4. 105-125.
- Artés, F. y Escriche, A.J. 1988a. Nuevas tecnologías de frigoconservación hortofrutícola. En: Maduración y Postrecolección de Frutos y Hortalizas. Edit. SEFV y CSIC. 173-194.
- Artés, F. y Escriche, A. 1988b. Maladies physiologiques des agrumes et nouvelles techniques de réfrigération. Rev. Gén. Froid, 47-51.
- Artés, F. y Escriche A.J. 1994. Intermittent warming reduces chilling injury and decay of tomato fruit. J. Food Sci. 59: 1053-1056.
- Artés, F., Sánchez, E. y Tijssens, L.M.M. 1998. Quality and shelf life of tomato improved by intermittent warming. Lebens. Wiss. Technol. 31: 427-431.
- Artés, F., Tudela, J.A., Villaescusa, R., Artés H., F. y Luchsinger, L. 1999. Efecto del retraso del enfriamiento y de la atmósfera modificada en los niveles de pérdidas postrecolección de duraznos "Catherine". 50 Cong. Soc. Agronómica Chile. Pucón. Temuco. Pág. 705.

- Báez, R., Ojeda, C.J., Mercado, R.J.N., Mendoza, W.A.M. y Bringas-Taddei, E. 1998. Manejo de postcosecha del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). En: Manejo Postcosecha Frutas Verduras Iberoamérica. Ed: R. Báez. Edit. CYTED. 15:104-109.
- Ben-Yehoshua, S., Shapiro, B., Chen, Z.E. y Lurie, S. 1983. Mode of action of plastic film in extending life of lemon and bell pepper fruits by alleviation of water stress. *Plant Physiol.* 73: 87-93.
- Chun, D., Miller, W.R. y Risse, L.A. 1988. Grapefruit storage decay and fruit quality after high-temperature prestorage conditioning at high and low humidity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113: 873-876.
- Cuquerella, J., Saucedo, C., Martínez, J.M. y Mateos, M. 1988. Influencia de la temperatura y envolturas plásticas en la conservación de mandarina "Fortune". *Actas III Cong. Soc. Esp. Ciencias Hortícolas.* 2: 410-416.
- Côme, D. y Corbineau, F. 1994. Effets cellulaires et métaboliques du froid sur les produits végétaux. *IIF. Brest.* 5:17-28.
- Fernández-Trujillo, J.P. y Artés, F. 1997. Quality improvement of peaches by intermittent warming and modified atmosphere packaging. *Z. Lebens. Unters. Forschung.* 205: 59-63.
- Fernández-Trujillo, J.P. y Artés, F. 1999. Conservación frigorífica de melocotón bajo propileno perforado y calentamiento intermitente. *Rev. Iberoamericana Tecnol. Postcosecha.* 1:12-15.
- Fernández-Trujillo, J.P., Martínez, J.A. y Artés, F. 1998. Modified atmosphere packaging affects the incidence of cold storage disorders and keeps flat peach quality. *Food Res. Intern.* 31, 8:571-579.
- Grierson, W., Soule, J. y Kawada, K. 1982. Beneficial aspects of physiological stress. *Horticultural Reviews,* 4: 246-271.
- Grierson W. y Wardowski W.F. 1978. Relative humidity effects on the postharvest life of fruits and vegetables. *HorstScience.* 5:22-26.
- Hardenburg, R.E. Watada, A.E. y Wang, C.Y. 1990. The commercial storage of fruits vegetables and florist and nursery stocks. *Agricultural Handbook 66.* Ed. USDA. Washington. 130 pág.
- Jackman, R.L., Yada, R.Y., Marangoni, A., Parkin, K.L. y Stanley, D.W. 1988. Chilling injury. A review of quality aspects. *J. Food Quality.* 11: 253-278.
- Kader, A.A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technol.* 5: 99-104.
- Kader, A.A. 1990. Modified atmospheres during transport and storage of fresh fruits and vegetables. *I Int. Cong. Food Technol. Develop. Murcia.* 1: 149-163.
- Ke, D. y Kader, A.A. 1992. External and internal factors influence fruit tolerance to low-oxygen atmospheres. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 913-918.
- Lance, C. y Moreau, F. Les effets métaboliques du froid. En: *Les végétaux et le froid.* Ed. D. Côme. Edit. Hermann. 2, 27-50.1992.
- Luchsinger, L.E. 1996. Quantification of peach fruit maturity, chilling injury and changes in cell wall composition during storage. Ph.D. Tesis. Univ. of Maryland. USA. 135 pág.
- Luchsinger, L. Morales, R. Escalona, V. y Artés F. 2000. Comportamiento postcosecha en frutos de nectarin var. *Summer Bright, Summer Fire y Red Glen* en atmósfera controlada. 2º Cong. Iberoamericano Tecnol. Postcosecha Agroexportaciones. Santa Fé de Bogotá. Julio. 2000.

- Marcellin, P. 1992. Les maladies physiologiques du froid. En: Les végétaux et le froid. Ed. D. Côme. Ed. Hermann. París. 53-105.
- Marcellin, P. y Ulrich, R. 1983. Comportement des fruits et légumes en conditions modulées et programmées. *Int. J. Refrigeration*. 6: 329-336.
- Martínez, J.M., Mateos, M., Cuquerella, J. y Navarro, P. 1987. Improving storage life of citrus fruits by temperature management. XVIIth Int. Cong. Refrigeration. 3: 321-326.
- Martínez, J.M., Cuquerella, J., Del Río, M.A. y Navarro, P. 1994. High temperature conditioning of "Fortune" mandarine to reduce chilling injury during low temperature storage. En: Contribution du froid à la préservation de la qualité des fruits, légumes et produits halieutiques. Ed: A. Lahmam Bennani et D. Messaho. Edit. Actes. Rabat. Chap. 8. 87-92.
- Mazliak, P. 1992. Les effets du froid sur les biomembranes. En: Les végétaux et le froid. Ed. D. Côme. Edit. Hermann. Chap. 1:3-26.
- Mc Donald, R.E., Mc Collum, T.G. y Nordby, H.E. 1993. Temperature conditioning and surface treatments of grapefruit affect expression of chilling injury and gas diffusion. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118: 490-496.
- Meir, S., Philosoph-Hadas, S., Porat, R., Davidson, H., Salim, S., Cohen, I., Weiss, W. y Droby, S. 2000. Methyl jasmonate induces resistance against postharvest pathogens of cut rose flowers and citrus fruits. *Postharvest 2000. Abstracts*. Jerusalem. March. Pág 8.
- Mercado-Silva, E. y Cantwell, M. 1998. Quality changes in Jicama roots stored at chilling and nonchilling temperatures. *J. Food Qual.* 3: 211-221.
- Patterson, B.D. y Reid, M.S. 1990. Genetic and environmental influences on the expression of chilling injury. En: *Chilling injury of horticultural crops*. Ed. C.Y. Wang. Edit. CR Press. 87-112.
- Pratella, G.C. y Biondi, G. 1992. Nuevas adquisiciones en la prevención de las enfermedades de la postrecolección de la fruta. *Frut.* 1:6-23.
- Rodov, V., Copel, A., Aharoni, N., Nir, M., Shapira, A. y Gur, G. 1998. Modified atmosphere packaging of cucurbit vegetables. COST Meeting. Madrid. Octubre. En prensa.
- Retamales, J., Cooper, T., Streif, J. y Kania, J.C. 1992. Preventing cold storage disorders in nectarines. *J. Hortic. Sci.* 67: 619-626
- Wang, C.Y. 1991. Reduction of chilling injury in fruits and vegetables. *Postharvest News Inform.* 3: 165-168.
- Zoffoli, J.P., Rodríguez, J., Aldunce, P. y Crisosto, C.H. 1998. Atmósfera modificada en frutos de duraznos "Elegant lady" y "O'Henry". *Fruticola* 18, 2: 59-65.

# EFFECTOS DE DIFERENTES FUENTES DE CALCIO EN MELOCOTONES (*Prunus pérsica* L. Batsch).

**Reginaldo Báez-Sañudo, Rosalba Troncoso-Rojas, Elsa Bringas-Taddei, Javier Ojeda-Contreras y Ana Ma. Mendoza-Wilson.**

*Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Tecnología de Alimentos de Origen vegetal.  
Carr. a La Victoria Km. 0.6 (Apdo. Postal 1735). Hermosillo, Sonora. México.  
Tel./Fax (+52)(62) 80-04-22 e-mail rbaez@cascabel.ciad.mx*

---

## INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años, muchos investigadores han centrado su interés en el calcio, debido al papel tan importante que juega este ión en el mantenimiento de la calidad de las frutas y hortalizas.

Existen evidencias que el calcio tiene efectos benéficos como el retardo de la senescencia y el control de desórdenes fisiológicos como la mancha corchosa, mancha amarga, rompimiento y decaimiento interno por las bajas temperaturas y el corazón blando de la manzana, pudrición del pedúnculo en aguacate y ablandamiento de mangos con períodos cortos de almacenamiento, (Shear, 1975; Bangerth, 1979; Drake y Spayd, 1983; Conway, 1987; Perring y Pearson, 1987).

Los iones calcio son mensajeros intracelulares importantes en las plantas. Varios aspectos fisiológicos de la célula se ven influenciados por los cambios en la estructura de la pared celular, permeabilidad en las membranas y activación enzimática, las que a su vez se ven alteradas por la presencia de calcio que es transportado por medio de la calmodulina. Recientes evidencias experimentales sugieren que ciertas funciones celulares son reguladas parcialmente por el calcio y la calmodulina (Poovaiah, 1986).

Estudios de senescencia de hojas y madurez de fruto han indicado que frecuentemente la senescencia depende del nivel de calcio en el tejido, y que debido al incremento de los niveles de éste, se alteran varios parámetros como la respiración, el contenido de clorofila, proteína y la fluidez de la membrana (Sams y Conway, 1984; Poovaiah, 1986).

## Aplicaciones de calcio en frutas

Los tratamientos o aplicaciones se pueden realizar tanto en pre como en postcosecha. Las aplicaciones en postcosecha no son efectivas para controlar los desórdenes que ocurren en el árbol y pueden causar daños en la fruta a ciertos niveles (Drake y Bramlage, 1983).

Por otro lado, las aplicaciones realizadas en precosecha son muy utilizadas, aunque es necesario hacer varias aplicaciones para obtener buenos resultados y ello implica mayor costo

(Drake y Bramlage, 1983; Perring, 1979; Glenn y Poovaiah, 1985).

Se ha menciona que las aspersiones en precosecha necesitan ser aplicadas repetidamente a lo largo de las etapas de crecimiento Johnson (1979). Sin embargo, el riesgo de dañar a las hojas y frutas limita la concentración de sales que pueden utilizarse en cada aplicación. La absorción de calcio es alta cuando se utilizan concentraciones altas de calcio en solución, pero en la práctica, el riesgo de daño por quemaduras o fitotoxicidad limita la relación de aplicación. Además, la incorporación de un adherente o surfactante puede aumentar la velocidad inicial de absorción, pero no necesariamente el calcio total absorbido (Mason y cols., 1974).

Las aspersiones de calcio en forma de cloruros, nitratos y cal hidratada, reducen la incidencia de manchas en manzanas Jonathan. Aunque por otra parte, se ha reportado que los iones cloruro presentan un efecto tóxico sobre el follaje de durazno (melocotón) (Singh y cols., 1982).

Algunos estudios reportan que la dosis, dependiendo de la solución de calcio aplicada, puede producir efectos indeseables sobre las frutas, como consecuencia del exceso de calcio en tejidos; tal exceso puede considerarse a partir de una concentración de 2.5% (Heather, 1977). Scott y Willis (1975) observaron que al aplicar  $\text{CaCl}_2$  después de la cosecha a manzanas "Jonathan", se redujo el rompimiento interno de éstas. En manzanas "McInstosh", la aplicación de  $\text{CaCl}_2$  al 2% (peso/peso) en postcosecha retardó la pérdida de firmeza durante el almacenamiento en frío (Mason, 1976). Poovaiah (1978), observó que la aplicación de  $\text{CaCl}_2$  a presión o vacío sobre manzanas "Golden Delicious", fue efectiva para controlar la pérdida de firmeza de la fruta, la mancha amarga y la senescencia. Asimismo, Drake y Spayd (1983) observaron que la aplicación de  $\text{CaCl}_2$  al 3% con presión por 8 min., mantuvo la firmeza en manzanas "Golden Delicious". En durazno "Sharbati", las aplicaciones de nitrato de calcio al 1% realizadas 3 veces en precosecha, redujeron la pérdida de peso, velocidad de respiración, el porcentaje de daños y aumentaron la vida de almacenamiento (Singh y cols., 1982). Así mismo, se ha observado que al aplicar pequeñas dosis de calcio (2 y 9 ppm) en precosecha, se obtienen frutos pequeños con menos color rojo, pero más firmes que al aplicar 180 y 270 ppm (Abdalla y Childers, 1973).

En el cuadro 1 se muestran algunos ejemplos de los posibles efectos del calcio sobre tejidos vegetales (Monseline y Goren, 1987). Además de estos efectos, se han descubierto dos aspectos centrales del estado del  $\text{Ca}^{2+}$  en tejido animal y vegetal: (a) el mantenimiento de concentraciones extremadamente bajas de calcio libre en el citoplasma celular y (b) la presencia de calcio unido a proteínas y su papel en respuestas metabólicas intracelulares (Marmé, 1985; Ferguson y Drobak, 1988; Poovaiah, 1988). El nivel de concentración de calcio libre en el citoplasma, que es extremadamente bajo ( $<1 \mu\text{M}$ ), es influenciado por factores extracelulares, tales como luz, gravedad y hormonas (Wiersum, 1979; Poovaiah, 1988). Dentro de la célula, se encuentran cantidades altas de calcio principalmente en el retículo endoplásmico, mitocondria, cloroplastos y la vacuola (Roux y Slocum, 1982; Marmé, 1985). La distribución de este ión a nivel intracelular juega un papel crítico en las funciones celulares.

Cuadro 1. Posibles efectos del calcio sobre tejidos vegetales

| Localización  | Posibles efectos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Enzimas       | Control de la calmodulina y activación de enzimas que requieren calcio como segundo mensajero.<br>Bombas de calcio (Ca-Atpasa)<br>Fosforilación (proteína quinasas de calcio).<br>Inhibición de algunas enzimas del metabolismo celular.                                                                                                                       |
| Pared celular | Efectos adherentes sobre la lámina media, debidos a la disminución de la "harinosidad", por la formación de pectatos de calcio.                                                                                                                                                                                                                                |
| Membranas     | El calcio estabiliza las membranas debido a la disminución del enlace de solutos de los organelos.<br>El calcio reduce la respiración, por la limitada difusión de sustratos provenientes de las vacuolas del citoplasma.<br>El calcio reduce el daño interno, ya que previene la unión de sustratos fenólicos susceptibles a oxidación por polifenoloxidasas. |

Tomada de Monseline y Goren (1987).

