

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.



UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

Ingeniería Agronómica

**“Control de escaldadura superficial en
pera y manzana: un compromiso técnico y
comercial”**

**Trabajo final de graduación para optar por el título de:
Ingeniero Agrónomo**

Autor: Galazi, Ignacio

Tutor: Ing. Agr. (MSc.) Calvo, Gabriela

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

Titulo

Control de escaldadura superficial en peras y manzanas: un compromiso técnico y comercial.

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

Índice

1. Resumen	4.
2. Objetivos.....	6.
3. Introducción.....	7.
4. Materiales y métodos	10.
5. Resultados y discusión	
Importancia de la escaldadura superficial en frutas de pepita.	
5.1. Origen bioquímico y desarrollo del escaldado.....	10.
5.2. Factores que influyen en la susceptibilidad de los frutos	13.
5.3. Diferencias entre peras y manzanas.....	16.
5.4 Métodos de control	
5.4.1. Aplicación de antioxidantes y problemática actual.....	17.
5.4.2. Alternativas de control	18.
6. Discusión y conclusiones	25.
7. Bibliografía	26.

1. **RESUMEN**

El presente trabajo se basa en la revisión y recopilación de datos bibliográficos sobre la escaldadura superficial en peras y manzanas, tanto su origen bioquímico como los métodos de control existentes.

La escaldadura superficial es un desorden fisiológico que afecta significativamente la calidad y comercialización de peras y manzanas. Esta tesis aborda los mecanismos bioquímicos que subyacen a este desorden, así como los factores que intervienen en su desarrollo. Se analizan diferentes estrategias de control, tanto convencionales como innovadoras, considerando su eficacia, costo y sostenibilidad. Además, se analiza el impacto económico de la escaldadura en la cadena de valor de la fruta, y se proponen recomendaciones para mejorar la gestión postcosecha y garantizar la calidad de los productos.

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

Palabras clave

Escaldadura superficial

Pepita

Manzana (*Malus domestica*)

Pera (*Pyrus communis*)

2. **OBJETIVOS**

Objetivo general:

- Caracterizar la fisiopatía escaldadura superficial, sus causas y estrategias de control.

Objetivos específicos:

- Recopilar la información existente sobre los mecanismos fisiológicos y bioquímicos implicados en el desarrollo de la escaldadura superficial en peras y manzanas.
- Determinar cuáles son los factores que influyen en su desarrollo.
- Analizar los métodos de control existentes y sus posibles alternativas.
- Establecer cuáles son las perspectivas futuras en lo que respecta al control de la fisiopatía.

3. INTRODUCCIÓN

Contexto nacional y mundial de los frutales de pepita.

Los frutales de pepita junto a los citrus, los frutales de carozo, la banana y la uva de mesa son las frutas más conocidas y consumidas en el mundo; en las últimas décadas las frutas tropicales y exóticas están compitiendo o complementando a las mencionadas anteriormente, por ejemplo, palta, kiwi, mango, etc. (Toranzo, 2016).

Los mercados emergentes, tales como China e India, se están convirtiendo en los más relevantes para la comercialización global de peras y manzanas. Si bien China es el principal productor del mundo, simultáneamente ha ido incrementando sus importaciones y exportaciones, tanto de frutas frescas como procesadas (Van Rijswick, 2018). Como ya se mencionó, a nivel internacional, el mayor productor de manzanas y peras es China, seguido por Estados Unidos. En manzana, Polonia ocupa el tercer lugar y en pera, Italia. Argentina ocupa el duodécimo (12) lugar en cuanto a producción de manzana y el cuarto en lo referente a pera.

En lo que respecta al hemisferio sur, Argentina es la principal productora de peras (Toranzo, 2016). Río Negro y Neuquén concentran aproximadamente el 85 % de la superficie cultivada de peras y manzanas del país, así como el 85 % de la producción y el 95 % de las exportaciones en fresco e industriales, representando el rubro en fresco el 65,9 % de los ingresos por exportaciones (CAFI, 2019). El Programa Nacional de Control y Erradicación de Mosca de los Frutos Región Patagónica logró que el territorio fuera reconocido por EEUU, a partir del 2005, como área libre de este insecto, lo que arrojó importantes beneficios comerciales para la cadena (Toranzo, 2016).

La producción de manzanas es relativamente estable en el hemisferio sur. Se ubica en torno a los 5,5 millones de toneladas, destacándose Chile, Brasil y Argentina; le siguen con una menor participación Nueva Zelanda y Sudáfrica (Storti y Bevilacqua, 2017). Tradicionalmente, Argentina ocupaba un importante lugar como exportador de manzana del hemisferio sur; sin embargo, a partir de la década del 80 perdió participación en relación con Chile, quien avanzó posiciones con un crecimiento sostenido de sus ventas, Nueva Zelanda y Sudáfrica.

En cuanto a pera, la participación de nuestro país es del 7 % de la producción mundial y se ha mantenido relativamente estable (Storti y Bevilacqua, 2017). Argentina es líder dentro del hemisferio sur; le siguen Sudáfrica y Chile. Al igual que con la manzana, la participación de Chile ha tenido un crecimiento sostenido en el mercado mundial. Las cadenas frutícolas han logrado insertarse en él principalmente por las ventas a contraestación de los países del hemisferio norte, quienes son los principales compradores del mundo (Storti y Bevilacqua, 2017).

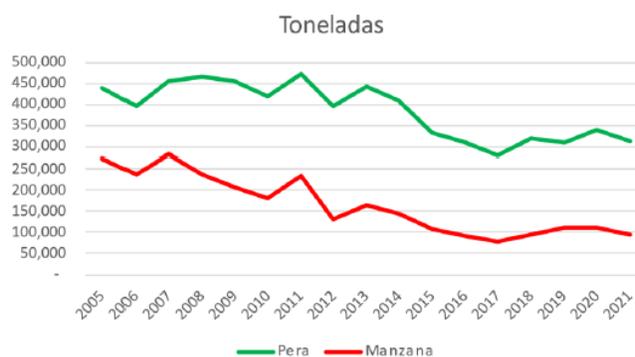
Durante su período de apogeo el sector exportaba aproximadamente entre 650.000 y 700.000 tn de fruta fresca (400.000-450.000 tn de pera y 200.000-250.000 tn de manzana). Estos volúmenes de exportaciones son los que marcan un hito en el sector y los que motivan a pensar en una recuperación. Luego de la caída entre los

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

años 2013-2017 actualmente se exportan unas 100.000 tn de manzana y otras 300.000 tn de pera.

El desempeño externo de ambas especies resulta similar, la caída en los volúmenes exportados de pera, se aceleró entre el 2014 y el 2017, sin embargo y a pesar de ello el sector ha logrado mantener su posicionamiento internacional. En el caso de la manzana se observa una caída casi ininterrumpida entre 2008-2017, que más allá de algunos repuntes, promedia un descenso del 10% interanual (Figura 1). En forma similar a la pera, se produjo una recuperación a partir de 2017.

Evolución de exportaciones de pera y manzana frescas (toneladas)



Fuente: Elaboración propia en base a INDEC

Figura 1. Evolución de exportaciones de pera y manzana fresca (Toneladas).

Argentina exporta manzanas y peras a aproximadamente 60 países. En la primera mitad del año, la exportación de esta fruta se dirigen a países del hemisferio norte, principalmente a Europa, Rusia y Estados Unidos. Más adelante, las ventas se enfocan hacia los países del Mercosur, siendo Brasil el principal destino. Además, Estados Unidos se mantiene como un mercado estable para la manzana y pera argentina.

Las diferentes modalidades de comercialización en la región conllevan distintos niveles de riesgo respecto al momento en que podrían aparecer los primeros síntomas de deterioro por alteraciones fisiológicas derivadas del prolongado almacenamiento como la, escaldadura superficial. Dado que los frutos de cosecha tardía tienen menor capacidad de conservación, es común que se priorice su exportación a los mercados internacionales, mientras que las cosechas tempranas se reservan para almacenamiento a largo plazo.

