

DAÑO POR ENFRIAMIENTO

Una Limitante para las Exportaciones de Hortalizas de Estación Cálida

Christian Krarup H.
Departamento de Ciencias Vegetales
E mail: ckrarup@puc.cl

Las hortalizas, al igual que muchas flores, frutas y especies ornamentales son, en su gran mayoría, altamente perecederas. La práctica fundamental para alcanzar su máxima vida útil potencial durante el período de postcosecha consiste en disminuir la temperatura ambiental y, por lo mismo, del producto durante todo el período desde cosecha hasta la utilización del mismo por parte del consumidor final. La conservación bajo condiciones refrigeradas hace posible disminuir el metabolismo, la pérdida de agua y el desarrollo de enfermedades en los productos hortícolas. Sin embargo, hay ciertos productos, especialmente aquellos de origen tropical o subtropical, que al ser expuestos a temperaturas inferiores a un mínimo crítico pero sobre su punto de congelación sufren un desorden fisiológico conocido como daño por enfriamiento (**DPE**, o *Chilling Injury*, o *Erkaltung*).

Aunque el énfasis del presente artículo está centrado en el período de conservación después de la cosecha de productos hortícolas, debe señalarse que **DPE** es un problema común a casi todas las especies en algún momento de su ontogenia. Salvo raras excepciones, como plantas que crecen bajo o cerca de bancos de nieve en las zonas montañosas o polares, las que tienen una fisiología adaptada a bajas temperaturas durante todo su ciclo vital, la gran mayoría de

las especies pueden verse afectadas por **DPE** en procesos centrales de su desarrollo, como germinación, fotosíntesis y polinización, si las temperaturas ambientales son menores a mínimos críticos determinados. En el rango de temperaturas que media entre el punto de congelación y dicho mínimo crítico, las estructuras involucradas en esos procesos eventualmente manifestarán **DPE**. Esto hace que el trastorno haya sido reconocido primero, desde tiempo inmemorial, por sus efectos en el desarrollo de plantas, lo que explica la distribución geográfica de los cultivos de las especies susceptibles al desorden, la presencia de los primeros invernaderos para producir plantas exóticas en Europa y el concepto de “plantas de interior” usado en Chile.

Sólo mucho tiempo después se ha ido reconociendo la relevancia de

DPE para la conservación de productos vegetales al estado natural. Los fisiólogos de postcosecha recién empezaron a aquilatar la significación del **DPE** para la conservación de los vegetales hace poco más de sesenta años y en las últimas décadas, a través de un número creciente de investigaciones, han logrado avances muy significativos en el conocimiento científico del tema. Sin embargo, aún es un fenómeno poco reconocido y escasamente estudiado en Chile, a pesar de su obvia importancia para la conservación de los productos hortofrutícolas y a pesar de la especial relevancia que debiera tener en un país que exporta dichos productos a mercados lejanos, lo que exige períodos de conservación o transporte prolongados que hacen aún más probable y limitante la presencia y aparición de síntomas del desorden.

Figura 1

Diferenciación entre **DPE** y **DPC** en frutos de tomate cv. Cal Ace. Los superiores fueron conservados a 0°C por dos semanas y evidencian síntomas de DPE como punteado, opacidad y detención de la maduración. Los inferiores fueron conservados a -18°C por 4 h y dejados descongelar a 20°C por 4 h antes de la foto; los tejidos se presentan vidriosos y el colapso estructural es total.