### Efecto del calcio sobre las membranas celulares

Muchos de los desórdenes que ocurren en frutas por deficiencia de calcio probablemente se deben al mal funcionamiento de membranas dañadas que llevan a una desorganización de su compartimentalización metabólica (Bangerth, 1979).

La acción del calcio sobre las membranas se puede ver como una interacción continua con otros iones. Algunos cationes, dependiendo de su concentración, pueden sustituir al calcio en sus sitios de unión en las membranas. Sin embargo, solo el manganeso y el estroncio pueden desplazar al calcio sin causar gran aumento en la pérdida de compartimentalización (Bangerth, 1979; Ferguson, 1984).

En la mayoría de los tejidos vegetales, solo las concentraciones de magnesio, potasio e hidrógeno tienen un fuerte efecto antagónico sobre el calcio. Sin embargo su capacidad es limitada para estabilizar las membranas. Estos iones después de reemplazar al calcio, aumentan significativamente la permeabilidad (Bangerth, 1979; Paliyath y cols., 1984; Ferguson, 1984).

Aunque el calcio generalmente es reconocido como un factor importante para mantener la permeabilidad y la compartimentalización celular, es poco lo que se conoce acerca de las reacciones bioquímicas y fundamentales de estas interacciones de calcio en membrana (Bangerth, 1979; Ferguson, 1984).

Se han observado grandes diferencias en la integridad de las membranas en tomates y manzanas que han sido tratadas con calcio y cuando hay deficiencia de éste se han presentado deterioros en el réculo endoplásmico, tonoplasto y plasmalema. La membrana de la mitocondria que acumula más calcio el el citoplasma, tiene gran resistencia al rompimiento. Se ha observado que incluso membranas que se han desorganizado mucho, pueden ser organizadas por la adición de calcio (Bangerth, 1979).

Por otro lado, la correlación que existe entre el contenido de calcio y la velocidad de respiración después de la cosecha, se puede explicar en parte por una permeabilidad alterada en la membrana (Bramlage y cols., 1974). En este caso, el calcio puede reducir el catabolismo del sustrato endógeno, limitando la difusión de éste de la vacuola a las enzimas respiratorias en el citoplasma. Al acelerarse la velocidad de respiración como consecuencia de la falta de calcio, se puede disminuir la capacidad de almacenamiento de los frutos y el desarrollo de ciertos compuestos tóxicos volátiles (Bangerth, 1979).

### **Efecto de calcio sobre paredes celulares**

En observaciones realizadas con microscopio electrónico y de luz sobre tejidos de manzana conteniendo bajas concentraciones de calcio, se ha comprobado una desorganización muy grande en las paredes celulares, debido al rompimiento de los tejidos deficiente en calcio (Bangerth, 1979).

Monseline y Goren (1987) mencionan que la desintegración de la pared celular en manzana, se ha relacionado con el contenido de calcio en el fruto y la apariencia de harinosidad. Esta debilidad en paredes celulares puede facilitar el estallamiento de células, lo que llevaría a un decaimiento interno y una disminución en la rigidez de la pared celular.

El calcio juega un papel muy importante en establecer y mantener la integridad de las paredes celulares, pues la mayoría del calcio que penetra en los tejidos, aparentemente se acumula en la región entre pared celular y lámina media (Burns y Presseg, 1987) en donde interacciona con el ácido péctico para formar pectato de calcio, lo que le confiere la estabilidad y mantiene la integridad de éstas (Povaiah, 1986).

### **Absorción de nutrientes aplicados foliarmente**

De acuerdo a Swietlik y cols., (1984), la absorción de nutrientes a través de las hojas involucra 3 pasos. Después que los minerales se depositan en la superficie de las hojas, éstos penetran la cutícula y pared epidermal por medio de difusión, después son adsorbidos sobre la superficie de las membranas plasmáticas, y posteriormente pasan a través de éstas y entran al citoplasma.

La primera barrera que limita la absorción de nutrientes es la cutícula (Johnson, 1979) que está compuesta por 2 capas. La capa exterior está constituida completamente de cutina cubierta por cera, y la capa interior está compuesta por celulosa y sustancias pecticas incrustadas con cutina y con trozos de cera cuticular. La membrana cuticular completa está separada de las células epidermales por una capa de pectinas (Glenn y Poovaiah, 1985).

La cera epicuticular es la más externa y más hidrofóbica de la superficie de la hoja, en donde las aspersiones son depositadas. La cutícula, constituida de ácidos grasos hidroxipoliesterificados, es la más hidrofílica por la presencia de grupos polares atrayentes de agua a través de puentes de hidrógeno. Otros componentes de la cutícula como las sustancias pectináceas y proteínas, presentan una gran capacidad para absorber agua y servir así como caminos polares para el agua y solutos (Swietlik y cols. 1984).

### **Penetración a través de la cutícula**

Se ha observado que microfibrillas de polisacáridos en la cutícula de hojas de manzana llevan una forma continua hacia la superficie de las paredes de células epidermales, que sirven como un camino de transporte polar (Glenn y cols. 1985).

Swietlik y cols., (1984) mencionan la existencia de canales transcuticulares con grupos carboxilos en la cutícula de cítricos. Estos se propusieron como caminos polares de penetración. Los canales pueden dilatarse o contraerse para la difusión de agua y solutos en función de la disociación e hidratación de grupos carboxilos.

La penetración de los nutrientes a través de la cutícula de la hoja puede ser por medio de los poros estomatales. Esta ruta no pasa la barrera cuticular ya que estas aberturas son invaginaciones y no perforaciones cuticulares.

Sin embargo, la cutícula que cubre la cavidad estomatal está hidratada y libre de cera. De ésta manera, la infiltración estomatal por líquidos puede aumentar fuertemente la absorción de la hoja (Schonherr y Bukovac, 1972).

Los tricomas también pueden servir como puerta de entrada a los nutrientes aplicados foliarmente. La importancia de este camino para la absorción de nutrientes depende de la extensión y localización de tricomas cutinizados, que a través del plasmalema hacia las células de las hojas, en donde pueden estar involucrados en la síntesis de compuestos orgánicos. Además, el transporte de nutrientes absorbidos por la célula, pueden proseguir a través de caminos simplásticos hacia el tejido vascular, o los nutrientes pueden dejar las células y entrar al espacio libre de tal forma, que subsecuentemente son cargados dentro de la pared tubular (Swietlik y Faust, 1984).

### **Absorción de calcio**

Ferguson y Watkins (1985), mostraron que la absorción de calcio dentro del espacio libre del tejido cortical de la manzana constituyó el 80% del calcio total absorbido. Esto indica que poco calcio es transportado a través del plasmalema dentro de las células.

Las interacciones con otros iones puede influir sobre la absorción de calcio, pues existe una competencia específica por los cationes  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  y  $NH_4^+$  que pueden disminuir significativamente la absorción de calcio (Wiersum, 1979).

Asimismo se ha observado una disolución de cristales de oxalato de calcio en varios tejidos, principalmente en plantas perennes, en donde se ha fijado el calcio en forma temporal (Redmond, 1975).

El calcio entra a la planta a través de las raíces, en donde se mueve lateralmente, principalmente dentro de los espacios apoplásticos alrededor de las células corticales de las raíces, hasta alcanzar la endodermis. En regiones maduras de la raíz engrosada, las paredes suberizadas de la endodermis proporciona una barrera permeablemente sustancial para promover el movimiento apoplástico (Bangerth, 1979).

El calcio parece incapaz de moverse libremente por caminos simplásticos y cuando los apoplásticos son bloqueados, se reduce el movimiento del calcio, lo que puede ser una consecuencia particular en la distribución de calcio dentro de las hojas y en la carga de calcio dentro del floema para llevarlo a otras partes, ya sea hacia el desarrollo de semillas, como en la distribución dentro de los frutos (Bramlage y cols. 1979; Ferguson y Watkins, 1981).

### **Translocación de calcio**

Generalmente se considera que el calcio al ser absorbido por las raíces es transportado hacia las hojas en el xilema, en donde este elemento es relativamente móvil, y puede ser suministrado a las frutas, excepto en la parte más temprana de la estación cuando el transporte es por vía floema, en donde el calcio se mueve mucho menos rápido que por ejemplo potasio (Swietlik y Faust, 1984).

La mayoría del calcio se presenta eventualmente en las frutas durante las primeras 4 ó 5 semanas de desarrollo, cuando se están formando las paredes celulares (Ford y Quinlan, 1979). En el último estado, hay muy poco aumento de éste ión en la fruta. Caso contrario sucede con el potasio, el que continúa acumulándose durante todo el período de crecimiento (Glenn y cols., 1985).

Debido a que el transporte por el xilema se considera ser la principal ruta de traslocación del calcio, se han retomado varios experimentos para investigar los factores que pueden afectar este proceso. A diferencia de otros cationes monovalentes, el calcio no se mueve con el flujo de masa, sino por un proceso de intercambio con grupos moleculares cargados negativamente (pectinas y ligninas) en el xilema (Bangerth, 1979).

Algunos agentes quelantes no cargados o complejos iguales cargados negativamente con calcio, pueden prevenir el proceso de adsorción y acelerar la translocación de calcio. Los ácidos málico y cítrico, pueden ser buenos candidatos para secuestrar el calcio en la mayoría de las plantas, por su concentración en el xilema y la estabilidad constante de su complejo con calcio. Mientras Ferguson (1979), menciona que una pequeña cantidad de calcio en el xilema de un árbol joven de manzana puede estar en una forma quelatada. A través de mediciones realizadas con un ión electodo selectivo, se concluye que aproximadamente el 50% del calcio se encuentra probablemente en forma secuestrada (Bangerth, 1979).

Durante su paso a través del xilema, parte del calcio es transportado hacia los lados lateralmente y generalmente se pierde como precipitado de oxalato de calcio. En la corteza de los árboles y en los pedicelos de manzana, se han encontrado altas cantidades de calcio inmovilizado. Diferentes especies y variedades muestran una variación considerable en su capacidad para inmovilizar calcio, y esto afecta la susceptibilidad de plantas u órganos de plantas provocando deficiencia de calcio. (Roux y Slocum, 1982).

## **Distribución de calcio en los frutos**

Las semillas y frutos, son los órganos donde se manifiesta el resultado de la inmovilidad de calcio. Si se observa una fruta entera como la manzana, el mayor porcentaje de calcio es alcanzado durante sus primeras etapas de crecimiento cuando el xilema es el principal suministrador de agua y solutos (Ford y Quinlan, 1979).

También se ha observado que la distribución de calcio en el fruto es desigual, ya que las semillas y cáscaras tienen una concentración mucho más alta que la pulpa (Ford y Quinlan, 1979). La imposibilidad del calcio para moverse libremente en la corteza, se ha demostrado en experimentos en donde el calcio se ha aplicado en un solo lado de la fruta y no en el otro. El lado tratado no presentó síntomas de deficiencia de calcio como la mancha amarga, mientras que el lado no tratado sí los presentó (Ferguson, 1979).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la aplicación de 3 fuentes de calcio a 2 concentraciones cada una y con diferente número de aplicaciones, sobre la calidad final de los frutos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Tratamientos de calcio**

Se seleccionaron aleatoriamente 30 árboles sanos de aproximadamente 8 años de productividad constante, e inmediatamente después se sometieron a un sorteo completamente al azar para designar 24 tratamientos de calcio diferentes y 6 testigos (1 árbol/tratamiento).

Los tratamientos de calcio consistieron en la aplicación de las siguientes soluciones de calcio sobre los árboles de durazno:

Nitrato de calcio al 2.5% y 5.0% como material comercial, que equivale al 0.5 y 1.0% de calcio activo.

Quelato de calcio al 5.0% y 10.0% como material comercial, que equivale al 0.5 y 1.0% de calcio activo.

Fosfato de calcio al 5.0 y 10.0% como material comercial, que equivale al 0.5 y 1.0% de calcio activo.

A estas soluciones se les adicionó el surfactante "Tritón" al 0.3% (v/v), con la finalidad de aumentar la efectividad de las aplicaciones realizadas. Para la aplicación de éstas se utilizaron bombas aspersoras de 15 litros de capacidad.

Las diferentes aplicaciones se realizaron en las siguientes fechas:

| Aplicaciones | Fechas de aplicación                      |
|--------------|-------------------------------------------|
| 1            | 53 días después de floración              |
| 2            | 53 y 63 días después de floración         |
| 3            | 53, 63 y 73 días después de floración     |
| 4            | 53, 63, 73 y 78 días después de floración |

### **Evaluación física**

A un grupo de 5 frutos por cada tratamiento se les determinó su peso, diámetro y firmeza.

El peso se obtuvo mediante una balanza granataria (OHAUS), y el diámetro se midió utilizando un vernier sobre la parte media ecuatorial de los frutos.

La firmeza se midió utilizando un penetrómetro (Chatillón DFG 50) con el que se obtuvo el esfuerzo de penetración a la pulpa en libras fuerza.

### **Evaluación química**

Al segundo grupo compuesto por 10 frutos por cada tratamiento se les determinó lo siguiente:

Contenido de humedad de acuerdo al método descrito por Abdalla y Childers (1973). pH, utilizando un potenciómetro (pH meter Corning 140), de acuerdo a las técnicas reportadas por la AOAC (1984).

Acidez titulable, se obtuvo mediante titulación con hidróxido de sodio al 0.1N (AOAC, 1984).

Sólidos solubles (°Brix), utilizando un refractómetro ABBE (American Optical Corporation 10450), de acuerdo a las técnicas reportadas por la AOAC (1984).

Los iones de Calcio se cuantificaron por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 4000 (AOAC, 1984).

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Peso**

Todos los tratamientos registraron mayor peso que el testigo, como se puede observar en el cuadro 2, en donde además se muestran las diferencias significativas encontradas entre los diferentes tratamientos. Estadísticamente los frutos que registraron el mayor peso (170.93 g), fueron los que recibieron 2 aplicaciones de fosfato de calcio al 1.0%. Caso contrario ocurrió al aplicar 2 veces fosfato de calcio al 0.5% sobre los árboles, que dio como resultado frutos con un peso menor (75.86 g) con respecto a los demás tratamientos. Esto puede indicar que esta solución de Calcio a dosis menores resultó ser dañina para los frutos, inhibiendo su crecimiento.