Durante los primeros meses del año, las frutas de cosecha más tardía se exportan a mercados sin recibir tratamientos antiescaldantes. Si en estos destinos se encuentran con una fuerte competencia de la producción local, puede generarse un exceso de oferta y una demora en las ventas. Esto da lugar a un stock acumulado en el destino, lo que, de no resolverse rápidamente, agrava la situación.

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

En la segunda mitad del año, los síntomas de escaldado superficial suelen ser visibles en supermercados o fruterías tanto en el mercado local como en Brasil (Figura 2). A pesar de que muchos de estos frutos han recibido algún tipo de tratamiento para prevenir el escaldado, el almacenamiento prolongado y, en algunos casos, la limitada eficacia de los tratamientos hace inevitable la aparición de los síntomas. Asimismo, el registro y control del uso de productos antioxidantes juegan un papel fundamental en la gestión de este problema.

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Sin desarrollo de escaldadura				Inicio desarrollo de escaldado				Fruta escaldada			

Figura 2. Desarrollo de escaldadura superficial cuando los frutos no reciben el tratamiento anti escaldante adecuado.

Aspectos productivos

Los sistemas productivos de frutales de pepita poseen características especiales en distintas regiones del mundo que los hacen particularmente únicos. Estas características particulares de cada zona, tanto edáficas y climáticas como socioeconómicas, conducen a la formación de un modelo que debe considerar pautas tecnológicas singulares que permitan producir frutas de la mejor calidad, con los más altos rendimientos y a los más bajos costos. Por ello, la adopción de tecnología debe tomarse como un proceso muy dinámico y en el cual los constantes cambios y avances deben evaluarse para mejorar la competitividad (Toranzo, 2016).

Con respecto a las variedades de manzana la principal es la Red Delicious y sus clones, con el 65% de la superficie total, seguida por la Granny Smith (13%) y la Royal Gala (12%). Respecto a la primera de las variedades mencionadas, se trata de una manzana que ha perdido relevancia a nivel mundial y fue lentamente reemplazada por nuevas variedades. Sin embargo, este proceso no ha sucedido en nuestro país por lo que sigue siendo la variedad más destacada. Además, el consumidor argentino la prefiere por sobre las demás.

En los últimos años han ganado importante participación en el mercado internacional las variedades "Club" (como la Pink Lady, que en nuestro país representa el 5% de la superficie plantada), por las que el productor debe obtener una licencia (otorgada por el desarrollador o comercializador) para producir una determinada cantidad de hectáreas y obtener así un precio de venta mayor.

En cuanto a la oferta de peras, la superficie plantada está distribuida entre "Williams" (42%), "Packam's Triumph" (26%), "Beurre D'Anjou" (12%) y el restante 20% se reparte entre "Abate Fetel", "Red Bartlett", "Beurre Bosc" y otras variedades.

En cuanto a la susceptibilidad al escaldado hay una variación entre los distintos cultivares. Siendo en el caso de las manzanas "Granny Smith" muy

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

susceptible, “Red Delicious” medianamente susceptible y Gala menos susceptible. En peras, “Packam’s Triumph” y “Beurre D’Anjou” son altamente susceptibles, y “Williams” presenta baja susceptibilidad.

La productividad del monte frutal depende de la antigüedad del mismo, la calidad del suelo, el cuidado/prácticas agronómicas implementadas por el productor y las condiciones climáticas de las últimas temporadas, entre otras variables. En el Alto Valle, abundan las superficies con frutales de edad avanzada y estructura de plantación de baja productividad que producto de la desfinanciación del sector no han podido reconvertirse.

4. MATERIALES Y METODOS

La modalidad de trabajo de esta tesis fue realizar una recopilación bibliográfica exhaustiva. Las fuentes utilizadas en este trabajo final de graduación fueron diferentes documentos y bibliografía especializada para caracterizar la producción de pera y manzanas, y una de las principales limitantes para su conservación que es la escaldadura superficial, así como sus métodos de control. Esta recopilación de información intenta dar un contexto general de producción de frutas de pepita en nuestro país y particularmente al estado de situación referido a la escaldadura superficial una fisiopatía muy relevante para esta cadena productiva.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IMPORTANCIA DE LA ESCALDADURA SUPERFICIAL EN FRUTAS DE PEPITA

5.1. Origen bioquímico y desarrollo del escaldado

El escaldado superficial es un desorden fisiológico de postcosecha que afecta la calidad de las peras y de las manzanas en todas las zonas productoras del mundo y que puede originar elevadas pérdidas económicas (Soria y Recasens, 1997). Dentro de los cultivares susceptibles de gran importancia económica para nuestra región, se encuentran las variedades de pera “Beurré D’Anjou” y “Packham’s Triumph” (Benítez, 2001); y en cuanto a las manzanas, las variedades más susceptibles son “Granny Smith”, “Red Delicious” (Benítez, 2001) y “Cripp’s Pink” de cosechas tempranas (Cripps et al., 1993; Calvo et al., 2008).

Los síntomas se caracterizan por un pardeamiento de la superficie del fruto sin comprometer la pulpa (Figura 3). Durante los estadios iniciales las células hipodérmicas empiezan a colapsarse y, a medida que la severidad de este desorden se incrementa, las células epidérmicas y corticales pueden verse afectadas, mientras que la superficie de la fruta se torna rugosa y/o con pequeñas depresiones. A medida que el desorden aumenta en severidad, se incrementa tanto el oscurecimiento del

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

color como el área afectada (Soria y Recasens, 1997). Su aparición generalmente ocurre después de un período prolongado de almacenamiento a bajas temperaturas y se manifiesta después de la exposición a temperatura ambiente por un determinado tiempo. En la gran mayoría de las variedades el daño se manifiesta después de un período mínimo de tres a cuatro meses de almacenamiento refrigerado (Ingle y D'Souza, 1989).



Figura 3. Síntomas de escaldadura superficial en manzanas 'Granny Smith' (izquierda) y en peras 'Packham's Triumph' (derecha).

A nivel bioquímico, el escaldado superficial está directamente relacionado con la oxidación de ciertos compuestos presentes en la piel de las frutas, y sus productos de oxidación, los trienos conjugados. Desde hace algún tiempo, se ha sugerido que el daño celular observado está inducido por productos resultantes de la oxidación del α -farneseno, un sesquiterpeno acíclico, de origen natural, que es producido como parte del metabolismo normal de las frutas, acumulándose en su cutícula durante el almacenamiento a baja temperatura (Huelin & Coggiola, 1970).

Anet (1969) logró identificar los productos de la oxidación del α -farneseno en manzanas *in vitro*, clasificándolos como trienos conjugados (TCs). Posteriormente, Huelin y Coggiola (1970) demostraron que el antioxidante difenilamina (DPA) inhibe la oxidación del α -farneseno a trienos conjugados, tanto *in vitro* como *in vivo*. A partir de estos resultados, se estableció la creencia de que los TCs acumulados en la piel de las frutas, como resultado de la oxidación del α -farneseno durante el almacenamiento en frío, eran equivalentes a los que se forman mediante la autooxidación del α -farneseno *in vitro*.

La oxidación del α -farneseno en tejidos de la piel de pera y manzana durante el almacenamiento en frío conduce a la formación de TC, los cuales han sido identificados como los principales agentes causales de la escaldadura (Rowan et al., 1995; Whitaker et al., 1997; Whitaker, 2007). El tratamiento con difenilamina (DPA) controla eficazmente la escaldadura al inhibir la formación de trienos conjugados, sin afectar el contenido de α -farneseno (Rupasinghe et al., 2000a). Estos resultados, junto con la inducción de síntomas de escaldadura mediante la aplicación externa de

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

TCols (Rowan et al., 2001), confirman el papel central de estos compuestos en el desarrollo de esta fisiopatía. Sin embargo, la relación entre la producción de α -farneaseno, la acumulación de TC y la susceptibilidad al escaldado no siempre es directa, según se ha observado en algunos estudios (Rao et al., 1998; Whitaker et al., 2000).