Cuadro 1
Susceptibilidad a DPE de las principales familias y especies hortícolas

| Familias y especies no susceptibles: | Familias y especies susceptibles: |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Aliáceas (ajo, cebolla, chalota, puerro, etc.) - Apiáceas (apio, apio-papa, cilantro, perejil, zanahoria, etc.) - Asteráceas (achicoria, alcachofa, endibia, lechuga, etc.) - Brassicáceas (brócoli, coliflor, repollo, rábano, etc.) - Chenopodiáceas (acelga, betarraga y espinaca) - Fabáceas (arveja y haba) - Polygonáceas (ruibarbo) | <ul style="list-style-type: none"> - Poáceas (maíz dulce) - Liliáceas (espárrago) - Convolvuláceas (camote) - Cucurbitáceas (melón, pepino, sandía, zapallito, zapallo, etc.) - Fabáceas (poroto lima, poroto granado, poroto verde, etc.) - Malváceas (okra) - Solanáceas (ají, berenjena, papa, pepino dulce, pimiento, tomate, etc.) |

Definición

DPE se puede definir como una serie de disfunciones metabólicas que ocurren en ciertas células vegetales al estar sometidas a temperaturas entre 0 y 12,5°C por períodos más o menos prolongados, las que resultan en alteraciones a nivel físico-químico y en un eventual síndrome visible, o conjunto de síntomas característicos del fenómeno. El desorden requiere del funcionamiento celular por un cierto tiempo para expresarse y resulta ser claramente distinguible del daño por congelación (**DPC**, o *freezing injury*, o *Erfrieren*), que se genera por una exposición que puede ser muy breve a temperaturas bajo el punto de congelación y que resulta en un verdadero cataclismo celular, con desorganización, ruptura y muerte casi instantánea de las células, al momento de producirse la formación de hielo interno. Tal como se aprecia en la Figura 1 con el ejemplo de tomate, ambos daños se manifiestan de manera distinta y pueden ser claramente diferenciados.

Susceptibilidad y Sensibilidad

Debido a la susceptibilidad a **DPE**, el uso de refrigeración con temperaturas cercanas a 0°C durante postcosecha se ve impedido para muchas especies hortícolas ya que el trastorno no sólo disminuirá la vida útil, sino que también afectará notablemente la calidad del producto. En el Cuadro 1 se presenta una clasificación de las principales familias de hortalizas según su susceptibilidad a **DPE** y en el Cuadro 2 según su sensibilidad a **DPE** durante el período postcosecha. La respuesta de un producto dado varía esencialmente según la temperatura y tiempo de exposición a la misma y según su estado de madurez; otros factores involucrados presentan una significación secundaria.

La información del Cuadro 1, además de señalar las grandes diferencias de respuesta entre las familias de hortalizas, indica que dentro de grupos taxonómicos bastante homogéneos como una familia pueden existir

especies susceptibles y no susceptibles al desorden. En el Cuadro 2, se aprecia que también dentro de un mismo género se observan diferencias en respuesta, por ej. berenjena (*Solanum melongena* L.), pepino dulce (*Solanum muricatum* L.) y papa (*Solanum tuberosum* L.) en las Solanáceas, y que algunas especies aparecen en más de una categoría de sensibilidad al problema, debido a que investigaciones han demostrado respuestas diferentes entre variedades botánicas o cultivares, como es el caso de melón, pimiento, tomate y otros. Estos hechos señalan que no es posible generalizar sobre las respuestas de los productos a condiciones inductoras de **DPE**. Lo interesante es que hay variabilidad genética en la respuesta al desorden, alternativa de solución o amonización que ha sido poco usada por los mejoradores al obtener nuevos cultivares de hortalizas.