Cuadro 2: Valores de peso (g) obtenidos en duraznos "Flordaprince" aplicados con soluciones de calcio y cosechados 83 días después de floración.

| Producto                 | Número de Aplicaciones |                     |          |         |
|--------------------------|------------------------|---------------------|----------|---------|
|                          | 1                      | 2                   | 3        | 4       |
| Nitrato de calcio (0.5%) | 113.78i                | 145.37c             | 110.39j  | 115.40i |
| Nitrato de calcio (1.0%) | 128.48ef               | 119.00h             | 127.89ef | 105.31k |
| Quelato de calcio (0.5%) | 142.05c                | 130.83e             | 105.59k  | 144.20l |
| Quelato de calcio (1.0%) | 127.88ef               | 121.80g             | 125.47f  | 160.38b |
| Fosfato de calcio (0.5%) | 135.40d                | 75.86m              | 123.55g  | 124.87f |
| Fosfato de calcio (1.0%) | 120.34g                | 170.93 <sup>a</sup> | 130.48e  | 138.05d |
| Testigo                  | 109.67j                |                     |          |         |

\*Los valores que presentan distinto superíndice, son diferentes significativamente, de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, a un nivel de probabilidad de 0.05

### Diámetro

Los frutos que registraron menor diámetro que el testigo, fueron aquellos que recibieron 2 aplicaciones de fosfato de calcio al 0.5%, cuyo diámetro fue de 5.25 cm; mientras que el testigo registró un valor de 5.91 cm. Los frutos que registraron el mayor diámetro, fueron los que recibieron 2 aplicaciones de fosfato de calcio al 1.0% (6.65 cm), pero con una firmeza muy por debajo (14.45 lb-fuerza) de aquella registrada en los frutos testigo (18-23 lb-fuerza) (Cuadro 3)

### Firmeza

Los frutos que registraron el valor de firmeza más alto estadísticamente, fueron aquellos que recibieron 2 aplicaciones de quelato de calcio al 1.0% (18.98 lb-fuerza); mientras que los frutos que recibieron 4 aplicaciones de nitrato de calcio al 0.5% registraron el valor menor de firmeza (12.84 lb-fuerza)(Cuadro 4)

Cuadro 3: Valores de diámetro (cm) obtenidos en duraznos "Flordaprince" aplicados con soluciones de calcio y cosechados 83 días después de floración

| Producto                 | Número de Aplicaciones |                   |        |        |
|--------------------------|------------------------|-------------------|--------|--------|
|                          | 1                      | 2                 | 3      | 4      |
| Nitrato de calcio (0.5%) | 5.71e                  | 6.38c             | 5.70e  | 5.87de |
| Nitrato de calcio (1.0%) | 6.16cd                 | 6.12cd            | 5.92de | 5.91de |
| Quelato de calcio (0.5%) | 6.26c                  | 6.01d             | 5.81e  | 6.28c  |
| Quelato de calcio (1.0%) | 6.08cd                 | 5.97d             | 5.75e  | 6.60ab |
| Fosfato de calcio (0.5%) | 6.15cd                 | 5.25f             | 5.86de | 6.01d  |
| Fosfato de calcio (1.0%) | 6.31c                  | 6.65 <sup>a</sup> | 6.46b  | 6.28c  |
| Testigo                  | 5.91de                 |                   |        |        |

\*Los valores que presentan distinto superíndice, son diferentes significativamente, de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, a un nivel de probabilidad de 0.05

Cuadro 4: Valores de firmeza (lb-fuerza obtenidos en duraznos "Flordaprince" aplicados con soluciones de calcio y cosechados 83 días después de floración

| Producto                 | Número de Aplicaciones |                    |         |         |
|--------------------------|------------------------|--------------------|---------|---------|
|                          | 1                      | 2                  | 3       | 4       |
| Nitrato de calcio (0.5%) | 15.85e                 | 14.58h             | 18.09c  | 12.84j  |
| Nitrato de calcio (1.0%) | 16.31de                | 14.20ki            | 15.25fg | 15.90e  |
| Quelato de calcio (0.5%) | 15.85e                 | 16.82d             | 16.92d  | 16.08e  |
| Quelato de calcio (1.0%) | 14.64h                 | 18.98 <sup>a</sup> | 15.08fg | 13.73i  |
| Fosfato de calcio (0.5%) | 16.66d                 | 16.31de            | 16.73d  | 15.71f  |
| Fosfato de calcio (1.0%) | 14.45h                 | 14.45h             | 16.48d  | 15.14fg |
| Testigo                  | 18.23b                 |                    |         |         |

\*Los valores que presentan distinto superíndice, son diferentes significativamente, de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, a un nivel de probabilidad de 0.05

### Sólidos Solubles Totales

El contenido de sólidos solubles en los frutos tratados tampoco presentaron un comportamiento específico conforme aumentó el número de aplicaciones realizadas. Los frutos testigo registraron valores diferentes significativamente con respecto a casi todos los tratamientos. Los frutos que recibieron 4 aplicaciones de nitrato de calcio al 0.5% registraron el contenido de sólidos solubles más alto (8.09) pero no fue diferente del testigo, de acuerdo al análisis estadístico aplicado, Caso contrario ocurrió con los frutos que recibieron 2 aplicaciones de fosfato de calcio al 1.0% (5.74%) cuya concentración de sólidos solubles fue la más baja con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 5)

### pH

Las interacciones resultantes entre producto-dosis, producto-número de aplicación, dosis-número de aplicación y producto-dosis-número de aplicación, indicaron que hubo un efecto significativo de éstos sobre el pH de los frutos. Sin embargo, no se observó ninguna tendencia del pH conforme aumentó el número de aplicaciones realizadas (cuadro 6). Estadísticamente los frutos que recibieron 3 aplicaciones de nitrato de calcio al 1.0% registraron el valor de pH más alto (3.82); mientras que el valor de pH más bajo se registró en los frutos que recibieron 2 aplicaciones de nitrato al 1.0% (2.50). Los frutos testigo presentaron un pH de 3.49, valor que es muy cercano al pH reportado por Jiménez (1987) para durazno de la var. "Flordaprince" (3.52).

Cuadro 5: Contenido de sólidos solubles Totales (°Brix) obtenidos en duraznos "Flordaprince" aplicados con soluciones de calcio y cosechados 83 días después de floración

| Producto                 | Número de Aplicaciones |                    |                    |                    |
|--------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                          | 1                      | 2                  | 3                  | 4                  |
| Nitrato de calcio (0.5%) | 7.93 <sup>ab</sup>     | 7.35 <sup>df</sup> | 7.38 <sup>df</sup> | 8.09 <sup>a</sup>  |
| Nitrato de calcio (1.0%) | 6.37 <sup>i</sup>      | 7.08 <sup>fg</sup> | 5.87 <sup>j</sup>  | 6.61 <sup>hi</sup> |
| Quelato de calcio (0.5%) | 7.56 <sup>cd</sup>     | 7.20 <sup>ef</sup> | 7.73 <sup>bc</sup> | 6.42 <sup>i</sup>  |
| Quelato de calcio (1.0%) | 6.80 <sup>gh</sup>     | 8.03 <sup>ab</sup> | 6.81 <sup>gh</sup> | 7.07 <sup>fg</sup> |
| Fosfato de calcio (0.5%) | 7.19 <sup>ef</sup>     | 6.41 <sup>i</sup>  | 6.01 <sup>j</sup>  | 6.01 <sup>j</sup>  |
| Fosfato de calcio (1.0%) | 7.49 <sup>ce</sup>     | 5.75 <sup>j</sup>  | 6.57 <sup>hi</sup> | 6.61 <sup>hi</sup> |
| Testigo                  | 7.93 <sup>ab</sup>     |                    |                    |                    |

\*Los valores que presentan distinto superíndice, son diferentes significativamente, de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, a un nivel de probabilidad de 0.05

Cuadro 6: Valores de pH obtenidos en duraznos "Flordaprince" aplicados con soluciones de calcio y cosechados 83 días después de floración

| Producto                 | Número de Aplicaciones |                    |                    |                    |
|--------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                          | 1                      | 2                  | 3                  | 4                  |
| Nitrato de calcio (0.5%) | 2.54 <sup>jk</sup>     | 3.55 <sup>bc</sup> | 2.88 <sup>ef</sup> | 3.26 <sup>d</sup>  |
| Nitrato de calcio (1.0%) | 2.77 <sup>fh</sup>     | 2.50 <sup>k</sup>  | 3.82 <sup>a</sup>  | 2.55 <sup>jk</sup> |
| Quelato de calcio (0.5%) | 2.61 <sup>ik</sup>     | 3.70 <sup>ab</sup> | 2.63 <sup>hk</sup> | 2.79 <sup>gi</sup> |
| Quelato de calcio (1.0%) | 2.53 <sup>jk</sup>     | 2.53 <sup>jk</sup> | 3.24 <sup>d</sup>  | 2.72 <sup>gi</sup> |
| Fosfato de calcio (0.5%) | 2.67 <sup>gj</sup>     | 2.93 <sup>e</sup>  | 3.79 <sup>a</sup>  | 3.79 <sup>a</sup>  |
| Fosfato de calcio (1.0%) | 2.90 <sup>af</sup>     | 3.75 <sup>a</sup>  | 2.67 <sup>gj</sup> | 2.88 <sup>ef</sup> |
| Testigo                  | 3.49 <sup>c</sup>      |                    |                    |                    |

\*Los valores que presentan distinto superíndice, son diferentes significativamente, de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, a un nivel de probabilidad de 0.05

### Acidez titulable

Los valores de acidez titulable registrados por lo distintos tratamientos, fueron menores o iguales estadísticamente con respecto al testigo. En el cuadro 7 se puede observar que los frutos aplicados 2 veces con quelato de calcio al 1.0%, registraron el % de acidez más alto (0.61%) de todos los tratamientos, de acuerdo a la prueba de Tukey aplicada. Caso contrario sucedió con los frutos que recibieron 3 aplicaciones de quelato de calcio al 1.0%, que registraron el % de acidez titulable más bajo (0.31%). Los frutos testigo registraron un valor de 0.51% de acidez titulable.

Cuadro 7: Valores de Acidez Titulable (%) obtenidos en duraznos "Flordaprince" aplicados con soluciones de calcio y cosechados 83 días después de floración

| Producto                 | Número de Aplicaciones |                   |        |        |
|--------------------------|------------------------|-------------------|--------|--------|
|                          | 1                      | 2                 | 3      | 4      |
| Nitrato de calcio (0.5%) | 4.40hi                 | 0.47de            | 0.54b  | 0.32m  |
| Nitrato de calcio (1.0%) | 0.32m                  | 0.51bc            | 0.38ik | 0.40hi |
| Quelato de calcio (0.5%) | 0.37jl                 | 0.50cd            | 0.45eg | 0.36kl |
| Quelato de calcio (1.0%) | 0.39hk                 | 0.61 <sup>a</sup> | 0.31m  | 0.45eg |
| Fosfato de calcio (0.5%) | 0.41gh                 | 0.39hk            | 0.45eg | 0.44fg |
| Fosfato de calcio (1.0%) | 0.52bc                 | 0.40hk            | 0.34lm | 0.37ik |
| Testigo                  | 0.51bc                 |                   |        |        |

\*Los valores que presentan distinto superíndice, son diferentes significativamente, de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, a un nivel de probabilidad de 0.05

## Calcio

Las diferentes soluciones de calcio aplicadas a diferentes dosis y tiempos presentaron un efecto sobre la concentración endógena de calcio en el fruto, más no se manifestó ninguna tendencia en la concentración en relación al tipo de producto, dosis o números de aplicación realizada. En el cuadro 8 también se pueden observar los resultados obtenidos, así como también las diferencias significativas encontradas entre los distintos tratamientos.

El tratamiento que dio como resultado frutos con la concentración de calcio más baja estadísticamente, fue el de una aplicación de quelato de calcio al 0.5% (40.05 ppm) mientras que los frutos que resultaron con la concentración de calcio más alta, fueron los que recibieron 4 aplicaciones de nitrato de calcio al 1.0% (174.77 ppm).

Al parecer al aumentar el número de aplicaciones de las soluciones de calcio, la disponibilidad de este ion para reaccionar con los grupos carboxilos libres de la pectina aumenta, llegando tal vez a un punto de saturación que no permita mayor interacción o almacenamiento de calcio en el tejido vegetal, aunque esto dependerá de las características físico-químicas de las soluciones de calcio aplicadas.

La concentración de calcio detectada en el testigo fue de 117.58 ppm, valor que se encuentra por debajo del reportado por Wills y cols. (1983) para durazno "Redhaven", cuya concentración fue de 180 ppm de calcio.

## CONCLUSIONES

- 1.- La aplicación de las diferentes fuentes de calcio dieron por frutos más grandes y de mayor peso.
- 2.- No se obtuvo un mejoramiento significativo de la firmeza por efecto de las aplicaciones.
- 3.- Las características de calidad de los frutos tratados con Quelato de Calcio al 1.0% y aplicado un par de veces fueron mejores.

Cuadro 8: Concentraciones de calcio (ppm) obtenidos en duraznos "Flordaprince" aplicados con soluciones de calcio y cosechados 83 días después de floración.

| Producto                 | Número de Aplicaciones |          |                    |                     |
|--------------------------|------------------------|----------|--------------------|---------------------|
|                          | 1                      | 2        | 3                  | 4                   |
| Nitrato de calcio (0.5%) | 105.40fi               | 150.37b  | 151.30b            | 91.35hk             |
| Nitrato de calcio (1.0%) | 89.24il                | 126.66ce | 110.27eg           | 174.77 <sup>a</sup> |
| Quelato de calcio (0.5%) | 40.05 <sup>e</sup>     | 88.69jl  | 119.24df           | 86.81jl             |
| Quelato de calcio (1.0%) | 79.41km                | 141.41bc | 130.73cd           | 90.78hk             |
| Fosfato de calcio (0.5%) | 54.35no                | 106.92fh | 64.80mn            | 64.89mn             |
| Fosfato de calcio (1.0%) | 99.81gj                | 73.97lm  | 42.75 <sup>e</sup> | 51.50no             |
| Testigo                  | 117.58df               |          |                    |                     |

\*Los valores que presentan distinto superíndice, son diferentes significativamente, de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, a un nivel de probabilidad de 0.05

4.- Todas las aplicaciones de calcio incrementaron el contenido del mismo en el fruto al momento de la cosecha.