Anet (1972) identificó a la 6-metil-5-hepten-2-ona (MHO) como el principal subproducto de la autooxidación del α -farneseno. No obstante, sugirió que los niveles de MHO producidos in vivo son probablemente demasiado bajos para generar un efecto tóxico, y que el daño celular podría deberse a la presencia de radicales libres generados durante la oxidación que origina el MHO. Se ha demostrado también que algunos isómeros de los trienos conjugados acumulados en la piel de las manzanas se oxidan rápidamente cuando la fruta se expone a 20°C, resultando en MHO como el producto mayoritario (Whitaker & Saftner, 2000).

El papel de la 6-metil-5-hepten-2-ona (MHO) en el desarrollo de la escaldadura ha sido ampliamente estudiado. Mientras que varios estudios han demostrado que la MHO induce síntomas de escaldadura (Mir et al., 1999; Mir & Beaudry, 1999; Whitaker & Saftner, 2000; Wang & Dilley, 2000), otros han encontrado resultados contradictorios. Rupasinghe et al. (2000) no encontraron correlación entre la concentración de MHO y la severidad de escaldadura en manzanas "Red Delicious". Además, la aplicación exógena de MHO ha inducido síntomas similares a la escaldadura, pero el mecanismo exacto por el cual esto ocurre aún no está completamente claro (Song & Beaudry, 1996; Ju & Curry, 2002). En manzanas "Cortland", susceptibles a escaldadura, la producción de MHO se incrementó inmediatamente luego de retirar la fruta del almacenamiento en frío, y tuvo correlación con el grado de desarrollo de síntomas de escaldadura cuando la fruta se expuso a temperaturas de 22°C (Mir et al., 1999), sugiriendo que este compuesto actúa reduciendo la capacidad de la piel de la fruta para metabolizar las especies reactivas de oxígeno.

Independientemente del papel de los productos de oxidación del α -farneseno, como la MHO y los TCs, el desarrollo de la escaldadura está indisolublemente ligado al estrés oxidativo que experimenta el fruto durante el almacenamiento a bajas temperaturas (Du & Bramlage, 1995). Este estrés oxidativo se manifiesta por la acumulación de especies reactivas de oxígeno, cuya producción puede estar relacionada con el catabolismo del α -farneseno (Anet, 1969; Mir et al., 1999; Rao et al., 1998). La susceptibilidad o resistencia a la escaldadura estaría determinada, al menos en parte, por la eficiencia de los sistemas antioxidantes celulares en neutralizar estas especies reactivas (Rao et al., 1998; Rupasinghe et al., 2000a; Ju & Curry, 2002). En este contexto, MHO y TCs podrían ser considerados más bien como biomarcadores del estrés oxidativo que como factores iniciadores del proceso de escaldado, aunque se requieren estudios adicionales para confirmar esta hipótesis (Ju & Curry, 2002).

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

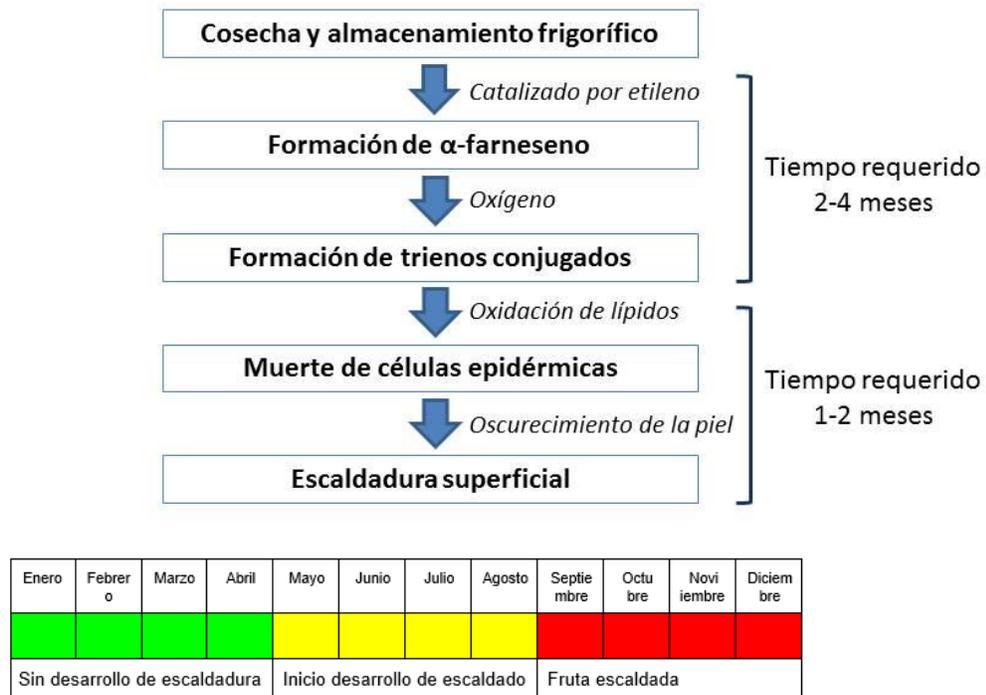


Figura 4. Esquema del desarrollo de escaldadura superficial durante el almacenamiento.

Desarrollo de los síntomas

La escaldadura superficial en frutos es un desorden fisiológico complejo que se desarrolla en varias etapas. Los precursores de los α-farneasenos se sintetizan en la piel de los frutos durante la etapa de precosecha (Blanpied, 1990). Tras la cosecha, estos precursores son convertidos en α-farneasenos, los cuales se oxidan a trienos conjugados (TCs) en las primeras etapas del almacenamiento en frío. La disminución de la actividad antioxidante de la cutícula y la debilitación de los mecanismos antioxidantes celulares, exacerbados por las bajas temperaturas, favorecen esta oxidación (Blanpied, 1990; Mir et al., 1999). En una fase posterior, la acumulación de TCs provoca daños a nivel celular, inicialmente de forma latente y posteriormente manifestándose como manchas oscuras en la piel, debido a la oxidación de polifenoles y lípidos de membrana (Curry & Kupferman, 1993; Blanpied, 1990).

El rol del etileno

El etileno es una hormona vegetal que juega un papel crucial en la maduración de peras y manzanas, coordinando los principales cambios fisiológicos que ocurren durante este proceso. En frutos climatéricos, como las manzanas y peras, el etileno activa una retroalimentación positiva que estimula su propia síntesis, aumentando su concentración interna. Este proceso auto catalítico eleva los niveles de etileno hasta

saturar sus receptores. En peras, el pico climatérico de etileno alcanza aproximadamente $40 \mu\text{l}^{-1}\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Abeles et al., 1992). Para ejercer sus efectos, el etileno se une a receptores específicos localizados en las membranas celulares, desencadenando una cascada de señales moleculares que conducen a cambios fisiológicos asociados con la maduración (Sisler, 1979; Bleecker y Kende, 2000). Además de estar relacionado con la maduración, el etileno también se produce en situaciones de estrés, como daños físicos/químicos, daño por frío y/o ataque de patógenos (McGlasson, 1985).

El etileno también se vincula a desórdenes fisiológicos postcosecha, como el escaldado superficial (Kader, 1985). En este contexto, la síntesis de α -farneaseno está controlada por el etileno, con inhibidores como la aminoetoxivinilglicina (AVG) reduciendo tanto la producción de etileno como de α -farneaseno, mientras que el etefón (un producto liberador de etileno) aumenta ambos (Ju y Curry, 2000a). Asimismo, el 1-MCP, que bloquea la percepción del etileno, reduce la acumulación de α -farneaseno. Investigaciones recientes han vinculado la transcripción del gen AFS1 con la producción de etileno y la posterior acumulación de α -farneaseno en manzanas y peras (Gapper et al., 2006). Además, la manipulación genética de la ruta biosintética del etileno en manzanas permitió determinar que líneas transgénicas anti sentido para ACC sintasa o ACC oxidasa, presentaron menor producción auto catalítica de etileno y menor susceptibilidad para el escaldado superficial (Pesis et al., 2009).

En síntesis, el etileno desempeña un papel crucial en la regulación de la maduración de frutas y en el desarrollo de trastornos postcosecha como la escaldadura superficial. Comprender los mecanismos moleculares que subyacen a estas relaciones es fundamental para desarrollar estrategias de control más efectivas y reducir las pérdidas postcosecha en la producción de frutas.