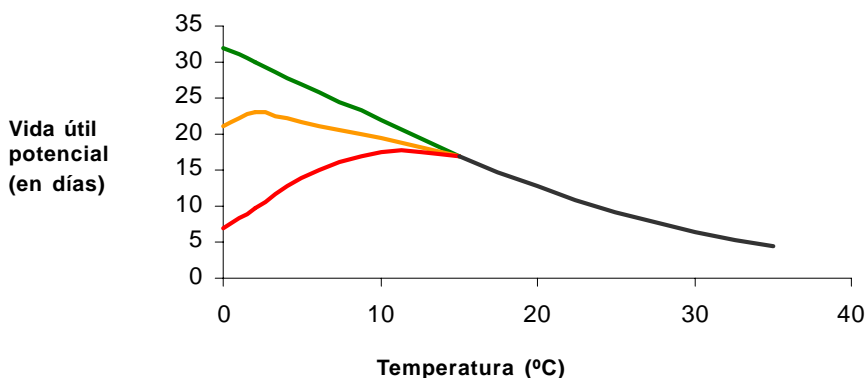
La limitación de la vida útil potencial durante postcosecha planteada por la susceptibilidad de los productos a **DPE** se demuestra claramente en la Figura 2. Las tres hortalizas usadas en el ejemplo presentan una vida útil similar y muy corta a temperaturas ambientales altas e incrementan su vida útil potencial al disminuir éstas hasta un cierto límite. En brócoli, especie no susceptible al desorden, la vida útil potencial aumenta progresivamente hasta 0°C o justo sobre su punto de congelación. En espárrago, una especie susceptible de baja sensibilidad, al bajar de 5°C la vida útil potencial se ve afectada y disminuirá con refrigeración prolongada bajo 2°C debido a que se inducen síntomas visibles de **DPE**. En ají, una especie susceptible de alta sensibilidad, la vida

Cuadro 2
Sensibilidad a DPE durante postcosecha de productos hortícolas

| Baja | Media | Alta |
|---|--|---|
| Espárrago Melón Papa Pimiento Poroto lima Tomate | Melón Okra Pepino dulce Pimiento Poroto granado Poroto verde Sandía Tomate Zapallo | Ají Berenjena Camote Chayote Melón Pepino Pimiento Tomate Zapallito |

Figura 2

Efecto de la temperatura de conservación sobre la vida útil potencial de productos hortícolas de nula (— brócoli), baja (— espárrago) y alta (— ají) sensibilidad a DPE.



útil potencial empieza a disminuir con temperaturas ambientales de 13°C, con un potencial bastante menor a 0°C. Los eventuales beneficios de disminuir los síntomas de DPE en especies susceptibles resultan obvios.

Sintomatología

La sintomatología típica de DPE es bastante variada y variable según sea el producto pero, usualmente, involucra algunos de los siguientes síntomas visibles a nivel macroscópico: decoloración u opacidad epidermal y sub-epidermal, infiltración acuosa de los tejidos, lesiones superficiales como ampollas, hendiduras, o punteados, manchas en la coloración de fondo, pardeamientos, problemas en maduración de frutos, senescencia acelerada de los tejidos y, eventualmente, generación de necrosis progresiva del tejido epidermal, lo que facilita la infección por microorganismos y el posterior desarrollo de enfermedades o pudriciones. En la Figura 3 se demuestran algunos de los síntomas visibles en especies susceptibles tan diversas como melón, plátano y corona del inca, ejemplarizando la gran gama de productos que se ven afectados por este desorden fisiológico. En el caso del melón se observa pardeamiento inicial y necrosis epidermal, en plátano pardeamiento, manchas y opacidad epidermal, y en corona del inca una marchitez generalizada.

A nivel microscópico, una de las manifestaciones iniciales de DPE es la disminución o cese de la ciclosis

protoplasmática debido al aumento en densidad y rigidez del citosol inducido por bajas temperaturas, con una plasmólisis progresiva de las células. Las organelas sufren alteraciones estructurales: por ejemplo, en tomate expuesto a 2°C por 10 días, los plastidios se expanden y pierden su estructura interna y las mitocondrias también se hinchan y las cristas se transforman en vesículas; eventualmente hay un incremento de la salida de electrolitos celulares al medio extracelular. Estos cambios microscópicos ocurren rápido después de la exposición a bajas temperaturas, precediendo por varios días a los síntomas visibles.

Hipótesis

Las observaciones de síntomas macro o microscópicamente visibles y las mediciones de los cambios físico-químicos o composicionales han llevado a una generación progresiva de diversas hipótesis para explicar la causa o causas del DPE. Una de las primeras hipótesis propuso que las bajas temperaturas generan desequilibrios metabólicos que resultan en la acumulación de metabolitos tóxicos y la posterior aparición de los síntomas del desorden. Sin embargo, hasta el momento no se ha aislado ningún compuesto que cumpla con las características de un metabolito tóxico general.