5.- No se encontraron correlaciones significativas entre el contenido de calcio en los frutos y la firmeza de los mismos. Aparentemente existe un nivel óptimo y arriba de éste es perjudicial para los frutos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdalla, A.C. and Childers, F.N. 1973. Calcium nutrition of peach and prune relative to growth, fruiting, and fruit quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98 (5): 517-522.
- Ahmed, A.E. & Labavitch, J.M. 1980. Cell wall metabolism in ripening fruit. L. Cell wall changes in ripening "Barlett" pears. *Plant Physiology* 65, 1009-1013.
- A.O.A.C. 1984. *Official Methods of Analysis*. Edition 14<sup>th</sup>. Williams S. Ed. Published by Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C.
- Bangerth, F. 1979. Calcium-related physiological disorders of plant. *Annual Reviews. Phytopathol.* 17:97.
- Bramlage, W.J., Drake, M. and Baker, J.H. 1974. Relationship of calcium content to respiration and postharvest condition of apples. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 99, 376-378.
- Burns, J.K. and Pressey, R. 1987. Ca<sup>2+</sup> in cell walls of ripening tomato and peach *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 112, 783-787
- Conway, W.S. and Sams, C.E. 1987 The effects of postharvest infiltration of calcium, magnesium, or strontium on decay, firmness respiration and ethylene production in apples. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 112 (2): 300-303.
- Drake, S.R., and Spay, S.E. 1983. Influence of calcium treatment on Golden Delicious" apple quality. *Journal of Food Science* 48:403-405

- Drake, M. And Bramlage, W.J. 1983 Suggestions for use of calcium sprays in 1983. Fruit Notes Dept. Plant and soil Sci., Uni. Of Mass
- Ferguson, I.B., 1979. The movement of calcium in non-vascular tissue of plants. *Commun in soil Science and Plant Analysis* 10 (1&2):217-224
- Ferguson, I.B. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. *Plantcell and Environment* 7:477-489.
- Ferguson, I.B. and Drobak, B.K. 1988. Calcium and the regulation of plant growth and senescence. *Hortscience* 23(2): 262-266
- Ferguson, I.B. and C.B. Watkins. 1981. Ion relations of apple fruit tissue during fruit development and ripening. III\*. Calcium uptake. *Aust. J. Plant Physiol.* Vol 8:259-266.
- Ford E.M. Quinland, J.D. (1979). The distribution of 45 Ca in apple fruits when supplied to the roots at three times during the season. *Journal of Horticultural Science.* 54(3)181-188
- Glenn, G.M. and Poovaiah, B.W. 1985. Cuticular permeability to calcium compounds in "Golden Delicious" apple fruit. *J. Amer Soc. Hort. Sci.* 110(2):192-195
- Glenn, G.M., Poovaiah, B.W. and Resmussen, H.P. 1985. Pathways of calcium penetration through isolated cuticles of "Golden delicious" apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Scie.* 110(2): 166-171.
- Heather A. Bramlage, W.J. 1977. Uptake of calcium by apples from postharvest dips in calcium chloride solutions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102(6): 785-788.
- Jiménez, L.R. 1987. Efecto del calcio en durazno, respecto a la calidad del fruto con aplicaciones precosecha. Tesis de Licenciatura de la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora.
- Jonhson, D.S. 1979. Nwe techniques in the postharvest treatment of apple with calcium salts. *Commun in soil Science and Plant Analysis.* 10(1,2): 373-382.
- Marmé D. 1985. The role of calcium in the cellular regulation of plant metabolism. *Physiol. Veg.* 23:945-953.
- Mason, J.L. 1976. Calcium concentration and firmness of stored "McIntosh" apples increased by calcium chloride solution plus thicker. *HortScience* Vol. 11(5): 504-504 .
- Monseline, S.P. and Goren, R. 1987. Preharvest growing conditions and postharvest behavior of subtropical and temperate sone fruit. *HortScience.* 22(6):1185-1189.
- Paliyath, G. Poovaiah, B.W., Munske, G.R. and Magnuson, J.A. (1984). Membrane fluidity in senescing apples: Effects of temperature and calcium. *Plant Cell Physiol.* 25:1083.
- Perring, M.A. 1979. The effects of environment and cultural practices on calcium concentration in the apple fruit. *Commun. In soil Science and Plant Analysis* 10(1&2), 279-293.
- Perring, M.A. and Pearson, K. (1987). Supression of bitter pit by calcium injected into the core cavities of harvested apples. *Journal of horticultural Science.* 62(3)303-304.
- Poovaiah, B.W. 1986. Role calcium in prolongin storage life of fruits and vegetables. *Food Technology.* 86-89.
- Poovaiah, B.W. 1988. Molecular and cellular aspects of calcium action in plants. *HortScience.* Vol. 23(2):267-271.

- Redmond, W.J. 1975. Transport of calcium in apples trees and its penetration into the fruit. *Commun. In soil Science and Plant Analysis*. 6(3): 261-272.
- Roux, S.J. and Slocum, R.D. 1982. Role of calcium in mediating cellular functions important for growth and development in higher Plants, in: *Calcium and Cell Function*. Vol. III. Academic Press, Inc. Pp. 411-417.
- Sams, E.C. and Conway, S.W. 1984. Effect of calcium infiltration on ethylene production, respiration rate, soluble polyuronide content, and quality of "Golden Delicious" apple fruit. *J. Amer. Hort. Sci.* 109 (1): 53-57.
- Schoenherr, J. And M. Bukovac. 1972. Penetration of stomata by liquids. *Plant Physiol.* 49:813-819.
- Scott, K.J. and Wills, R.B.H. 1975. Postharvest application of calcium as a control for storage breakdown of apples. *Hortscience*. 10 (1):75-76.
- Shear, C.B. 1975. Calcium related disorders of fruits and vegetables. *Hortscience*. 10(4): 361-365.
- Singh, B.P., Gupta, O.P., and Chauhan, K.S.. 1982 Effect of preharvest calcium nitrate spray on peach on the storage life of fruits. *Indian J. Agric. Sci.* 52(4): 235-239.
- Swietlik, D. and Faust, M. 1984. Foliar nutrition of fruit crops. *Horticultural Reviews*. 6: 287-355.
- Wiersum, L.K. 1979. Effects of environmental and cultural practices on calcium nutrition. *Commun in Soil Science and Plant Analysis*. 10(1&2) 259-278.
- Wills, R.B.H., Frances, M.S. and Greenfield, H. 1983. Nutrient composition of stone fruit (*prunus spp.*) cultivars: apricot, cherry, nectarine, peach and plum. *J. Sci. Food Agric.* 34: 1383:1389.

# INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y EL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO EN LA CONSERVACIÓN DEL MANGO (*Mangífera indica* L) VARIEDAD VAN DYKE

Harvey Arjona D.<sup>1</sup> y Jesús Antonio Galvis V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ing. Agrónomo, PhD Fisiología de Cultivos. Profesor Asociado, Facultad de Agronomía. Universidad Nacional. Bogotá.  
<sup>2</sup>Ing. Agrícola. Candidato a Doctorado en Ciencias Agrarias. Profesor Asociado ICTA de la Universidad Nacional. Bogotá.

---

## INTRODUCCIÓN:

El mango es una de las frutas más populares en el mundo, debido a su exquisito sabor, agradable aroma y atractivo color. Además, se le atribuyen propiedades que mejoran las deficiencias cardiovasculares. En Colombia el área cultivada en mango es de cerca de 10.000 Ha., siendo los departamentos más productores: Magdalena y Sucre en la Costa Atlántica y Cundinamarca y Tolima en el interior.

Dentro de las variedades mejoradas que se cultivan en el país está la Tommy Atkins, Vallenato, Irwin, Kent y VanDyke. La variedad VanDyke ocupa el 3er. lugar en área de producción, después de la Tommy Atkins y Kent. Se caracteriza por ser una fruta de tamaño mediano, con peso promedio en el rango de 340 a 400 g. de forma oval, piel amarilla con matices rojos y numerosas lenticelas amarillas. La pulpa es firme con poca fibra y exquisito sabor, debido a un adecuado balance: azúcares/ácidos. La semilla es monoembrionica y representa entre el 7 y el 8.5% del peso de la fruta. Se cosecha a mitad de temporada y presenta una ligera alternancia.

## Daños por frío en mango

El mango es una fruta muy susceptible a los daños por el frío cuando se almacena a temperaturas por encima del punto de congelación, pero por debajo de la temperatura crítica de almacenamiento, la cual ha resultado ser diferente según la variedad. En general, la temperatura más baja de conservación recomendada para mango fluctúa en el rango entre 10°C y 12,8°C. Temperaturas por debajo de este rango se dice que causan escaldado, decoloración de la corteza e incapacidad para madurar. Aziz y colaboradores (1975) observaron una correlación positiva entre el incremento de la temperatura de almacenamiento (en el rango de 0°C a 15°C) y la pérdida de acidez en frutos de mango. Entre más alta fue la temperatura de almacenamiento, más rápida es la degradación de los ácidos. A 0° la pérdida de acidez fue mínima. La sacarosa, la fructosa y la glucosa fueron los principales azúcares que disminuyeron respectivamente.

La incidencia del daño por frío sobre la fruta está directamente relacionada con la duración del almacenamiento y el grado de madurez de la fruta o la temperatura de conservación (Oosthuysen, 1994).

McLaughland and Wills (1993) consideran que el mango variedad Kensington puede ser almacenado a 10°C por tres (3) semanas ó a 7°C por dos (2) semanas, después de las cuales el desarrollo del color puede ser afectado. Algunos autores han reportado desarrollo de daños por el frío en frutos de mango dentro del rango de 3°C a 12°C (Thomas and Oke, 1983; Medlicott et al, 1990).

En adición a la reducción en la sensibilidad a los daños por el frío cuando los frutos son madurados antes del almacenamiento, la sensibilidad a los daños por el frío está influenciada por el grado de madurez en la cosecha. Los frutos cosechados muy cerca al grado de madurez de consumo son menos propensos al daño por el frío que los frutos verdes. (Thompson 1971; Medlicott, A.P. 1987)

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos de mango variedad VanDyke fueron cosechados en el grado de madurez fisiológica (formados pero de corteza verde) de la finca frutal localizada en el municipio del Espinal, departamento del Tolima. Temperatura media 29°C, altitud 450 m.s.n.m. Los frutos fueron distribuidos en 9 grupos de acuerdo a 9 diferentes tratamientos (Cuadro 1).

Cada unidad experimental fue conformada por 3 frutos por tratamiento y cada tratamiento fue replicado 3 veces. Las frutas fueron colocadas en 3 cámaras de refrigeración donde los mangos permanecieron por períodos de 10, 20 y 30 días a 7°C, 10°C y 12°C. Posteriormente fueron llevados a temperatura de 18°C por un período de 5 días.

Después de los diferentes intervalos de tiempo de almacenamiento, a los frutos se les realizó análisis físico, químico y bioquímico y apariencia externa (Cuadro 2).

Cuadro 1: Temperaturas y tiempos de almacenamiento utilizados para prolongar la vida útil del mango variedad VanDyke.

| Tratamiento (No.) | Temperatura (°C) | Tiempo (Días) |
|-------------------|------------------|---------------|
| 1                 | 7                | 10            |
| 2                 | 7                | 20            |
| 3                 | 7                | 30            |
| 4                 | 10               | 10            |
| 5                 | 10               | 20            |
| 6                 | 10               | 30            |
| 7                 | 12               | 10            |
| 8                 | 12               | 20            |
| 9                 | 12               | 30            |
| Testigo           | 18°C             | 15            |

Cuadro 2: Análisis realizados en mangos variedad VanDyke a 7°C, 10°C, 12°C y 18°C, por períodos de 10, 20 y 30 días con maduración complementaria de 5 días a temperatura de 18°C.

| Análisis                                                                            | Método                                                                              | Tiempo                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| <b>Físicos:</b><br>Pérdida de peso<br>Pérdida de firmeza                            | Balanza digital<br>Penetrometría                                                    | Al final de cada tratamiento |
| <b>Químicos:</b><br>PH<br>Sólidos Solubles<br>Acidez titulable<br>Índice de madurez | Potenciómetro<br>Refractometría<br>Titulación con NaOH.<br>Relación °Brix /% acidez |                              |
| <b>Azúcares:</b><br>Sacarosa<br>Glucosa<br>Fructosa                                 | HPLC<br>HPLC<br>HPLC                                                                |                              |
| <b>Ácidos:</b><br>Cítrico<br>Succínico<br>Málico                                    | HPLC<br>HPLC<br>HPLC                                                                |                              |
| Apariencia externa                                                                  | Panel sensorial                                                                     |                              |

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 3 presenta los valores de variables físicas y químicas al final de cada período de almacenamiento para cada tratamiento.

Cuadro 3: Variaciones físicas (% de Peso y Firmeza) y químicas (° Brix, % de acidez) de mango variedad VanDyke al final del almacenamiento.

| Tratamiento | Temperatura (°C) | Tiempo (Días) | % P.P. | Firmeza (K/cm <sup>2</sup> ) | °Brix | % Acidez |
|-------------|------------------|---------------|--------|------------------------------|-------|----------|
| 1           | 7                | 10(5)         | 10.36  | 28.33                        | 14.60 | 1.212    |
| 2           | 7                | 20(5)         | 14.94  | 30.00                        | 11.70 | 1.071    |
| 3           | 7                | 30(5)         | 18.41  | 27.00                        | 10.60 | 0.770    |
| 4           | 10               | 10(5)         | 9.10   | 21.60                        | 15.10 | 1.002    |
| 5           | 10               | 20(5)         | 14.46  | 23.80                        | 14.50 | 0.825    |
| 6           | 10               | 30(5)         | 15.47  | 21.00                        | 12.30 | 0.674    |
| 7           | 12               | 10(5)         | 8.64   | 19.00                        | 15.40 | 0.630    |
| 8           | 12               | 20(5)         | 14.32  | 11.00                        | 19.50 | 0.510    |
| 9           | 12               | 30(5)         | 14.52  | 9.00                         | 19.70 | 0.246    |
| Control     | 18               | 15            | 15.25  | 7.25                         | 20.68 | 0.205    |

### **Pérdidas de Peso**

La tendencia general para las tres (3) temperaturas fue la del aumento de las pérdidas de peso a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento.

El tratamiento que presentó la mayor pérdida fue el de 7°C por 30 días con maduración complementaria de 5 días. Esto se debió al cambio brusco de temperatura al pasar de 7°C a 18°C. Le siguió el de 10°C y 12°C respectivamente. A 20 días con maduración complementaria de 5 días, la temperatura de 7°C vuelve a presentar las mayores pérdidas de peso.

### **Variación de la firmeza**

El fruto almacenado a temperatura ambiente presenta la menor firmeza al final del almacenamiento, cuando estuvo totalmente maduro (15 días de conservación). Le siguen los tratamientos a 12°C, 10°C y 7°C respectivamente.

A 7°C mantuvo una firmeza (27 k/cm<sup>2</sup>) muy cercana al inicio, lo cual indica que el fruto no maduró. Esto puede ser debido a que las enzimas que degradan la pared celular (Poligalacturonasa y Pectinesterasa) no desarrollaron su actividad.

### **Grados Brix**

El mayor valor en los °Brix lo alcanzó el fruto almacenado a temperatura ambiente, seguido por el mango almacenado a 12°C (a los 35 días de conservación). En los tratamientos a 10°C y 7°C los valores de °Brix alcanzados son muy bajos, lo cual denota que el almidón no degradó lo suficiente o sea que por acción de la temperatura la actividad de las enzimas amilasa se vio disminuida. En ambas temperaturas se observa disminución de los °Brix. Esto es una manifestación de los daños por frío.

### **Acidez titulable**

A 7°C, la acidez se mantuvo alta durante los 3 períodos de conservación, esto es una manifestación del daño por frío y el resultado concuerda con Covey (1984), Medlicott (1990) y Thomas (1988).

En el almacenamiento a 10°C, aunque los valores sean altos, se observa pérdida de la acidez en los tres tratamientos, siendo mayor para los frutos conservados por 30 días.

En el almacenamiento a 12°C se presentó una disminución gradual de la acidez a mayor período de conservación, alcanzándose para el tratamiento No. 9 un valor cercano al testigo maduro, el cual solo pudo ser conservado por 15 días.