5.2. Factores que afectan en la susceptibilidad de los frutos y diferencias entre peras y manzanas.

Se ha sugerido que la capacidad del fruto para sintetizar α -farneaseno es una característica genética de cada cultivar (Bramlage & Meir, 1990). En este sentido, Pechous et al. (2005) lograron clonar el gen AFS1, comparando su expresión en cultivares de manzana resistentes y sensibles a la escaldadura. Los resultados indicaron que las variedades susceptibles presentan una mayor proporción de α -farneaseno oxidado durante el almacenamiento. Whitaker et al. (1997) encontraron que manzanas "Granny Smith", altamente susceptibles a la escaldadura, acumulan mayores cantidades de α -farneaseno y trienos conjugados en comparación con variedades resistentes como "Gala", o moderadamente susceptibles como "Red Delicious", "Fuji" y "Braeburn". Por otro lado, algunos estudios no han encontrado una correlación directa entre la concentración de α -farneaseno, TC y la incidencia de escaldadura superficial. Esto sugiere que la conversión de α -farneaseno a TC podría ser consecuencia de un proceso de oxidación mediado por radicales libres, relacionado con el desarrollo de la escaldadura. La capacidad inherente de un cultivar para metabolizar especies reactivas de oxígeno generadas durante el

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

almacenamiento parece ser un factor clave en su resistencia o susceptibilidad (Rao et al., 1998; Rupasinghe et al., 2000a). Golding et al. (2001) destacaron la importancia del cultivar como factor determinante en las concentraciones de etileno y α -farneaseno, lo que se vincula directamente con el desarrollo de la escaldadura. Por ejemplo, las manzanas "Granny Smith" mostraron menores concentraciones de etileno pero mayores niveles de α -farneaseno que la variedad resistente "Crofton". Además, la cera natural de la fruta también influye en el desarrollo de la escaldadura, ya que afecta el intercambio de gases y la difusión de compuestos tóxicos (Soria & Recasens, 1997).

Los tratamientos químicos que afectan al equilibrio hormonal de las plantas tienen una marcada influencia en el desarrollo de escaldado superficial. Los tratamientos precosecha con etefón, al inducir la maduración, han demostrado reducir la incidencia y severidad de este desorden, probablemente debido al aumento en el contenido de antioxidantes liposolubles en la piel del fruto (Du y Bramlage, 1994a). Por el contrario, el paclobutrazol, un inhibidor de la síntesis de giberelinas, ha mostrado favorecer la aparición de escaldadura, posiblemente debido a la cosecha de frutos en un estado de desarrollo menos avanzado (Graef y Recasens, 1992). Otros compuestos que interactúan con la vía del etileno, como la aminoetoxivinilglicina (AVG) y el 1-metilciclopropeno (1-MCP).

El estado de madurez al momento de la cosecha es otro factor crucial que influye en la susceptibilidad a la escaldadura. Estudios han demostrado que las frutas inmaduras presentan una mayor susceptibilidad a este desorden en comparación con las frutas maduras. Esta mayor susceptibilidad se ha atribuido a un sistema antioxidante menos eficiente en los frutos inmaduros (Anet, 1972). Sin embargo, los resultados no siempre son consistentes entre diferentes cultivares y especies. Por ejemplo, Bower et al. (2003) observaron un patrón opuesto en peras 'Bartlett', donde las frutas cosechadas tardíamente presentaron mayor incidencia de escaldadura. Esta variabilidad sugiere que la relación entre el estado de madurez y la susceptibilidad a la escaldadura puede ser compleja y depender de otros factores, como la variedad y las condiciones de cultivo.

La pigmentación también se ha relacionado con la escaldadura. Frutas con menor exposición a la luz solar, como las provenientes del interior del árbol, tienden a presentar mayor predisposición a desarrollar este desorden debido a su menor contenido de antocianos, los cuales actúan como antioxidantes hidrosolubles (Soria & Recasens, 1997; Ferguson et al., 1999; Kupferman, 2001; Tsantili et al., 2007). Asimismo, se encontraron diferencias en la acumulación de TC entre los tejidos rojos y verdes de distintos cultivares de manzana, siendo mayor en los tejidos verdes.

El tamaño del fruto también puede influir en su susceptibilidad a la escaldadura, siendo los frutos más grandes más propensos a desarrollarla, posiblemente debido a sus menores niveles de calcio (Soria & Recasens, 1997; Kupferman, 2001). Además, la actividad de los antioxidantes endógenos podría estar modulada por factores ambientales, tales como el clima, la nutrición mineral y el uso de tratamientos químicos (Emongor et al., 1994). Un alto contenido de fosfatos ha

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

demostrado reducir la susceptibilidad a la escaldadura, mientras que altos niveles de potasio y bajos niveles de calcio se asocian con una mayor incidencia del desorden, aunque esta relación no es completamente clara. Asimismo, fertilizaciones nitrogenadas excesivas también han sido vinculadas con una mayor incidencia de escaldadura, posiblemente debido a su relación con los niveles de α -farneaseno

Las condiciones climáticas previas a la cosecha también influyen en el desarrollo de la escaldadura. Veranos secos y calurosos durante las semanas previas a la recolección se han asociado con una mayor severidad del desorden (Bramlage & Meir, 1990). El contraste de temperaturas durante las semanas anteriores a la cosecha también juega un papel importante, favoreciendo la coloración del fruto, pero aumentando la susceptibilidad a la escaldadura (Soria & Recasens, 1997).

Finalmente, las condiciones de almacenamiento, como la temperatura y la concentración de gases, influyen significativamente en la aparición de la escaldadura. Almacenamientos en atmósfera controlada (AC) tienden a reducir la incidencia de este desorden en comparación con la conservación en frío convencional (FC), debido a la combinación de bajas concentraciones de oxígeno y altas concentraciones de dióxido de carbono (Bramlage & Meir, 1990).

5.3. Diferencias entre pera y manzana

La escaldadura superficial ha sido más estudiada en manzana que en pera. A pesar de que la bioquímica de esta alteración en pera es similar a lo que ocurre en manzana, existen diferencias respecto a la producción de etileno y el contenido de antioxidantes que se traducen en diferencias en la susceptibilidad a escaldadura.

La mayoría de las variedades de manzana producen etileno después de la cosecha, mientras que la mayoría de las peras, requieren la exposición a bajas temperaturas para iniciar la producción de etileno. En relación al contenido de antioxidantes totales, las peras presentan normalmente un menor contenido de antioxidantes que las manzanas, y éstos se incrementan muy poco al atrasar la cosecha, a diferencia de lo que ocurre en manzanas, donde la capacidad antioxidante de los frutos puede incrementarse de 30 a 80% entre una cosecha temprana a una tardía. Estas diferencias son las que explican por qué las manzanas más maduras son menos susceptibles a la escaldadura superficial. Tal es así, que la realización de cosechas tardías se utiliza como medida preventiva de escaldado superficial en variedades de manzana muy sensibles. Sin embargo, la relación entre el estado de madurez y la susceptibilidad de los frutos al escaldado ha sido poco documentada en peras, y parece ser menos predecible que en manzanas.

Estudios realizados en los últimos años por el Área de Poscosecha del INTA Alto Valle indican que, contrariamente a lo demostrado en manzanas, las peras de cosechas tardías son más sensibles al escaldado superficial. Esto se debe a que la fruta cosechada tarde comienza antes la producción de etileno y pierde más rápidamente su potencial antioxidante durante el almacenamiento y presenta una mayor acumulación y oxidación de α -farneasenos que los frutos de cosechas tempranas. Estas diferencias son tales que los síntomas de escaldadura pueden aparecer entre un mes o dos meses más tarde en los frutos cosechados temprano.

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

Debe considerarse que al prolongarse la conservación, los frutos sin tratamiento de cualquier estado de madurez terminan con 100% de incidencia de la fisiopatía.