Posteriormente, avances en investigación sobre la composición lipídica de las membranas y de los ácidos grasos presentes en ellas generaron la hipótesis de que las bajas

temperaturas afectan la fluidez de las membranas, rigidizándolas y afectando su permeabilidad, lo que explicaría algunos de los síntomas de DPE, como necrosis, salida de electrolitos y zonas acuosas. Sin embargo, esto no explica todos los síntomas y trastornos fisiológicos que se observan, los que según hipótesis posteriores se deberían a un metabolismo anormal, inducido por las bajas temperaturas que generan cambios en la energía de activación de ciertas enzimas ubicadas en las membranas celulares.

Las ideas anteriores y otras proposiciones fueron incorporadas en la hipótesis de Lyons en 1973, la que propone la existencia de un evento primario, probablemente un cambio de fase física en los lípidos de las membranas, que sería inducido por las bajas temperaturas y que iniciaría las disfunciones metabólicas. El evento primario generaría los eventos secundarios que incluyen las alteraciones metabólicas y los eventuales síntomas visibles. Esta hipótesis que predominó durante años por ser compatible con algunas observaciones experimentales, ha sido cuestionada porque no explica otros resultados y, principalmente, porque no es posible establecer claramente un evento primario.

Muy recientemente, en una aproximación novedosa ya que sugiere una explicación similar a la propuesta para el envejecimiento de células animales, se ha postulado que las bajas temperaturas podrían alterar la presencia de radicales libres de oxígeno los que, mediante su efecto oxidativo de los lípidos de las membranas, podrían estar envueltos en la génesis de DPE y otros desórdenes celulares. Aunque la oxidación de los lípidos de las membranas sea un evento secundario, se le considera un posible punto crítico común para la expresión de diversos problemas celulares, incluyendo senescencia, y un posible medio de control de los mismos. A pesar de lo atractivo de éste nuevo énfasis, es claro que la exacta causa o evento primario de este desorden fisiológico no ha sido dilucidado. Incluso algunos autores cuestionan la pertinencia de postular una sola causa o una sola hipótesis para aplicarla a todas las es-

pecies que sufren **DPE**, por las diferencias en las reacciones observadas en ellas.

Aminoración

Las investigaciones recientes orientadas a disminuir la presencia o severidad del desorden en productos susceptibles se han centrado en posibles tratamientos físicos, en tratamientos químicos, o en el mejoramiento genético de las especies para disminuir la susceptibilidad de sus productos. Hasta el momento el problema ha resultado más complejo que lo previsto por los fisiólogos hace algunos años.

Los tratamientos físicos, como el uso de temperaturas bajas alternadas con temperaturas sobre el mínimo crítico del producto que borran el estrés inducido, el uso de tratamientos de preacondicionamiento térmico que generan cambios físicos o químicos benéficos en el producto, el uso de películas de cera o polímeros plásticos que disminuyen transpiración y el uso de atmósferas modificadas que alteran la fisiología, han permitido una reducción del desorden en diversos productos. Sin embargo, estos métodos han demostrado efectos más bien marginales, son poco universales y resultan un tanto engorrosos, por lo que no han adquirido hasta ahora una relevancia práctica. A pesar de esto, investigaciones recientes de exposición de los productos a temperaturas elevadas previas a su conservación en frío, so-

las o asociadas al uso de polímeros plásticos como envoltorios individuales de los productos, han demostrado efectos más significativos en diferentes productos. Estudios realizados en el Programa Postcosecha de Hortalizas de esta Facultad en especies como melón, pimiento y tomate indican que estos tratamientos representan una posibilidad interesante para el desarrollo de futuras tecnologías.