La pérdida de acidez en los frutos a las temperaturas de 12°C muestra que el fruto pudo madurar normalmente pero en un tiempo mayor que a temperatura ambiente.

### **Variación de azúcares**

El cuadro 4 y las figuras 1, 2 y 3 presentan los valores de sacarosa, glucosa y fructosa al final de cada tratamiento.

Cuadro 4: Valores de azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa) de mango variedad VanDyke al final del almacenamiento.

| Tratamiento | Temperatura (°C) | Tiempo (Días) | Sacarosa (%) | Glucosa (%) | Fructosa (%) |
|-------------|------------------|---------------|--------------|-------------|--------------|
| 1           | 7                | 10            | 2.81         | 0.24        | 1.30         |
| 2           | 7                | 20            | 3.51         | 0.45        | 2.11         |
| 3           | 7                | 30            | 5.76         | 0.48        | 1.14         |
| 4           | 10               | 10            | 3.41         | 1.09        | 2.36         |
| 5           | 10               | 20            | 4.41         | 1.10        | 2.44         |
| 6           | 10               | 30            | 6.22         | 1.65        | 2.60         |
| 7           | 12               | 10            | 7.23         | 1.16        | 4.33         |
| 8           | 12               | 20            | 7.95         | 2.21        | 5.67         |
| 9           | 12               | 30            | 8.65         | 2.51        | 6.46         |
| Testigo     | 18               | 15            | 8.87         | 4.26        | 7.15         |

### Sacarosa

En todos los tratamientos la sacarosa fue el azúcar predominante. En el almacenamiento a 7°C se presentó un aumento en el contenido de sacarosa, pero sus valores fueron inferiores a los alcanzados a temperaturas de 10°C y 12°C y el testigo. Los valores obtenidos para la sacarosa pueden explicar los bajos contenidos alcanzados por la glucosa y la fructosa en esta temperatura, debido a que la actividad de la invertasa se vio bloqueada.

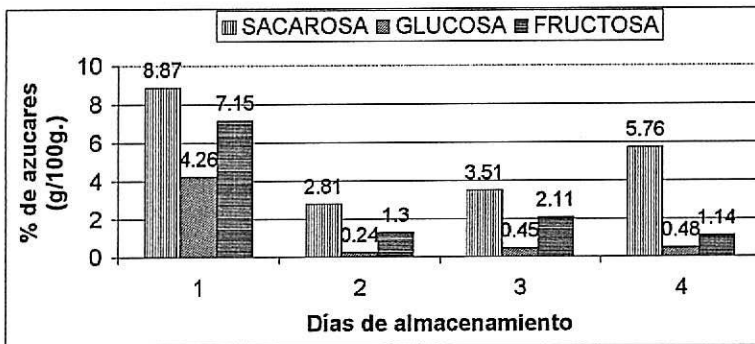


Figura 1: Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de azúcares del mango VanDyke almacenado a 7°C.

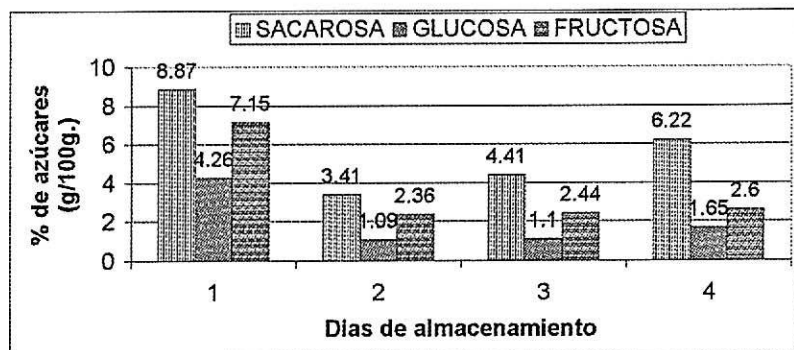


Figura 2: Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de azúcares del mango VanDyke almacenado a 10°C.

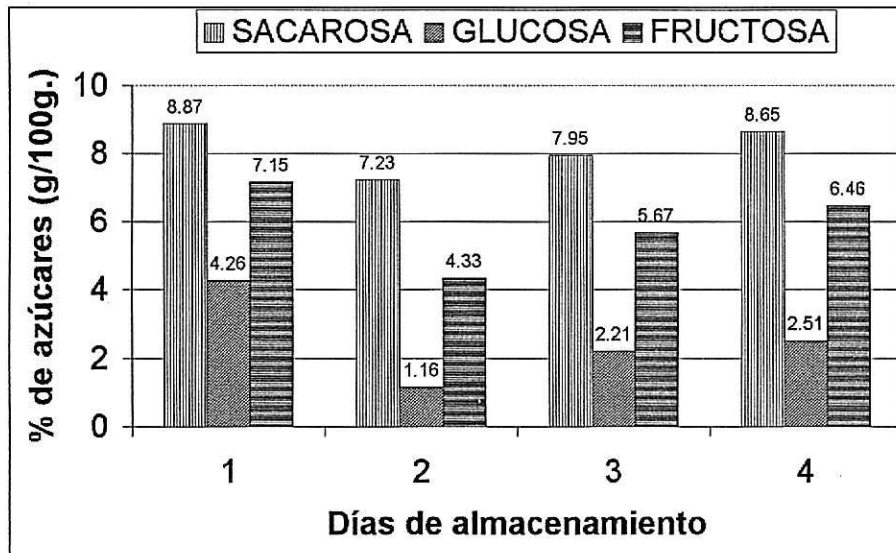


Figura 3. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de azúcares del mango VanDyke almacenado a 12°C.

En el almacenamiento a 10°C se presentó incremento en el contenido de sacarosa para todos los tiempos de conservación, pero sus valores fueron inferiores a los alcanzados por los tratamientos a 12°C y el testigo.

En el almacenamiento a 12°C la sacarosa se incrementó a una velocidad mayor que a 10°C y 7°C. En el tratamiento a 30 días el valor final no presentó diferencias significativas con el testigo.

### Glucosa

En todos los tratamientos, la glucosa fue el azúcar que presentó el menor valor. En los tratamientos a 7°C su valor no varió a lo largo del almacenamiento. En el almacenamiento a 10°C, presentó un ligero aumento a los 20 días, manteniéndose constante hasta el día 30.

A temperatura de 12°C se presentó un aumento continuo a lo largo del almacenamiento, lo cual indica que hubo degradación de la sacarosa.

### Fructosa

La fructosa fue el azúcar reductor de mayor valor en todas las temperaturas de conservación y durante todos los períodos. A 7°C su evolución fue mínima. Entre el día 10 y el 20 presentó un aumento pero entre el día 20 y el 30 volvió a disminuir presentando un valor menor al alcanzado el día 10.

En los tratamientos a 10°C se presentó un aumento continuo a lo largo del período de almacenamiento, duplicando en todos los períodos el valor de la glucosa pero con valores próximos a la mitad de los valores de la sacarosa. A temperatura de 12°C la evolución de la fructosa siguió un comportamiento similar a 10°C, pero con valores mayores.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aziz, A.B.A., El Nabawy, S.M. Abdel-Kader, A.S., 1975- Effect of Chilling and non-chilling temperatures on some chemical compounds of mango fruits. *Egypt J. Hortic.*, 2, 173.
- Bagshaw, B and Brown, B., 1989 - Disorders In Ridgeway R(ed) *Mango Pest and disorders*. Queensland Department of primary Industries. Brisbane, pp 22-28.
- Covey, M.H. 1986. Chilling injury in crops of tropical and subtropical origins. *Hortscience* 17: 122-165.
- Hatton, T.T., W.F. Reeder, and C.W. Campbell. 1965. Ripening and storage of Florida mangos. U.S. Dept. Agr. Market Res. Rpt 725:9.
- Kane, O., M. Brulet, and F. Castaigne. 1982. Effect of chilling injury on texture and fungal rot of mangoes (*Mangífera índica* L.). *J. Food Sci.* 47:992-995.
- McLaughlan, R.L. and Wells, I.A., 1994 - Storage and ripening temperatures for Kensington mangoes. In Johnson, G.I. and Highley, E (eds). *Development of Postharvest Handling Technology for Tropical Tree fruits*. Aciar Procecding 58. Camberra pp 25-29.
- Mattoo, A.K. and Modi V.V., 1929 - Biochemical aspects of ripening and chilling injury in mango fruits, in *Proc. Trop. Prod. Inst. Conference* September 15 to 19. London.
- Medlicott, A.P., Sigrist, J.M.M. Sigrist, and O. Sy 1990. Ripening of mangoes following low temperature storage, *Journal of American Society of Horticultural Science* 115: 430-434.
- Medlicott, A.P. and Jeger, M.J., 1987 - The development and application of post harvest treatments to manipulate ripening in mangoes. In Prinsley, R.T. and Tucker G (eds). *Mangoes - Areview*. Commonwealth Science Council, London, pp. 56-77.
- Ousthuysse, S.A. 1994 - Quality of nature "Zill" mangoes after long - term refrigerated storage as determined by pre-storage ripeness and cold storage regime. *South African mango Growers Association Yearbook* 14, 37-42.
- Thomas, P. And Oki, M.S. 1983 - Improvement in quality and storage of "Alphonso" Mangoes by cold adaptation. *Scientia Horticulturae* 19, 257-262.
- Thomas, P. And M.R. Jashi, 1988. Reduction of chilling enjury in ripe alphonso mango fruit in col storage by temperature conditioning *Intl. J. Ood Sci. Techmol.* 23: 447-455.
- Thompson, A.K., 1971 - The storage of mango fruits. *Tropical Agriculture* 48, 63-70.

# CONTROL DE FISIOPATÍAS EN FRUTOS DE CAROZO (HUESO)

**Dr. Luis Luchsinger Lagos**

Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) Fac. de Ciencias Agronómicas . Universidad de Chile.  
Casilla 1004, Santiago, Chile. e-mail: lluchsin@uchile.cl

---

## INTRODUCCIÓN

Resulta sumamente difícil juzgar el éxito o fracaso de los tratamientos que controlan o disminuyen las fisiopatías, sin antes aclarar una serie de conceptos y situaciones. El objetivo de este artículo, más que detallar las técnicas de control de fisiopatías, es tratar de orientar su correcta interpretación y potencial aplicación.

Los frutos de hueso (damascos, duraznos, nectarines, y ciruelas) son altamente perecederos que soportan un almacenaje refrigerado a 0°C durante 2 a 8 semanas. Maduran y senescen rápidamente a temperatura ambiente y para evitar serias pérdidas requieren un cuidadoso manejo antes de ser almacenados a 0°C. Sin embargo, su almacenaje refrigerado se ve frecuentemente limitado por las bajas temperaturas utilizadas. éstas son causantes de daño por frío en el fruto a tan sólo una o dos semanas de almacenaje, siendo en general, damascos y duraznos más susceptibles que nectarines, y a su vez nectarines más que ciruelas.

## DAÑO POR FRÍO

Los cambios físicos y/o fisiológicos inducidos por la exposición a bajas temperaturas en almacenaje refrigerado, junto a la subsecuente expresión de síntomas característicos, son comúnmente denominados con el término 'daño por frío' (*chilling injury*).

El daño por frío afecta a una amplia gama de especies cuando son expuestas a un estrés por baja temperatura. Se pensaba que éste fenómeno estaba restringido a cultivos de origen tropical o subtropical ya que, inicialmente, los daños se producían en los frutos de éstos al crecer en zonas templadas. Sin embargo, especies de origen templado también han desarrollado fisiopatías (desórdenes fisiológicos) al ser expuestas a un estrés por baja temperatura (Bramlage, 1982; Watada, 1982). Dentro de los frutos de clima templado susceptibles al daño por frío se encuentran: manzanas, damascos, duraznos, nectarines y ciruelas (Hardenburg et al., 1986).

El daño por frío ocurre a temperaturas por sobre la temperatura de congelación del fruto (aproximadamente -0,8 °C), la cual es dependiente del contenido de sólidos solubles, y bajo los 8-9 °C (Mitchell et al., 1974).

## FISIOPATÍAS CAUSADOS POR EL FRÍO

Dentro de las múltiples fisiopatías asociadas al daño por frío que limitan la postcosecha de damascos, duraznos, nectarinos y ciruelas se encuentran:

- harinosidad (pulpa 'seca', falta de jugosidad, *woolliness* o *mealiness*)
- pardeamiento interno de pulpa (oscurecimiento de pulpa, *flesh browning*)
- incapacidad de la fruta para madurar
- pérdida de sabor (*off-flavor*)
- descomposición interna (*internal breakdown*)
- desarrollo de coloración rojiza de la pulpa (*bleeding, reddening*)
- translucidez de la pulpa (*flesh translucency, gel breakdown* sólo en ciruelas)
- daño superficial (descoloración, depresiones)
- mantención o aumento de firmeza de pulpa
- cambios composicionales (aumento de pared celular)
- senescencia acelerada

Vale la pena destacar que muchos investigadores consideran a varias de estas fisiopatías dentro de la descomposición interna de la pulpa, sin especificar a cuál de ellos se refieren o cuál es el predominante.

La harinosidad es un factor de considerable importancia económica ya que es uno de los primeros síntomas de daño por frío, fuerte limitante del potencial de almacenaje. Ha sido descrita a comienzos de siglo en Sud-Africa (1913), EE.UU. (1946), Nueva Zelanda y Chile (1988). Es considerada como un serio problema en duraznos y nectarines chilenos de exportación en mercados tan cercanos como el de Estados Unidos de América (12 a 14 días en tránsito), encontrándose una gran susceptibilidad varietal (Luchsinger y Walsh, 1995a,b). Es importante enfatizar que los estudios de potencial de almacenaje, deben ser realizados para cada variedad, bajo condiciones locales, y previo a una propagación o plantación masiva de una variedad en particular, a modo de evitar situaciones lamentables, tanto económicas como de desprestigio para la fruta de exportación.

Al igual que muchas fisiopatías, la harinosidad se manifiesta sólo al partir el fruto, siendo muy difícil de determinar externamente. El síntoma no se visualiza durante o inmediatamente después de la salida del almacenaje refrigerado, sino más bien en el período de maduración o comercialización (generalmente después de un día a 15-20°C). Por lo tanto, comúnmente pasa inadvertida por los controles de calidad a la llegada de los puertos de destino, manifestándose entonces a nivel de consumidor. El hecho de no estar siempre asociada con el pardeamiento interno de la pulpa, que es un síntoma fácil de detectar, muchas veces ocasiona que la harinosidad sea sub-evaluada o ignorada por los controles de calidad, restándole la debida importancia. Considerando la importancia de este desorden, se hará especial hincapié en él.