5.4 METODOS DE CONTROL

5.4.1. Aplicación de antioxidantes

Tradicionalmente, la difenilamina (DPA) y la etoxiquina (ETX) han sido los compuestos de referencia para el control de la escaldadura superficial en frutas como manzanas y peras. Estos productos actúan inhibiendo la oxidación de los α -farnesenos, compuestos que, al oxidarse, causan daños en los tejidos de la fruta (Huelin & Coggiola, 1970; Du & Bramlage, 1995; Moggia et al., 2010). Numerosos estudios han demostrado la eficacia de la DPA en el control de la escaldadura en diversas variedades de manzanas y peras (Lurie et al., 1989; Sangiacomo & Calvo, 1996; Soria Villalonga, 1998; Calvo & Salvador, 2000a; Golding et al., 2001; Moggia et al., 2010; Calvo, 2010; Llorens & Usall, 2007). De forma parecida, tanto la ETX como la DPA han mostrado un excelente control de la escaldadura en otras variedades como "Williams" y "Packham's Triumph" (Calvo & Salvador, 2000b; Kupferman & Gutzwiler, 2003). En la región productora por excelencia de Argentina, el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, la DPA se utiliza principalmente en manzanas, siendo más efectiva en variedades sensibles al escaldado, como "Granny Smith" y "Red Delicious". Por otro lado, la ETX se emplea con mayor eficiencia en el control de escaldadura en peras (Calvo, 2010; Llorens & Usall, 2007).

Además de inhibir la oxidación de α -farneseno, se considera que la DPA tiene una acción antioxidante general. Se ha demostrado que reduce la actividad de enzimas oxidantes como la lipooxigenasa y la polifenoloxidasas (PPO). El efecto de la DPA sobre el escaldado también podría estar relacionado con el efecto inhibitorio que ejerce sobre la respiración y el flujo de electrones correspondiente a la vía del citocromo. Entre los beneficios del tratamiento con DPA en manzanas se encuentran la disminución de la respiración y la producción de etileno, retrasando así la senescencia (Lurie et al., 1989). La DPA reduce, además, el desarrollo de otras fisiopatías, como el decaimiento interno, el "core flush" en manzanas "Granny Smith" y las pecas negras en peras "Beurré D'Anjou" (Sangiacomo & Calvo, 1995).

A partir de julio de 2015, la Unión Europea establece un LMR (Límite máximo de residuos) de 0.1 mg/kg para la DPA en manzanas y peras. Esta disminución se debe a la detección de residuos en frutos no tratados por contaminación cruzada en las instalaciones de almacenamiento y empaque. La falta de métodos efectivos para eliminar estos residuos dificulta el cumplimiento de los futuros límites y plantea ciertos desafíos en la gestión postcosecha. Por otro lado, el LMR para la etoxiquina es de 0,05 mg/kg, un valor tan bajo que hace imposible tratar la fruta con este producto sin superar el límite tolerado. A diferencia de la DPA, no se han informado problemas de contaminación cruzada.

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

Sin embargo, a pesar de sus beneficios, la DPA y la ETX han generado preocupación debido a sus posibles efectos sobre la salud humana y el medio ambiente, lo que ha llevado a cuestionar su uso a largo plazo (Ingle & D'Souza, 1989; Zoffoli et al. 1995).

Problemática actual con la aplicación de antioxidantes (DPA y ETX)

El uso intensivo de antioxidantes o antiescaldantes como la DPA en nuestra región ha generado una preocupación ambiental significativa. Estudios han detectado residuos de DPA en efluentes industriales, aguas superficiales y subterráneas, evidenciando su persistencia en el medio ambiente. El uso de estas sustancias químicas y otras está siendo cada vez más cuestionado, principalmente en mercados como el de la Unión Europea que es uno de los principales destinos de nuestra producción, principalmente por ser productos que se aplican en postcosecha, sobre frutos que, en general, se consumen en fresco (Loewy et al., 2003; Tosi et al., 2009; Boland et al., 2007; AIC, 2007).

Algunas pruebas eco toxicológicas han demostrado que la DPA es potencialmente peligrosa para el medio acuático, las bacterias y los animales, aunque se piensa que los estudios sobre su biodegradabilidad y la de sus derivados, son aún escasos. Por lo tanto, se requiere más investigación para determinar la dimensión completa de los potenciales riesgos ambientales, y para introducir posibles técnicas de compensación para los sitios que están contaminados con esta clase de compuestos (EPA, 1998; Drzyzga, 2003).

En tal sentido, luego de algunos años de transición, la Comisión Europea decidió excluir del listado de productos permitidos a la DPA y a la ETX en la producción de frutas debido a preocupaciones sobre la salud humana relacionadas con la presencia de metabolitos desconocidos y la posible formación de nitrosaminas. Esta prohibición ha afectado significativamente a los exportadores de frutas, incluyendo a Argentina. La falta de datos sobre la seguridad de estos compuestos y la necesidad de cumplir con las regulaciones internacionales han impulsado la búsqueda de alternativas más seguras y sostenibles para el control de la escaldadura

5.4.2. Alternativas de control

Cabe destacar que en las alternativas de control existentes encontramos dos grandes grupos que son los tratamientos químicos y los tratamientos físicos. Dentro de los químicos, se encuentran los tratamientos con poliaminas y 1-metilciclopropeno (1-MCP). Dentro de los físicos se encuentran los tratamientos con radiación ultravioleta, con altas temperaturas y con modificación de la atmósfera. Siendo las más utilizadas y con mejores resultados el tratamiento con 1-MCP y el tratamiento de atmósfera controlada con baja concentración de oxígeno (O₂). A continuación, se desarrollan todos los mecanismos de control haciendo énfasis en los dos más importantes.

Tratamientos con poliaminas (PAS) – Tratamiento químico alternativo

Las poliaminas son compuestos orgánicos nitrogenados que juegan un papel clave en el crecimiento y desarrollo de los frutos. Los niveles más altos de poliaminas se encuentran en las etapas iniciales de desarrollo del fruto, cuando la división celular es más intensa. A medida que el fruto madura, los niveles de poliaminas disminuyen. Las poliaminas más comunes, putrescina (PUT → butan-1,4-diamina), espermidina (SPD → (N-(3-aminopropil)) y espermina (SPM → (NN'-bis-(3-aminopropil) butano-1,4-diamina) se localizan en diferentes compartimentos celulares y están involucradas en diversos procesos fisiológicos (Faust & Wang, 1992; Valero et al., 2002; Setia & Setia, 2008).

El tratamiento con poliaminas ofrece una alternativa para mantener la calidad de las frutas en postcosecha. Al reducir la producción de etileno y fortalecer la pared celular, las PAS pueden prolongar la vida útil de los frutos y mejorar su firmeza. Sin embargo, la aplicación de poliaminas en postcosecha no está aprobada para uso comercial en Argentina principalmente porque los resultados no fueron tan eficaces para el control de este desorden fisiológico y por la burocracia y lo costoso que es registrar un nuevo producto fitosanitario en nuestro país. Es por esto que se requieren más investigaciones para evaluar su impacto a largo plazo y garantizar su seguridad para el consumidor (Kakkar & Rai, 1993; Valero et al., 2002; Kramer et al., 1991; Wang et al., 1993; Serrano et al., 2003; Khan et al., 2007; Martínez-Romero et al., 2002; Candan, 2010).

1-metilciclopropeno (1-MCP) – Tratamiento químico alternativo

El 1-metilciclopropeno (1-MCP) es un ciclopropeno que actúa como antagonista del etileno al ocupar los sitios receptores de esta hormona en las plantas. Esta ocupación impide que el etileno desencadene los procesos de maduración y así poder llegar a controlar la maduración y la senescencia de los frutos. Otra virtud de este tratamiento es que, la alta afinidad del 1-MCP por estos receptores permite una alta efectividad en su uso a concentraciones muy bajas. Aunque la unión es irreversible, la capacidad de las plantas para sintetizar nuevos receptores de esta fitohormona permite recuperar la sensibilidad al etileno a largo plazo. Se ha propuesto que los efectos beneficiosos del tratamiento con 1-MCP sobre el retraso de la maduración, no se deben exclusivamente a su acción sobre el etileno, sino también a través de un efecto indirecto sobre el potencial antioxidante del fruto (Larrigaudière et al., 2004; Vilaplana et al., 2006; Chiriboga et al., 2008). Se observó también que el tratamiento con 1-MCP luego de la cosecha, redujo la actividad de las enzimas HMGR (Rupasinghe et al., 2001) y AFS (Pechous et al., 2005), controlando el desarrollo de escaldadura.