Contrario a lo que habitualmente se cree, la harinosidad no se produce por deshidratación de la fruta, sino que obedece a un problema de retención del agua en el fruto, relacionado con el mecanismo de liberación del jugo. Se cree que está asociado a un fenómeno de gelificación, producto del aumento del nivel de pectinas de alto peso molecular en la pared

celular y lamela media que retienen el agua en forma de gel (Ben-Arie y Lavee, 1971). Ello iría asociado a una baja actividad de la enzima poligalacturonasa (PG) y a una constante actividad de la pectinmetilesterasa (PME). Sin embargo, aún no existe una explicación totalmente clara del fenómeno (Artés et al., 1996).

Una de las formas de medir la harinosidad consiste en la determinación del contenido de jugo del fruto, ya que a menor contenido de jugo mayor será la harinosidad y viceversa, situación que ha sido corroborada por paneles de degustación entrenados (Lill y Van der Mespel, 1988). Sin embargo, es importante considerar el estado de madurez del fruto al momento de realizar la evaluación, especialmente en lo que se refiere a firmeza de la pulpa, ya que en condiciones normales, ésta presenta una relación inversa con la disponibilidad de jugo (Luchsinger, 1996a).

La forma subjetiva, y lamentablemente la más utilizada para medir harinosidad, consiste en el uso de una escala arbitraria de contenido de jugo, o tan sólo la determinación de presencia o ausencia de jugo en la fruta. Sin embargo, ello no permite determinar satisfactoriamente grados de harinosidad.

Otra forma objetiva es la centrifugación de la pulpa (Lill y Van der Mespel, 1988), método relativamente sencillo que demora aproximadamente 15 minutos. Lamentablemente, además de caro por requerir de una centrífuga de alta revolución, este método no funciona bien al usar fruta dura, con firmezas de pulpa mayores a 11 libras (5 kg). En este caso no es posible homogeneizar el tejido en una jeringa a modo de simular la masticación.

## **EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LOS DESÓRDENES FISIOLÓGICOS**

Se ha observado que al almacenar frutos de carozo a 5°C, el daño por frío (expresado como descomposición interna) es mayor que al hacerlo a 0°C (Mitchell y Kader, 1989). Sin embargo, se han determinado que a 0°C se produce una fuerte inhibición de la maduración, producto de la baja tasa de producción de etileno con una retención de la firmeza del fruto lo cual provoca un retraso en la expresión del síntoma (Luchsinger, 1996a). El incremento de la firmeza del fruto en almacenaje refrigerado ha sido también descrito por Werner et al. (1978) en duraznos y otros frutos. En frutos almacenados a 5°C se adelanta la expresión del síntoma en relación a 0°C, pero con ambas temperaturas el daño finalmente se produce igual, al menos en forma de harinosidad (Luchsinger, 1996b). Frutos almacenados a temperaturas que causan daño por frío (0 y 5°C), presentan un engrosamiento de la pared celular, el que se manifiesta en el porcentaje de pared celular del fruto. Esto se puede cuantificar, tanto analíticamente como visualmente, mediante microscopía electrónica (Luza et al., 1992). Este comportamiento, demuestra que la harinosidad está relacionada principalmente a una 'anomalía' en los procesos de degradación y/o síntesis de la pared celular (Luchsinger, 1996a).

## **EFFECTO DEL ESTADO DE MADUREZ EN EL DESARROLLO DE LAS FISIOPATÍAS**

El efecto de la madurez del fruto sobre el desarrollo de las fisiopatías ha sido estudiado por varios investigadores; sin embargo, la literatura es poco clara al definir estados de madurez a cosecha y muchas veces contradictoria en sus conclusiones. Aparentemente, el estado de madurez a cosecha no estaría influyendo tanto en el desarrollo mismo de los desórdenes fisiológicos, sino más bien en la rapidez con que se manifiestan los síntomas (Luchsinger y Walsh, 1998a). Esto dificulta la interpretación de resultados y genera contradicción entre autores. Especial relevancia tiene la relación inversa que existe entre la firmeza y el contenido de jugo del fruto en la medición e interpretación de la harinosidad. Un fruto tiene poco jugo debido a su alta firmeza, a su harinosidad o a ambos (Luchsinger y Walsh, 1997).

## **FACTORES A CONSIDERAR EN EL ESTUDIO DE FISIOPATÍAS**

Gran parte de las contradicciones encontradas tanto en la literatura como en informes de control de calidad efectuado en los mercados consumidores, podrían evitarse si se tomaran ciertas precauciones al realizar las investigaciones o evaluaciones. Lo mismo es válido al evaluar la confiabilidad de ciertos métodos de control de daño por frío. Estas importantes precauciones son las siguientes:

1. Conocer en forma objetiva (evitando métodos destructivos) cuál es el estado de madurez de la fruta a estudiar (Luchsinger y Walsh, 1997, 1998b). Es clave para cualquier tipo de investigación o evaluación saber con qué tipo de madurez se trabaja.
2. Al utilizar estados de madurez o temperaturas distintas, considerar períodos de maduración (de expresión de síntomas) también distintos. En general, dentro de cierto rango, un fruto 'maduro' manifiesta sus síntomas en forma más rápida que uno 'inmaduro'. Similar situación ocurre al almacenar un fruto a mayor temperatura. éste manifestará su daño antes que aquellos almacenados a una menor temperatura. Recordar nuevamente la relación firmeza y contenido de jugo previamente descrita. Lo señalado en este punto, también se debe tener en cuenta al utilizar cualquier método de control de daño por frío que afecte directa o indirectamente el estado (grado) de madurez del fruto.
3. Al medir la harinosidad, utilizar en lo posible un método objetivo. El contenido de jugo extractable se correlaciona bien con el desarrollo y grado de harinosidad. Sin embargo, como se dijo, el método de la centrifugación (Lill y Van der Mespel, 1988), no funciona con frutos firmes (más de 11 lb).
4. Después de un cierto período de almacenaje refrigerado, dependiendo de las temperaturas y variedades empleadas, la harinosidad puede ser reversible. Para una variedad en particular, la reversión puede ocurrir después de un período de maduración de 2, 3 o 4 días a 15-20°C (Von Mollendorff et al., 1989, 1992). La temperatura y firmeza del fruto durante el período de maduración (comercialización) también son factores relacionados en el proceso de reversión. Por lo tanto, la fruta debe estar suficientemente blanda a modo de ser evaluada rápidamente después del almacenaje refrigerado, para

determinar el grado de harinosidad antes de que la reversión ocurra. Muchas veces ocurre que se trabaja con fruta muy firme, se espera a que se ablande para poder extraer o medir su jugo y ocurre la reversión.

Si bien es cierto la harinosidad puede ser reversible, no debe ser considerada como una herramienta práctica (comercial) para disminuir el problema frente a los consumidores, sino más bien cuidadosamente considerada al realizar una correcta determinación del potencial de almacenaje.

5. Debido a que existe susceptibilidad varietal, los estudios que busquen encontrar factores asociados al desarrollo de la harinosidad, deben realizarse en variedades de conocida susceptibilidad al daño por frío.

### **PREVENCIÓN DEL DAÑO POR FRÍO**

Mucho se ha especulado en relación al control o disminución del daño por frío en duraznos, nectarines y ciruelas (revisar Lill et al., 1989). Sin embargo, mientras no se obtengan variedades 'resistentes' al daño por frío, los esfuerzos deberían concentrarse en determinar la susceptibilidad varietal bajo condiciones locales y de esta forma controlar muy bien los tiempos y temperaturas de almacenaje, a modo de llegar a los consumidores antes de que se produzca o manifieste el daño. Es fundamental conocer el potencial de almacenaje de cada variedad.

Se han propuesto distintos métodos para reducir las fisiopatías originadas por las bajas temperaturas y mantener la condición del fruto durante más tiempo, métodos actualmente en estudio o uso, pero como se ha mencionado con anterioridad, requieren de profundo análisis para determinar su validez y aplicación. Dentro de los principales intentos de disminución o control del daño por frío se señalan:

- Conocer el potencial de almacenaje de cada variedad bajo las condiciones locales, controlando los tiempos y temperaturas de almacenaje.
- Utilizar variedades menos susceptibles, que toleren el transporte prolongado.
- Uso de atmósfera modificada o controlada durante el transporte (Gatti y Escudero, 1985; Artés, 1995; Artés, 2000).
- Demora de puesta en frío, acondicionamiento o 'calentamiento' (elevación de la temperatura) previo al almacenaje refrigerado (Lizana et al., 1998), que consiste en retrasar el enfriamiento de la fruta, manteniéndola a temperatura ambiente durante uno o más días antes de almacenarla a 0°C.
- 'Calentamiento' intermitente o régimen de temperatura dual durante el almacenaje o transporte refrigerado que implica almacenar la fruta a 0°C y someterla por algunos días a temperaturas no dañinas, período denominado alza térmica (Godoy et al., 1998). El alza térmica está dirigida a evitar el daño irreversible del sistema metabólico, producto de una exposición prolongada a bajas temperaturas. Otra alternativa serían la atmósfera controlada y la combinación del régimen de temperatura dual en atmósfera controlada (Anderson y Penney, 1975; Anderson, 1982; Artés, 1995).

## Literatura Citada

- Anderson, R.E. and R.W. Penney. 1975. Intermittent warming of peaches and nectarines stored in controlled atmosphere or air. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 100(2): 151-153.
- Anderson, R.E. 1982. Long-term storage of peaches and nectarines intermittently warmed during controlled-atmosphere storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(2): 214-216.
- Artés, F. 1995. Innovaciones en los tratamientos físicos modulados para preservar la calidad de los productos hortofrutícolas en la postrecolección. I Pretratamientos térmicos. II. Tratamientos térmicos cíclicos. III Tratamientos gaseosos. *Rev. Esp. Ciencia Tecnol. Alim.* 35: 45-64, 35: 139-149 y 35: 247-269.
- Artés, F. 2000. Conservación de los productos vegetales en atmósfera modificada. En: *Aplicación del frío a los alimentos*. Editor: M. Lamúa. Ed. Mundi Prensa. Cap. 4. 105-125.
- Artés, F., A. Cano, and J.P. Fernández-Trujillo. 1996. Pectolytic enzyme activity during intermittent warming storage of peaches. *J. Food Science* 61(2):311-313,321.
- Ben-Arie, R. and S. Lavee. 1971. Pectic changes occurring in 'Elberta' peaches suffering from woolly breakdown. *Phytochemistry* 10:531-538.
- Bramlage, W.J. 1982. Chilling injury of crops of temperate origin. *HortScience* 17(2):165-168.
- Gatti, R. y P. Escudero. 1985. Pardeamiento interno en frutos de carozo. *Revista Frutícola* 2: 45-48.
- Godoy, C., L.A. Lizana, L. Luchsinger y L. Galletti. 1998. Efecto de las fluctuaciones térmicas postcosecha en el desarrollo de daño por frío en frutos de ciruela var. Casselman. *Investigación Agrícola (Chile)* 18(1-2):39-46.
- Hardenburg, R.E., A.E. Watada, and C.Y. Wang. 1986. *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*. U.S.D.A. Agricultural Handbook 66. 130 p.
- Lill, R.E. and G. Van der Mespel. 1988. A method for measuring the juice content of mealy nectarines. *J. Hort. Sci.* 36: 267-271.
- Lill, R.E., E.M. O'Donoghue, and G.A. King. 1989. Postharvest physiology of peaches and nectarines. *Hort. Rev.* 11: 413-452.
- Lizana, L. A., J. C. Fell and L. E. Luchsinger. 1998. Influence of postharvest temperature and controlled atmosphere conditioning on O'Henry peach storage disorders. *Acta Horticulturae* 464:527.
- Luchsinger, L. E. 1996a. Quantification of peach fruit maturity, chilling injury and changes in cell wall composition during storage. PhD Diss., University of Maryland, College Park. 135 p.
- Luchsinger, L. E. 1996b. Avances en el estudio de los desórdenes fisiológicos en frutos de duraznos y nectarines. En: *I Curso Internacional de Postcosecha: Estrategias tecnológicas de postcosecha para frutos de carozo*. Fac. de Agronomía e Ing. Forestal, P. Universidad Católica de Chile. Colección de Extensión. Cap. VII:1-9.
- Luchsinger, L.E. y C.S. Walsh. 1995a. Problemas de harinosidad en duraznos y nectarines de exportación. *Public. Misc. Agric.* 42:41-43.
- Luchsinger, L.E. y C.S. Walsh. 1995b. Harinosidad en duraznos y nectarines de exportación en el puerto de Philadelphia, EE.UU. *Simiente* 65(1-3):21 (Abstr.).
- Luchsinger, L.E. y C.S. Walsh. 1997. Problemática de la exportación de duraznos, nectarines y ciruelas: I Parte: índices de cosecha. *Aconex* 55:5-10.

- Luchsinger, L.E. and C. S. Walsh. 1998a. Chilling injury of peach fruit during storage. *Acta Horticulturae* 464:473-477.
- Luchsinger, L. and C. Walsh. 1998b. Development of an objective and non-destructive harvest maturity index for peaches and nectarines. *Acta Horticulturae* 465(2):679-687.
- Luza, J.G., R. van Gorsel, V.S. Polito, and A.A. Kader. 1992. Chilling injury in peaches: a cytochemical and ultrastructural cell wall study. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(1):114-118.
- Mitchell, F.G. y C. Crisosto. 1996. Utilización del enfriamiento y el almacenamiento refrigerado para estabilizar y conservar frutos de carozo para consumo fresco. En: I Curso Internacional de Postcosecha: Estrategias tecnológicas de postcosecha para frutos de carozo. Fac. de Agronomía e Ing. Forestal, P. Universidad Católica de Chile. Colección de Extensión. Cap. X:1-20.
- Mitchell, F.G. and A.A. Kader. 1989. Factors affecting deterioration rate, p. 165-178. In: Peaches, plums and nectarines-Growing and handling for fresh market. J.H. LaRue and R.S. Johnson (eds.). Publ. 3331, Univ. of California, Div. of Agr. and Natural Resources, Oakland, CA.
- Mitchell, F.G., G. Mayer, E.C. Maxie, and W.W. Coates. 1974. Cold storage effects on fresh market peaches, nectarines and plums: I. estimating freezing points, II. using low temperatures to delay internal breakdown. *Calif. Agr.* 28(10):12-14.
- Von Mollendorff, L.J., G. Jacobs, and O.T. De Villiers. 1992. The effect of temperature manipulation during storage and ripening on firmness, extractable juice and woolliness in nectarines. *J. Hort. Sci.* 67(5):655-662.
- Von Mollendorff, L.J., O.T. De Villiers, and G. Jacobs. 1989. Effect of time of examination and ripening temperature on the degree of woolliness in nectarines. *J. Hort. Sci.* 64(4):443-447.
- Watada, A.E. 1982. Chilling injury of horticultural crops: Introduction. *HortScience* 17(2):160.
- Werner, R.A., L.F. Hough, and C. Frenkel. 1978. Rehardening of peach fruit in cold storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103(1):90-91.