Según la EPA (2008), el 1-MCP es una sustancia inocua para el ser humano y los animales, y no genera residuos tóxicos para el medioambiente. La exposición humana al 1-MCP se espera que sea mínima, ya que su uso está aprobado sólo en espacios herméticamente cerrados y por cortos períodos de tiempo; y la presencia de

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

residuos en los frutos debería ser insignificante, ya que es efectivo a dosis bajas y no es persistente.

Numerosos estudios han demostrado la eficacia del 1-MCP para prevenir la escaldadura en diversas variedades de peras y manzanas, incluyendo “Granny Smith”, “Williams”, “Beurrè D'Anjou”, “Packham's Triumph” y “Bartlett”. Sin embargo, altas concentraciones de 1-MCP pueden inhibir la maduración normal, especialmente en peras almacenadas por períodos prolongados (Calvo & Candan, 2008; Moggia et al., 2010; Shekarchi et al., 2009; Mattheis et al., 2000; Gapper et al., 2006; Bai et al., 2009; Villalobos Acuña et al., 2010).

Los siguientes factores que afectan de distinta manera la efectividad del tratamiento con 1-MCP, estos son:

- 1- Grado de madurez del fruto:** Existe una relación inversa entre el nivel de madurez de la fruta y su respuesta al tratamiento con 1-MCP. A medida que la fruta madura, su sensibilidad al 1-MCP disminuye, lo que se refleja en una menor efectividad en la conservación de la firmeza. Esta tendencia se ha documentado en numerosas investigaciones realizadas en diferentes especies, aparte de peras y manzanas.
- 2- Demora en la aplicación:** La efectividad del 1-MCP disminuye con el tiempo transcurrido desde la cosecha. Cuanto más perecedera sea la fruta, más rápido debe aplicarse el 1-MCP. La dosis y el momento óptimo de aplicación varían según la especie y cultivar. Por ejemplo, en peras, la aplicación ideal es antes de la refrigeración, dentro de los primeros 7 días postcosecha. Sin embargo, esta regla no es universal; en algunas variedades, dosis altas aplicadas después de un almacenamiento prolongado pueden ser igual de efectivas (Blankenship & Dole, 2003; Watkins, 2006; Chiriboga et al., 2008; Calvo, 2003).
- 3- Duración del tratamiento:** La duración típica del tratamiento con 1-MCP oscila entre 12 y 24 horas. Sin embargo, el tiempo necesario puede variar según la temperatura, la variedad y la concentración del producto, por ejemplo, dosis más altas permiten reducir el tiempo necesario. A mayor temperatura y concentración, menor tiempo se requiere para lograr el máximo efecto. Variedades como “Empire” responden más rápido que otras, como “Cortland” (Blankenship & Dole, 2003; DeEll et al., 2002).
- 4- Variedad:** La respuesta al 1-MCP es altamente variable y depende del tipo de fruta. En manzanas, la tasa de producción de etileno es un factor determinante, mientras que, en peras, como “Beurrè D'Anjou”, “Bartlett”, “Williams” y “Packham's Triumph”, se ha demostrado la eficacia del tratamiento. Estos resultados resaltan la importancia de considerar las características específicas de cada variedad al aplicar 1-MCP (Blankenship & Dole, 2003; Watkins,

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

2006; Tatsuki et al., 2007; Calvo, 2005; Calvo et al., 2008; Moggia et al., 2010; Gapper et al., 2006; Bai et al., 2009; Calvo & Candan, 2003).

- 5- Concentración:** El rango de concentraciones efectivas de 1-MCP es amplio y depende del tipo de fruta y variedad. Se han utilizado dosis que van desde 2.5 ppb (partes por billon) en clavel hasta 25000 ppb en mango. En manzanas y peras, las dosis efectivas suelen estar entre 200 y 2000 ppb. Estos resultados indican que la dosis óptima debe determinarse de manera experimental para cada caso (Sisler et al., 1996; Hofman et al., 2001; Blankenship & Dole, 2003; Calvo, 2002a; DeEll et al., 2002; Calvo et al., 2008).

Tratamientos con radiación ultravioleta (UV-C) – Tratamiento físico alternativo

La luz ultravioleta es una radiación no ionizante de onda entre 100 a 400 nanómetros (nm), que se clasifica en tres tipos: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-C (200-280 nm). La radiación UV-C es un potente agente germicida debido a su capacidad de inducir daño en el ADN de los microorganismos (Wolfe, 1990; Artés & Allende, 2005). Además de su efecto biocida, la irradiación UV-C puede inducir respuestas de defensa en tejidos vegetales, como la producción de compuestos fenólicos y la modificación de las paredes celulares (Mercier et al., 1993). Los tratamientos postcosecha con UV-C han demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar la calidad y seguridad de los productos frutícolas, sin dejar residuos ni afectar significativamente sus propiedades sensoriales (González-Aguilar et al., 2006; Erkan et al., 2008).

No obstante, la efectividad de esta tecnología depende de diversos factores, incluyendo la dosis aplicada y las características del producto (Civello et al., 2006). La dosis de UV-C es crucial, ya que una dosis excesiva puede provocar pardeamiento en los frutos, debido a la oxidación de compuestos fenólicos catalizada por la enzima polifenol oxidasa (PPO) (Maharaj et al., 1999; González-Aguilar et al., 2004, 2005; Allende et al., 2006; Tomás-Barberán & Espín, 2001).

Aunque se desconocen los efectos específicos de la UV-C en la escaldadura de peras y manzanas, estudios con UV visible sugieren una posible relación entre la reducción de la escaldadura y el aumento de antioxidantes como los fenilpropanoides (Rudell & Mattheis, 2009). Los tratamientos con UV-C ofrecen ventajas como bajo costo, facilidad de uso y ausencia de restricciones legales. Sin embargo, se requieren más investigaciones para optimizar su aplicación a escala comercial (Civello et al., 2006).

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

Tratamientos a altas temperaturas – Tratamiento físico alternativo

Como alternativa a los productos químicos, los tratamientos térmicos, seguros para la salud, se han utilizado durante décadas en postcosecha para controlar plagas en cítricos como la mosca de los frutos (Lurie, 2005). Los tres métodos térmicos más utilizados son agua, vapor o aire forzado a altas temperaturas. Uno de los beneficios más destacados de los tratamientos térmicos es su capacidad para reducir el desarrollo de escaldadura superficial. Este efecto se atribuye a varios mecanismos, entre los que se incluyen la inhibición de la actividad de la polifenol oxidasa (PPO), una enzima clave en el proceso de pardeamiento, y la disminución de la acumulación de compuestos volátiles como el α -farneaseno, que desencadenan reacciones oxidativas.

Es importante destacar que la efectividad de los tratamientos térmicos varía según diversos factores, como la variedad de fruta, el estado de madurez, las condiciones de almacenamiento y el régimen térmico aplicado. Además, la aplicación de temperaturas excesivas puede causar daños a los frutos, por lo que es fundamental establecer las condiciones óptimas para cada variedad y aplicación. Sin embargo, la magnitud de estos efectos puede variar considerablemente entre diferentes especies y variedades. Por ejemplo, en manzanas “Golden Delicious” se relacionó el aumento de la firmeza con el efecto de las altas temperaturas sobre la morfología de la superficie de la fruta, que provocan un sellado de las grietas superficiales, debido a la recristalización o fusión de las plaquetas de cera. El tratamiento térmico también podría estimular la síntesis de cera, la cual rellena las grietas y/o lenticelas (Roy et al., 1994). Otro ejemplo, donde manzanas “Red Delicious” y “Golden Delicious” y peras europeas “Akca” tratadas en agua caliente, fueron más firmes que los frutos no tratados. (Hemmaty et al., 2007; Tuna Gunes et al., 2006).

En síntesis, la respuesta de los frutos a altas temperaturas que inhiben la maduración dependen del cultivar, de la edad fisiológica del producto, el tiempo y temperatura de exposición, si el producto es llevado del calor a almacenamiento en frío o a temperaturas de maduración ambiente, y si los frutos son susceptibles al daño por calor (Lee & Smith, 1995; Neven et al., 1999; Lurie, 2005).

Modificación Atmosférica - Tratamiento físico alternativo

La tecnología de la atmósfera controlada (AC) consiste en almacenar frutos en una cámara frigorífica en la que se sustituye la composición atmosférica normal por una atmósfera más pobre en oxígeno (O₂) y más rica en dióxido de carbono (CO₂); manteniéndose un control preciso de las concentraciones de dichos gases durante el almacenamiento (Graell & Ortiz, 2003).

La atmósfera controlada, caracterizada por bajas concentraciones de oxígeno y altos niveles de dióxido de carbono, inhibe la producción de etileno y la actividad de enzimas relacionadas con la maduración (ACO y ACS) y el desarrollo de trastornos fisiológicos. Estos efectos contribuyen a mejorar la calidad y prolongar la vida útil de

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

frutas como peras y manzanas, especialmente en el control de la escaldadura reduciendo la biosíntesis del α -farneaseno y su oxidación a trienos conjugados (Benítez, 2005a; Pekmezci et al., 2003). Sin embargo, como se viene describiendo en los métodos anteriores, la eficacia del control mediante atmósferas controladas depende de la especie, la variedad, el grado de madurez, las condiciones de almacenamiento y las condiciones en precosecha. Dependiendo de la concentración de oxígeno, se distinguen diferentes tipos de atmósferas controladas:

- Atmósfera controlada estática: Sueles emplearse niveles de entre un 3% y 5% de oxígeno. la concentración de dióxido de carbono suele variar entre 1 y 3%, dependiendo del tipo de fruta y cultivar (Graell & Ortiz, 2003).
- Atmósferas con bajo oxígeno (LO – Low Oxygen): Presentan niveles de oxígeno entre 1,5 y 2,5%. la concentración de dióxido de carbono suele variar entre 1 y 3%, dependiendo del tipo de fruta y cultivar (Graell & Ortiz, 2003).
- Atmósferas con muy bajo oxígeno (ULO – Ultra Low Oxygen): Contienen menos del 1,5% de oxígeno, incluso llegando a niveles tan bajos como 0,7%. la concentración de dióxido de carbono suele variar entre 1 y 3%, dependiendo del tipo de fruta y cultivar (Graell & Ortiz, 2003).

Otra técnica utilizada es el ILOS, sigla en inglés que significa Estrés Inicial con Bajo Oxígeno, que consiste en exponer los frutos a niveles muy bajos de oxígeno durante un período corto al inicio del almacenamiento, seguido de un cambio a condiciones de AC estándar. Esta estrategia ha demostrado ser efectiva para controlar trastornos fisiológicos como la escaldadura.

Un estudio realizado por Little et al. (1982) demostró la eficacia del ILOS en el control de la escaldadura en manzanas “Granny Smith”. Al exponer los frutos a un 0,5% de oxígeno durante 9 días, se logró retrasar el ablandamiento y la pérdida de color verde, además de controlar la aparición de escaldadura. Otros estudios han confirmado los beneficios del ULO y el ILOS en el control de la escaldadura en diferentes variedades de manzanas y peras. Por ejemplo, Zanella (2003) encontró que el almacenamiento a largo plazo en atmósferas con 0,7% de oxígeno o ILOS seguido de AC a 1,0% de oxígeno controló completamente la escaldadura en manzanas “Granny Smith”.

Sin embargo, es importante saber que, si bien los niveles extremadamente bajos de oxígeno pueden ser efectivos para controlar la escaldadura, también pueden causar daños fisiológicos en los frutos, como la formación de sabores alcohólicos debido a la acumulación de etanol (Ke et al., 1991). Por otro lado, altos niveles de CO₂ pueden provocar pardeamiento interno y otras alteraciones.

Atmosfera controlada dinámica (ACD)

La atmósfera controlada dinámica (ACD) es una tecnología innovadora que ofrece un control más preciso y adaptable de las condiciones de almacenamiento de frutas, en comparación con los sistemas estáticos (ULO, LO, ILOS). Al utilizar sensores de fluorescencia de la clorofila para detectar la presencia de estrés por bajo O₂ en los frutos, la ACD permite ajustar de forma continua los niveles de oxígeno,

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

minimizando el riesgo de daños por anaerobiosis y optimizando la conservación de la calidad. Este enfoque dinámico, basado en ciclos de reducción y aumento gradual del oxígeno, ha demostrado ser eficaz en la reducción de trastornos fisiológicos como la escaldadura. En la conservación de frutas, los sensores de fluorescencia se utilizan para monitorear la salud de las frutas almacenadas. Al medir los cambios en la fluorescencia de la clorofila, podemos detectar si las frutas están sufriendo estrés, como, por ejemplo, por falta de oxígeno. Esto nos permite ajustar las condiciones de almacenamiento para garantizar que las frutas se mantengan en óptimas condiciones y duren más (Candan & Calvo, 2008).

De Long et al. (2007) y Prange et al. (2011) proponen la atmósfera controlada dinámica (ACD) como una técnica prometedora para preservar la calidad de las frutas durante largos períodos de almacenamiento. Al ajustar continuamente los niveles de oxígeno en función de las necesidades de la fruta, la ACD ofrece múltiples ventajas: es un método no químico, compatible con la tecnología existente de la AC, permite un control preciso en tiempo real y prolonga la vida útil de los productos. Además, la ACD ha demostrado ser eficaz en el control de trastornos fisiológicos como la escaldadura y proporciona una alerta temprana en caso de mal funcionamiento del equipo.

Si bien la ACD se ha estudiado principalmente en manzanas, donde ha mostrado resultados prometedores en términos de firmeza, acidez y control de desórdenes internos, su potencial en otras frutas como pera aún está siendo explorado. A pesar de la limitada investigación en peras, los estudios existentes sugieren que la ACD podría ofrecer beneficios similares (Prange et al., 2002; 2003; DeLong et al., 2004; Zanella et al., 2005; 2008; Candan & Calvo, 2008).

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la formulación de este trabajo de revisión y recopilación de información sobre escaldadura superficial en peras y manzanas, se profundizaron los conocimientos acerca de las bases bioquímicas de este desorden fisiológico y de todos los métodos de control existentes y sus alternativas.

Se lograron alcanzar los objetivos planteados de caracterizar la escaldadura y enfatizar en las pérdidas que ocasiona en la producción de peras y manzanas. Aún no existe una cifra exacta y consolidada sobre las pérdidas económicas totales causadas por la escaldadura en Argentina, esto se debe principalmente a distintos factores como el cultivar, las labores (fertilización y riego) realizadas durante el ciclo, las condiciones climáticas y el manejo postcosecha, entre otros. En cuanto a la susceptibilidad al escaldado hay una variación entre los distintos cultivares, siendo en el caso de las manzanas “Granny Smith” muy susceptible, “Red Delicious” medianamente susceptible y “Gala” menos susceptible. En peras, “Packam’s Triumph” y “Beurre D’Anjou” son altamente susceptibles, y “Williams” presenta baja susceptibilidad. En cuanto a las condiciones climáticas durante el ciclo, temperaturas elevadas durante la maduración pueden provocar el incremento del etileno y así aumentar la susceptibilidad al escaldado. También pueden influir la exposición a la radiación solar y el estrés hídrico. Y durante el almacenamiento, las temperaturas bajas avorecen la formación de trienos conjugados, compuestos que oxidan los lípidos de la piel y causan el oscurecimiento característico de la escaldadura.

Otro aspecto desarrollado en este trabajo fueron las alternativas de control existentes y las perspectivas futuras para el control de esta fisiopatía. Entre las alternativas desarrolladas, el almacenamiento en atmósfera controlada dinámicas (ACD) se destacó como la opción más prometedora para controlar la escaldadura en peras y manzanas, porque además preserva la calidad de los frutos. A diferencia de los tratamientos químicos tradicionales, el ACD no solo reduce significativamente la incidencia de escaldadura, sino que también mantiene la firmeza, acidez y color de la fruta. El 1-metilciclopropeno (1-MCP) resulta muy eficaz para el control de escaldadura en manzanas; sin embargo, altas concentraciones de 1-MCP pueden inhibir la maduración normal, especialmente en peras almacenadas por períodos prolongados.