# CONTROL DE FISIOPATIAS EN POMÁCEAS

**Flores-Cantillano, F.**

*Dr.Ing.Agr. Investigador. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa de Agricultura de Clima Temperado.  
Caixa Postal 403 - CEP:96001-970 Pelotas - RS, Brasil. E-mail fcantill@cpact.embrapa.br*

---

## INTRODUCCIÓN

Los disturbios fisiológicos son alteraciones de carácter no parasitario que afectan frutas y hortalizas, alterando su metabolismo normal durante la madurez y senescencia. Producen una apariencia (externa o interna) y/o sabores anormales en la fruta.

Los factores de pre y postcosecha que condicionan el apareamiento de estos problemas son: madurez de cosecha, período entre la cosecha y la refrigeración, condiciones climáticas durante el desarrollo de la fruta en el huerto, factores de manejo en el huerto y condiciones de almacenaje.

Los principales disturbios fisiológicos que afectan las pomáceas en Brasil son:

### 1. ESCALDADURA SUPERFICIAL

En Brasil este problema afecta los cultivares de manzana Fuji, Granny Smith, Gala. Ocasiona pérdidas a nivel de mercado, dejando las frutas susceptibles a pudriciones. Es un problema que ocurre durante el almacenamiento de la fruta. Ha sido durante años uno de los disturbios fisiológicos más estudiados en el mundo.

Este disturbio se caracteriza por un oscurecimiento de las células hipodérmicas las cuales se tornan de color marrón, entran en colapso y mueren. En casos severos, la epidermis también es afectada. Es un problema superficial no afectando, en general, la pulpa. Los síntomas son más evidentes después de 3-4 meses de almacenamiento refrigerado a 0°C aumentando cuando las frutas son expuestas a temperatura ambiente. El desarrollo del escaldado presenta una fase de inducción y una de expresión de la sintomatología. La inducción ocurre con las bajas temperaturas, mientras los síntomas se desarrollan con baja y alta temperatura siendo más común este último caso. Los síntomas de este disturbio se manifiestan más en las partes más verdes que en el lado rojo de la manzana.

Su causa no ha sido establecida con precisión, sin embargo existe una fuerte relación entre la presencia de  $\alpha$ -farneseno sus derivados, las trienias conjugadas (CT), y el escaldado. Según esta teoría, el escaldado está asociado a la acumulación de un sesquiterpeno acíclico hidrocarbonado denominado alfa-farneseno, localizado en la superficie cerosa que cubre la epidermis el cual aumenta y disminuye en la fruta durante el almacenamiento. El  $\alpha$ -farneseno

es sintetizado principalmente a partir del *trans,trans*-farnesilpirofosfato (FPP) mediante la enzima *trans,trans*- $\alpha$ -farneseno sintasa, más que por la vía del farnesol. El  $\alpha$ -farneseno predominante es el *trans,trans*- $\alpha$ -farneseno en oposición al isómero *cis-trans* en proporción de 300:1. Sin embargo, se ha visto que el escaldado está más asociado a la acumulación de trienas conjugadas (productos de oxidación del  $\alpha$ -farneseno) que con el propio sesquiterpeno. Las trienas identificadas son la TC-258, TC-260 y TC-281, siendo ésta última la más importante. La correlación entre la TC-281 y el escaldado es la base de la hipótesis de que el  $\alpha$ -farneseno es peroxidado para trienas conjugadas, lo que lleva a un colapso celular y al desarrollo de los síntomas. Sin embargo, se ha visto recientemente que los metabolitos tóxicos generados por la TC-281, son más importantes que la propia acumulación de la TC-281 y que la relación TC-258:TC-281 es más importante que cada una de ellas de forma aislada. El papel de las TC en el desarrollo de la sintomatología no está muy claro, pero se estima que ellos pueden estar relacionados con la peroxidación de los lípidos de la membrana, lo cual rompe la organización celular resultando en la expresión de los síntomas. En manzanas se han identificado alrededor de 11 antioxidantes endógenos. Entre ellos, los antioxidantes naturales como la vitamina E, que aumenta con la cosecha tardía de la manzana, el  $\alpha$ -tocoferol, carotenoides y  $\alpha$ -ascórbico pueden inhibir la oxidación del  $\alpha$ -farneseno, protegiendo el fruto contra el escaldado. Las variaciones cuantitativas de éstos antioxidantes, son importantes en el desarrollo de la escaldadura, y estos cambios están más asociados con la madurez e intensidad luminosa que con las bajas temperaturas ocurridas en el huerto antes de la cosecha.

Algunos factores predisponentes son: veranos secos y calurosos, fruta cosechada inmadura, fruta de tamaño grande, exceso de nitrógeno, baja temperatura de conservación, deficiente ventilación.

Su control se realiza con tratamientos de postcosecha con anti-oxidantes como la difenilamina (DPA) y etoxiquina en dosis variables entre 1.000 a 3.000 ppm. En Brasil está prohibido su uso, aunque han sido experimentados otros productos como el Butilhidroxitolueno, en los cvs. Fuji y Granny Smith con dosis variables entre 3.000 y 10.000 ppm (Cuadro 1). El uso de atmósfera controlada, en condiciones de ultra bajo oxígeno, reduce este problema, sin embargo son necesarias concentraciones de 0,7% de  $O_2$  para ser equivalentes a 2000 ppm de DPA, lo cual puede provocar problemas de anaerobiosis en muchas variedades de manzanas. El pre-calentamiento de la fruta antes de ser almacenada en refrigeración, inhibe la acumulación de  $\alpha$ -farneseno y trienas conjugadas dando un buen control de esta alteración fisiológica.

## 2. ESCALDADURA BLANDA O PROFUNDA

### **Es un problema de ocurrencia esporádica en Brasil.**

Su sintomatología se caracteriza por el apareamiento de manchas de color marrón claro, planas, de bordes bien definidos, separando los tejidos sanos y enfermos. Afecta la piel y la pulpa hasta 3 mm de profundidad.

Su causa no está bien definida. Se presume que sean reacciones anormales del metabolismo de los ácidos grasos. Este problema se ha correlacionado directamente con el nivel de hexanol e inversamente con el ácido linoléico. Entre los factores predisponentes se cita la cosecha tardía y el enfriamiento rápido en frutas sobremaduras.

Su control está basado en minimizar los factores predisponentes y reducir gradualmente la temperatura de almacenaje.

Cuadro 1: Efecto del BHT y DPA en el control del escaldado superficial en manzanas cv.Fuji, producidas en Brasil.

| Producto | Incidencia del escaldado superficial (%)<br>Almacenaje refrigerado (meses) |          |          |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
|          | 3                                                                          | 6        | 9        |
| Testigo  | 1.0 aB                                                                     | 20.11 aA | 25.98 aA |
| BHT-500  | 0.0 aB                                                                     | 0.16 bB  | 17.5 abA |
| BHT-3000 | 0.0 aB                                                                     | 0.0 bB   | 12.44 bA |
| BHT-5000 | 0.0 aA                                                                     | 1.04 bA  | 0.16 cA  |
| DPA-500  | 0.0 aA                                                                     | 0.0 bA   | 0.16 cA  |
| DPA-1000 | 0.0 aA                                                                     | 0.0 bA   | 0.0 cA   |
| DPA-1500 | 0.0 aA                                                                     | 0.0 bA   | 0.0 cA   |

Medias seguidas por letras minúsculas diferentes, en la columna y mayúsculas distintas, en la línea, difieren entre sí según el test de Ducan ( $P < 0.05$ ).

### 3. ESCALDADO SENESCENTE

En Brasil afecta las manzanas cv. Golden Delicious, Gala y peras cv. Kieffer. Se manifiesta por el oscurecimiento de la fruta en las regiones del cáliz y ecuatorial. En peras es un pardeamiento superficial que se extiende hasta una profundidad de 1-3 mm, lo que corresponde a algunas capas celulares sub-epidérmicas. Puede venir acompañada de un despegue de la epidermis, lo que indica que es una senescencia superficial ligada a una evolución acelerada del fruto que pierde rápidamente sus cualidades organolépticas.

Su causa es desconocida, estando asociada a desequilibrios metabólicos en frutas provenientes de cosecha tardía y con un excesivo tiempo de almacenamiento.

### 4. BITTER PIT

En Brasil afecta las manzanas cvs. Gala, Golden Delicious, Fuji, Granny Smith, Mutsu, Melrose, Red Delicious y otras.

Sus síntomas son manchas circulares, deprimidas, oscuras de 3 a 6 mm de diámetro, que penetran en la pulpa. El tejido bajo la mancha es seco y corchoso. Es más abundante entre las regiones calicular y ecuatorial del fruto, apareciendo durante el primer mes de almacenamiento. En casos severos puede aparecer en la cosecha.

Su causa más probable es un complejo desequilibrio nutricional en la relación Mg+K/Ca. Deficiencias localizadas de calcio, junto a un exceso de magnesio o potasio a nivel de fruto, causarían este disturbio.

El calcio tiene varios efectos asociados con la estructura y función de la membrana y con la estructura y composición de la pared celular. El calcio es un importante constituyente de la pared celular, y su deficiencia afecta negativamente la permeabilidad selectiva de la membrana celular, conduciendo a daños en la célula, causando su desintegración y muerte. Altos niveles de calcio mantienen la fruta firme, con menor tasa respiratoria, menor índice de pudriciones y alteraciones fisiológicas. Las frutas tratadas con calcio tienen un patrón de disminución de la textura diferente de las no tratadas, a pesar de conocerse poco todavía acerca de los cambios estructurales de la pared celular de la manzana durante la madurez y senescencia y su vinculación con el calcio. La mayoría del calcio que entra en la fruta se acumula en la pared celular. Los grupos carboxílicos libres en los polímeros de pectina, juegan un importante papel en la estabilización de la pared celular, mediante sus uniones con el calcio. Recientemente se ha identificado dos compartimentos en la pared celular vinculados al calcio: uno para superficies cargadas con cationes unidos, incluyendo el calcio y otra para espacios libres de agua que contienen iones no unidos de calcio. La acumulación de calcio en la pared celular facilita la estructuración de los polímeros pécticos y con ello la firmeza y cohesión celular. Se cree que los iones no unidos de calcio tienen poco o ningún efecto directo en la firmeza de los tejidos celulares.

Entre los efectos predisponentes se encuentran los períodos de sequía, susceptibilidad del cultivar, madurez de la fruta a la cosecha, manejo del huerto, desequilibrios nutricionales, problemas climáticos, factores de almacenamiento.

Con relación al control de este problema, regulando los factores predisponentes se puede lograr una reducción del disturbio. Sin embargo, el método de control más efectivo, en Brasil y en muchos países productores de manzanas, son las pulverizaciones en el huerto con calcio sea en la forma de cloruro o nitrato de calcio, calcio quelatizado, solución de cloruro de calcio etc. El tratamiento más generalizado en Brasil, consiste en realizar de 5 a 10 pulverizaciones con cloruro de calcio 0,5-0,6% los cuales aumentan el nivel de calcio en el fruto, disminuyendo la incidencia de Bitter Pit (Cuadro 2). También se aplica en algunas regiones calcio al suelo, siendo menos efectivo. La aplicación estos tratamientos después de floración como más tarde (60 días antes de cosecha) son beneficiosos para el control del Bitter Pit, siendo más efectivos que las aplicaciones aisladas de postcosecha (2% de cloruro de calcio) que, a pesar de importantes, sólo complementan las anteriores. En Brasil, por causa de las altas temperaturas durante el verano, estos productos pueden producir manchas en los frutos ("calcium spot") y/o quemaduras en las hojas. Recientemente se ha visto que el encerado de los frutos después de los tratamientos por inmersión postcosecha con cloruro de calcio, ha disminuido la pérdida de agua de los frutos y evitado las manchas por toxicidad causadas por el calcio. El uso de atmósferas modificadas y controladas también reducen este disturbio.

Varias metodologías han sido propuestas para predecir la incidencia de Bitter Pit antes del almacenamiento refrigerado, como tratamientos de inmersión con etefón, análisis nutricional de la fruta (balance K+Mg/Ca), actividad de la enzima piruvatokinasa pues la elevada actividad de esta enzima indica alta incidencia de Bitter Pit debido a su relación negativa con el calcio y positiva con el magnesio y potasio. Sin embargo estas metodologías no han sido usadas comercialmente.

Cuadro 2: Análisis nutricional de frutos y su relación con la incidencia de Bitter Pit después de 4 meses de almacenaje refrigerado a 0 °C en manzanas cv. Golden Delicious en Brasil.

|                       | Análisis de Frutos (E1) |      |          |          |              |       |      |       |
|-----------------------|-------------------------|------|----------|----------|--------------|-------|------|-------|
|                       | N %                     | K %  | Ca (ppm) | Mg (ppm) | % Bitter Pit |       |      |       |
|                       |                         |      |          |          | SF           | COM   |      |       |
|                       |                         |      |          |          |              | Ext.  | Ext. | Int.  |
| Testigo               | 0.2                     | 0.67 | 132.25   | 261.25   | 40           | 47.5  | 32.5 |       |
| CaCl <sub>2</sub> x 3 | 0.2                     | 0.61 | 158.25   | 284.5    | 7.5          | 1.25  |      |       |
| CaCl <sub>2</sub> x 5 | 0.16                    | 0.64 | 191.75   | 264.25   | 7.5          | 7.5   | 1.25 |       |
| Quelato x 3           | 0.19                    | 0.66 | 138.25   | 271.75   | 12.5         | 12.5  | 2.5  |       |
| Quelato x 5           | 0.2                     | 0.67 | 164.25   | 292.25   | 11.25        | 11.25 | 0    |       |
|                       | Análisis de Frutos (E2) |      |          |          |              |       |      |       |
|                       | Testigo                 | 0.2  | 0.63     | 136      | 280          | 47.5  | 62.5 | 56.25 |
|                       | CaCl <sub>2</sub> x 3   | 0.2  | 0.63     | 156.5    | 255.5        | 3.75  | 7.5  | 0     |
|                       | CaCl <sub>2</sub> x 5   | 0.19 | 0.65     | 172.25   | 269.25       | 2.5   | 5    | 2.5   |
|                       | Quelato x 3             | 0.17 | 0.65     | 146      | 257          | 8.75  | 10   | 13.75 |
|                       | Quelato x 5             | 0.18 | 0.63     | 162      | 226.5        | 1.25  | 10   | 5     |

SF= Salida Refrigeración  
COM = Comercialización

x 3= 3 pulverizaciones  
x 5= 5 pulverizaciones

E1= Cosecha inmadura  
E2= Cosecha madura

## 5. DESINTEGRACIONES INTERNAS

### 5.1 Desintegración por baja temperatura

Afecta el tejido cortical del fruto produciendo un pardeamiento generalizado. El daño es interno no apreciándose del exterior. Las áreas del tejido afectado son húmedas y bien delimitadas. La baja temperatura altera la permeabilidad y la función de las membranas celulares, como también la actividad enzimática, la cual altera el metabolismo celular. Esto causa la acumulación de sustancias tóxicas del propio metabolismo, en los cultivares susceptibles cuando son sometidos a las bajas temperaturas. En este caso habría acumulación del ácido oxalacético interrumpiendo el ciclo de Krebs, de volátiles tóxicos, cetoácidos y sorbitol.