7. **BIBLIOGRAFÍA**

- ✓ Programa Nacional Frutales “Superficie ocupada por plantaciones frutales en el país y cambios en su estructura productiva” Enrique E. Sánchez (Ph.D) - INTA Ediciones Estación Experimental Agropecuaria Balcarce 2020
- ✓ Cristiano, G., & Orazi, S. (2020). Análisis de la competitividad del sector productor de peras y manzanas de Argentina. Cuyonomics. Investigaciones En Economía Regional, 4(6), 31–55 p.
- ✓ Benítez C.E., 2001. Cosecha y Poscosecha de Peras y Manzanas en los Valles Irrigados de la Patagonia. Ediciones INTA. 126 pp. ISBN: 987-521-033-1.
- ✓ Benítez, C.E., Calvo, G. 2002. Fisiopatías y pérdidas de calidad en manzanas y peras. Ediciones INTA. 92 p. ISBN: 987-521-053-6
- ✓ Benítez C. E., Castro H. R., Ricca A. P., Vaudagna S. R. 2005. Peras y Manzanas: Factores que afectan la calidad de los frutos. Buenos Aires. Ediciones INTA. Buenos Aires-Argentina. 396 p.
- ✓ Blankenship, S. M., Dole, J. M. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. Postharvest Biology and Technology 28, 1-25.
- ✓ Calvo, G. 1997. Evaluación del efecto de esteroides de sacarosa en la vida post-cosecha de peras y manzanas. X Seminario Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de los alimentos. Buenos Aires. Argentina
- ✓ Calvo, G. 2002. Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) en manzanas cv. Red Delicious cosechadas con tres estados de madurez y conservadas en frío convencional y atmósfera controlada. RIA 3, 9-24. Ediciones INTA. Argentina.
- ✓ Calvo, G. 2003. Control de escaldadura superficial en peras “Beurré d’Anjou” mediante la aplicación de antioxidantes. General Roca, Río Negro, Argentina. INTA, EEA Alto Valle
- ✓ Calvo, G. 2004a. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on pear maturity and quality. Acta Horticulturae 628, 203-211.
- ✓ Calvo, G. 2004b. Control de fisiopatías de postcosecha en manzanas “Granny Smith” mediante la aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP). RIA 34, 45-59. INTA. Argentina
- ✓ Calvo, G. 2004c. Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) en peras cv. Williams cosechadas con dos estados de madurez. RIA 33, 3-26. INTA. Argentina.
- ✓ Calvo, G., Salvador, M.E. 2000. Evaluación de la eficiencia de antioxidantes de origen natural en el control de escaldadura superficial en manzanas cv. Granny Smith.
- ✓ Gomila, T; G. Calvo, A.P. Candan & E Insúa. 2007. Efecto de la demora en la aplicación de 1-metilciclopropeno en manzanas Pink Lady®. IV Jornadas de biología y tecnología de postcosecha y Primeras Jornadas de Postcosecha del Cono Sur. FCA, UBA. Buenos Aires, 5 y 6 de julio, 2007.
- ✓ Graell, J. & A. Ortiz; 2003.- Recomendaciones para el almacenamiento en atmósfera controlada. Revista Horticultura 172. 38-44.
- ✓ Llorens, V. & J. Usall; 2007.- Tratamientos postcosecha en fruta de pepita. Revista Vida Rural 255. 36-40.
- ✓ Loewy, R.M., G. Carvajal & A.M. Pechén de D’Angelo; 2003.- Residuos de plaguicidas en efluentes de industrias agroalimentarias y aguas superficiales.

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

- En: HERKOVITS J. (ed.), Toxicología y química ambiental: Contribuciones para un desarrollo sustentable. Proceedings: IV Reunión SETAC LA, Bs. As., Argentina 2001. 193-195.
- ✓ Calvo, G., Salvador, M.E.; Sanchez, E.E. 2002. Control of Superficial scald in "Beurré d'Anjou" pears with low oxygen levels. *Acta Horticulturae* 596, 879-882.
 - ✓ Mitcham, E. J., C. H. Crisosto & A. A. Kader; 2003.- Pear Bartlett. Recommendations for maintaining postharvest quality. Postharvest Technol. Research Information Center, Department of Pomology, University of California.
 - ✓ Moavro, E.; 2010.- Peras y Manzanas. *Revista Alimentos Argentinos* 48. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. 45-48.
 - ✓ Moggia, C., M. Pereira & J.A. Yuri; 2001.- Efectividad de aplicaciones de SmartFresh (1-MCP) en peras 'Packham's Triumph'. *Revista Frutícola*. 22 (3). 83-87.
 - ✓ Moggia, C., M. Pereira, J.A. Yuri & D. Manriquez; 2008. Uso de 1-MCP en peras: efectividad de aplicaciones foliares de precosecha mediante Harvista™ Technology. *Revista Frutícola*. 29 (1): 26-31.
 - ✓ Calvo, G., Sozzi, G.O. 2004. Improvement of postharvest storage quality of "Red Clapp's" pears by treatment with 1-methylcyclopropane at low temperature. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 79, 930-934
 - ✓ Calvo, G., Candan, A.P. 2003. Efecto del 1-metilciclopropeno sobre la madurez y control de escaldadura en peras cv. "Beurré d'Anjou" y "Packham's Triumph". Resúmenes del 9º Congreso Nacional de Horticultura. Montevideo, Uruguay, del 1 al 3 de abril, 2003. p: 79.
 - ✓ Calvo, G., Macadam, C. 2005. Interacciones entre el 1-MCP y la conservación en atmósfera controlada en la madurez y calidad de manzanas cv. Red Delicious. Libro de Resúmenes XII Congreso Latinoamericano y XXVIII Congreso de Horticultura, III Jornadas Argentinas de Postcosecha. Pag. 93.
 - ✓ Calvo, G., Candan, A.P. 2011. Alternativas de control de escaldadura superficial en peras "Beurré d'Anjou". Informe Técnico INTA Alto Valle, 22 p.
 - ✓ Calvo, G., Kupferman, E. 2012. Current DPA and ethoxyquin situation and alternatives to superficial scald control in apples and pears. *Acta Horticulturae* 945, 51-54. http://www.actahort.org/books/945/945_5.htm.
 - ✓ Calvo, G., Candan, A.P. 2012. Evaluación de distintos sistemas de almacenamiento para controlar la maduración y el desarrollo de escaldadura superficial en peras "Beurré d'Anjou". 42 pp. Informe INTA Alto Valle, Rio Negro, Argentina.
 - ✓ Rowan, D.D., M.B. Hunt, S. Fielder, J. Noris & M.S Sherburn; 2001.- Conjugated triene oxidation products of α -farnesene induce symptoms of superficial scald on stored apples. *J.Agric.Food Chem.* 49: 2780-2787.
 - ✓ Roy, S., W.S. Conway, A.E. Watada, C.E. Sams, E.F. Erbe & W.P Wergin; 1994.- Heat treatment affects epicuticular wax structure and postharvest calcium uptake in Golden Delicious apples. *HortScience*. 29: 1056-1058.
 - ✓ Rudell, D.R. & J.P. Mattheis; 2009.- Superficial scald development and related metabolism is modified by postharvest light irradiation. *Postharvest Biol.Technol.* 51: 174-182.

Control de escaldadura superficial en pera y manzana: un compromiso técnico y comercial.

- ✓ Sangiacomo, M.A. & G. Calvo; 1996.- Estudio de alternativas de control de escaldadura superficial. Informe técnico. Área Postcosecha. INTA Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle. 10 pp.
- ✓ Soria Villalonga, Y.; 1998.- El escaldado superficial en manzana Granny Smith. Fisiología de la alteración y estudio de métodos de control alternativos a la difenilamina. Tesis doctoral. Universidad de Lleida, España. 114 pp.
- ✓ Soria, Y. & I. Recasens; 1997.- El escaldado superficial de la manzana. Información Técnica Económica Agraria (ITEA). 93 (1): 49-64.