Entre los factores predisponentes están la baja temperatura, tiempo de exposición a esa temperatura y susceptibilidad del cultivar. Factores climáticos, nutricionales y metabólicos durante el desarrollo de la fruta en el árbol también favorecen el problema. Algunas variedades de manzanas almacenadas a 0°C son afectadas por este problema.

Su control esta basado en la reducción de los factores predisponentes, uso correcto de la temperatura de almacenaje para esa variedad, acondicionamiento del fruto a temperatura de 20°C por 2 días y luego a la temperatura de almacenaje definitiva, calentamiento intermitente (20°C un día por semana 12°C dos días por semana), uso de atmósfera controlada, alto nivel de CO<sub>2</sub> (5%), disminución gradual de la temperatura de almacenamiento (4°C el primer mes, 2°C el segundo mes y 0°C a partir del tercer mes). Sin embargo un control total y satisfactorio aún no se ha logrado.

### 5.2 Desintegración senescente

En Brasil afecta a la mayoría de las variedades de manzanas, como Gala, Golden Delicious, Blackjohn. Sus síntomas están caracterizados por una descomposición seca y harinosa, de avance difuso, afectando los tejidos corticales del fruto. Se agrava al remover la fruta del almacenamiento refrigerado y exponerla a altas temperaturas durante la comercialización. En algunos casos afecta la piel y la pulpa, partiéndose ésta, con fisuras profundas. Este disturbio está asociado a deficiencias de calcio en el fruto, alteraciones en la relación K/Ca, acumulación de sorbitol, volátiles tóxicos, acetaldehídos, acetatos etc. Entre los factores predisponentes están la falta de calcio, magnesio y exceso de nitrógeno en el fruto, fruta cosechada con madurez avanzada, alta humedad relativa, largos períodos de almacenamiento, incidencia de corazón acuoso. El bajo número de semillas por fruto, causa una deficiencia de calcio y contribuye para aumentar el disturbio.

Su control se realiza con tratamientos de calcio en pre y postcosecha, buena polinización del huerto, evitando cosechas tardías y períodos prolongados de almacenamiento.

## 6. CORAZÓN ACUOSO, VITRESCENCIA (WATERCORE)

Esta alteración fisiológica, en Brasil, afecta principalmente manzanas cv. Fuji y secundariamente las del grupo Delicious y Granny Smith . Se caracteriza por la presencia de manchas traslúcidas, vidriosas, esponjosas y húmedas en la pulpa del fruto (haces vasculares), región carpelar y tejidos adyacentes. Estas manchas pueden ser de 1 a 2 mm<sup>2</sup> hasta varios cm<sup>2</sup>. Es un daño interno que se presenta en la cosecha, pudiendo desaparecer posteriormente durante el almacenamiento, en caso de daño leve. En casos severos, durante el almacenamiento, se transforma en desintegración interna.

Su causa se debe a la presencia de líquido en los espacios intercelulares con la presencia de altos niveles de sorbitol, carbohidrato de transporte importante en manzanas. El sorbitol no puede ser usado directamente por el fruto, sino que debe ser transformado previamente en fructosa. Esta conversión no se realiza en los tejidos afectados por corazón acuoso, por tanto la susceptibilidad del cultivar a éste problema, depende de su capacidad de convertir el sorbitol en fructosa. Altos contenidos de sorbitol conducen a la acumulación de etanol y acetaldehído.

Por ser un disturbio interno, lo más común es detectarlo partiendo la fruta, siendo un método destructivo de evaluar el problema. Como método no destructivo, se ha experimentado la transmisión de luz, sin embargo éste método sólo evalúa el grado de severidad total, pero no la distribución del área afectada. También es posible separar las frutas afectadas por flotación en soluciones apropiadas de alcoholes (etílico, metílico, isopropílico). Actualmente con la técnica de resonancia magnética nuclear, es posible detectar con claridad la distribución del problema en la manzana.

Como factores predisponentes se cita la cosecha de fruta con madurez avanzada, alta relación hoja/fruto, alta temperatura y luminosidad en la cosecha, fertilización nitrogenada excesiva, deficiencia de calcio, frutos de tamaño grande, etc.

Su control se realiza evitando cosechas tardías, regulando la poda y el raleo, pulverizando la fruta con calcio y almacenando rápidamente la fruta.

## **7. DISTURBIOS EN ATMÓSFERA CONTROLADA**

### **7.1. Daño por toxicidad al dióxido de carbono**

En Brasil, este problema afecta principalmente las manzanas cv.Fuji. El daño externo se presenta como una mancha oscura, similar al escaldado. Este problema está asociado a susceptibilidad varietal al CO<sub>2</sub>, fruta cosechada inmadura, rápido establecimiento de los niveles de CO<sub>2</sub>, antes que la fruta se haya enfriado, exceso de humedad y agua sobre la superficie de la fruta la cual solubiliza el CO<sub>2</sub> manchando la fruta.

El daño interno se manifiesta con oscurecimientos de los tejidos corticales y áreas adyacentes a los carpelos. Los tejidos dañados son firmes y húmedos. Posteriormente pierden humedad y se forman cavidades huecas (cavernas) de color marrón, oscuro y secas. Como factores asociados se encuentran los bajos niveles de oxígeno y bajas temperaturas en cultivares susceptibles. No se ha encontrado una asociación con los niveles nutricionales entre los tejidos afectados y los sanos (Cuadro 3). Como medida de control, se recomienda no almacenar los frutos con niveles altos de CO<sub>2</sub>, y realizar un "pull-down" hasta 8% de O<sub>2</sub>, manteniendo el CO<sub>2</sub> en niveles inferiores a 1% y con temperatura adecuada de almacenamiento.

### **7.2 Daño por falta de oxígeno**

Se presenta cuando la concentración de oxígeno es inferior al 1,5%. El uso generalizado del sistema de atmósfera controlada ULO, junto con deficiencias en el control de los gases, ha causado problemas en los cultivares Gala y Fuji en Brasil.

Los síntomas son manchas de color marrón, oscuras pudiendo presentar fisuras incluyendo el tejido sub-epidérmico. Los tejidos de la pulpa presentan fuerte olor a alcohol (fermentado).

Su causa es la falta de oxígeno, dejando la fruta en condiciones anaeróbicas, alterando su metabolismo de respiración y acumulando alcohol etílico. Las frutas pueden recuperarse, si el contenido de alcohol en los tejidos es inferior a 120 mg/100g. Se recomienda establecer un

margen de seguridad de 0,5% en los niveles establecidos de O<sub>2</sub> y una supervisión periódica de los niveles de este gas en las cámaras frigoríficas con sistemas de atmósfera controlada.

Cuadro 3: Niveles nutricionales en la pulpa de manzanas cv. Fuji, afectadas por oscurecimiento interno en la pulpa, después de 6 meses de almacenamiento en atmósfera controlada en Brasil.

| Pulpa de manzana | N <sup>1</sup> | P <sup>1</sup> | K <sup>1</sup> | Ca <sup>1</sup> | Mg <sup>1</sup> | B <sup>2</sup> | (K+Mg)/Ca |
|------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------|
| Obscura          | 33,3a          | 12,6a          | 168,3a         | 4,9a            | 6,1a            | 2,6a           | 35,7a     |
| Clara            | 27,0a          | 10,0b          | 147,6b         | 3,5b            | 4,5ab           | 1,9b           | 44,1a     |
| Sana             | 31,3a          | 9,0c           | 144,3b         | 3,1b            | 4,2b            | 1,7b           | 49,1a     |

Medias seguidas por letras distintas, difieren significativamente entre sí, según el test de Duncan (P< 0.05). <sup>1</sup> mg/100g peso fresco <sup>2</sup> ppm

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Anet, E. 1972. Superficial scald, a functional disorder of stored apples: VII. Volatile products from the auto-oxidation of farnesene. *J Sci.Fd.Agric.Res.* 23:605-608.
- Anet, E. 1972. Superficial scald, a functional disorder of stored apples: IX. Effect of maturity and ventilation. *J Sci.Food.Agric.* 23: 763-769.
- Anet, E. 1974. Superficial scald. *CSIRO, Food Res.Quat.*34: 4-8.
- Barden, C.L.; Bramlage, W.L. 1994. Accumulation of antioxidants in apple peel as related to preharvest factors and superficial scald susceptibility of the fruit. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.* 119: 264-269.
- Beavers, W.B.; Sams, C.E. 1994. Calcium source affects calcium content, firmness and degree of injury of apples during storage. *HortScience*, 29: 1520-1523.
- Bondeaux, P. 1994. Enfermedades de conservación de frutos de pepita, manzanas y peras. MP ed. INRA, Madrid, 172 p.
- Blanpied, G.D. 1981. A relationship between waterloss and storage breakdown of "Mc Intosh" apples. *HortScience*, 16: 525:526.
- Bramlage, W.J.; Weis, S.A.; Greene, D.W. 1990. Observations on the relationship among seed number, fruit calcium and senescent breakdown in apples. *HortScience*, 25:351:353.
- Eksteen, G.J. 1980. Recommendations for the application of DPA. *The Deciduous Fruit Grower*, 30: 82-88.
- Failla, O.; Treccani, C.P.; Mignani, I. 1990. Water status, growth calcium nutrition of apple trees in relation to bitter pit. *Scientia Horticulturae*, 42: 55-64.
- Faust, M.; Shear, C.B. 1968. Corking disorders of apples. A physiological and biochemical review. *Bot.Rev.*, 34: 441-469.
- Fidler, J.C.; Wilkinson, B.G.; Sharples, R.O. 1973. The biology of apples and pear storage. East Malling Research Station. Research Review n°3 Commonwealth Agricultural Bureau, Kent, 235 p.
- Flores-Cantillano, F. 1988. Controle do Bitter Pit. Pelotas, *Jornal do Centro de Fruteiras*, 4:8.
- Flores-Cantillano, F. 1988. Time of harvesting and diphenylamine treatments in the control of superficial scald in apples cv. Fuji in Rio Grande do Sul, Brazil. *Acta Horticulturae*, 232: 245-252.

- Glenn,G.M.; Poovaiah,B.W. 1990. Calcium mediated postharvest changes in texture and cell wall structure and composition in "Golden Delicious" apples. *J.Amer.Soc.Hort. Sci.*, 115; 962-968.
- Hewett,E.W.; Thompson,C.B. 1989. Modified atmosphere storage and bitter pit reduction in "Cox Orange Pippin" apples. *Scientia Horticulturae*, 39: 117-129.
- Hewett,E.W.; Watkins,C.B. 1991. Bitter pit control by sprays and vacuum infiltration of calcium in "Cox Orange Pippin" apples. *HortScience*, 26: 284-286.
- Huelin, F.E.; Coggiola,I.M. 1970. Superficial scald, a functional disorder of stored apples: V. Oxidation of a-farnesene and its inhibition by diphenylamine. *J.Sci.Fd.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. 1990. Tolerance of three apple cultivars to ultra-low levels of oxygen. *HortScience*, 25: 1412-1414.
- Lidster,P.D. 1990. Storage humidity influences fruit quality and permeability to ethane in "Mc Intosh" apples stored in diverse controlled atmospheres. *J. Amer. Soc.Hort.Sci.*,115: 94-96.
- Lidster, P.D.;Blanpied,G.D.; Prange,R.K. 1990. Controlled-atmosphere disorders of commercial fruits and vegetables. *Ottawa Agric. Can.Publ. 1847/E*, 58 p.
- Little,C.R.; Peggie,I.D. 1987. Storage injury of pome fruit caused by stress levels of oxygen, carbon dioxide, temperature and ethylene. *HortScience*,22: 783:790.
- Lurie,S.; Meir,S.; Ben-Arie,R. 1989. Pre harvest ethephon sprays reduce superficial scald of "Granny Smith" apples. *HortScience*,24:104-106.
- Lurie,S.; Klein,J.D.; Ben-Arie,R. 1991. Prestorage heat treatments delays development of superficial scald on "Granny Smith" apples. *HortScience*,26: 166-167.
- Marcellin,P.1978. L'échaudure superficielle des pommes. *Fruits*, 33: 43-47.
- Marlow,G.C.; Loescher,W.H. 1984. Watercore. *Hortic.Rev.*6: 189-251.
- 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.
- Mir,N.; Wendorf,M.; Perez,R.; Beaudry,R. 1998. Chlorophyll fluorescence in relation to superficial scald development in apple. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.*, 123: 887-892.
- Perring,M.A.; Pearson,K.; Martin,K.J. 1985. The distribution of calcium in apples with senescent breakdown. *J.Sci.Food Agric.*,36: 1035-1038.
- Porrit,S.W.; Meheriuk,M.; Lidster, P.D. 1982. Postharvest disorders of apples and pears. *Ottawa Agric.Can.Publ.*1737, 66 p.
- Rupasinghe,H.P.V.; Paliyat,G.; Murr,D.P. 1998. Biosynthesis of a-farnesene and its relation to superficial scald development in "Delicious" apples. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.*, 123: 882-886.
- Saftner,R.A.; Conway,W.S. 1998. Effect of postharvest calcium chloride treatments on tissue water relations,cell wall calcium levels and postharvest life of "Golden Delicious" apples. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.*, 123: 893-897.
- Salunke,D.K.; Kadam,S.S. 1995. Handbook of fruit science and technology: production, composition, storage and processing. III series:Food science and technology. Marcel Dekker Inc. New York,USA, 611 p.

- Saks,Y.; Sonogo,L.; Ben-Arie,R. 1990. Senescent breakdown of "Jonathan" apples in relation to the water-soluble calcium content of the fruit pulp before and after storage. *J. Amer.Soc.Hort.Sci.*, 115: 615-618.
- Scott,K.J.; Wills,R.B.H. 1975. Postharvest application of calcium as a control for storage breakdown of apples. *HortScience*,10: 75-76.
- Smock,R.M. 1977. Nomenclature for internal storage disorders of apples. *HortScience*, 12: 306-308.
- Wang,S.Y.; Wang,P.; Faust,M. 1988. Non-destructive detection of watercore in apple with nuclear magnetic resonance imaging. *Scientia Horticulturae*, 35: 227-234.
- Williams,N.W. 1966. Relationship of sugars and sorbitol to watercore in apples. *Proc.Am.Soc.Hortic.Sci.*,88: 67-75.
- Wills,R.; McGlasson,B.; Graham,D.; Joyce,D. 1998. Postharvest. An introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals. UNSW Press, Adelaide, Australia, 262 p.
- Witney,G.W.; Kushad,M.M. 1990. Correlation of pyruvate kinase activity with bitter pit development in apple fruit. *Scientia Horticulturae*, 43: 247-253.
- Zhanyuan,D.; 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.
- Zhanyuan,D.; Bramlage,W.J. 1994. Roles of ethylene in the development of superficial scald in "Cortland" apples. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.*,119:516-523.