Los tratamientos químicos que se han investigado con el mismo objetivo de disminuir el **DPE** son numerosos. Productos tan diversos como ácido jasmónico y sus derivados, auxinas, benzoato de sodio, cloruro de calcio, etanolamina, etileno, placobutrazol, y otros han sido ensayados para reducir **DPE**. Los resultados han sido similares a los obtenidos con los métodos físicos, con una disminución del problema en magnitud más bien reducida y sólo en algunos productos. Por otro lado, la adición de productos químicos a alimentos que se consumen al estado natural requiere el cumplimiento de diversas regulaciones e instancias de aprobación variables en los distintos mercados y, muy especialmente, es contraria a las tendencias actuales hacia una alimentación libre de aditivos o contaminantes químicos. Por lo mismo, el desarrollo de tecnologías basadas en tratamientos químicos requeriría de un producto con un efecto de gran magnitud, de espectro casi universal, de absoluta seguridad y de bajo costo, panacea que hasta el mo-

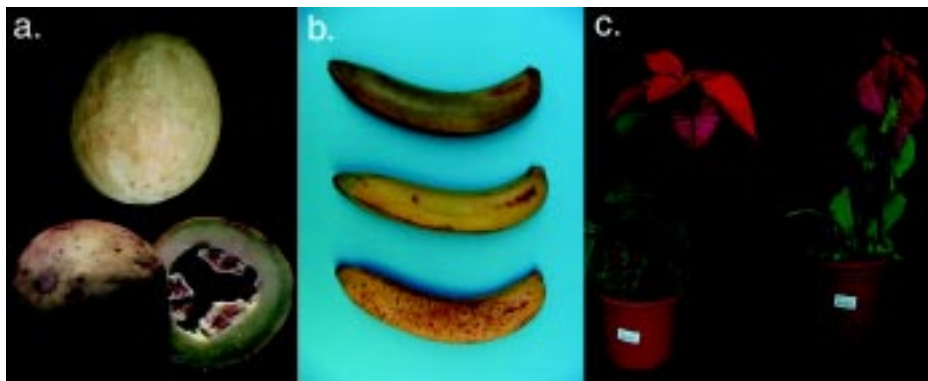
mento es difícil de imaginar y, más aún, de lograr.

El mejoramiento genético ha sido reconocido como un potente y conveniente método de disminuir el **DPE**. Uno de los factores más importantes que determinan la susceptibilidad y sensibilidad de las plantas al desorden es su genotipo. La existencia de variabilidad entre especies y entre variedades botánicas y cultivares de una misma especie, permite modificar la respuesta a temperaturas inductoras del mismo. Por ejemplo, en el tomate cultivado (*Lycopersicon esculentum*) existe una mayor sensibilidad a frío de diversos procesos fisiológicos que en algunas especies de tomates silvestres (*L. hirsutum* y *L. chilense*) y los cruzamientos de *L. esculentum* con *L. hirsutum* resultan en híbridos F1 de sensibilidad intermedia a **DPE** en algunos de esos procesos. Las investigaciones realizadas en el Programa Postcosecha de Hortalizas de esta Facultad, con frutos de tomate para consumo fresco sometidos a condiciones inductoras de **DPE** durante postcosecha, han demostrado que cultivares de la variedad botánica conocida como tomate cereza (*L. esculentum* var. *cerasiforme*) son de escasa o nula sensibilidad al desorden, mientras que los cultivares convencionales de consumo fresco presentan una amplia escala de respuesta, desde cultivares altamente sensibles, por ej. Colette, hasta algunos como Abigail que no serían susceptibles a **DPE**.

El ejemplo de tomate ilustra un potencial interesante, incluso en una base de germoplasma posiblemente estrecha ya que el mejoramiento de la especie se ha focalizado básicamente en la obtención de altos rendimientos, en caracteres auxiliares de los mismos y en calidad de frutos, y no en la obtención de cultivares cuyos frutos sean resistentes a **DPE**. Muchos investigadores postulan que el mejoramiento genético es la mejor manera de resolver el problema de **DPE**. Los métodos convencionales y la ingeniería genética son una alternativa clara y atractiva para enfrentar el problema pero, obviamente, son específicos y requieren de tiempo y recursos considerables; no obstante esto, la selec-

Figura 3

Síntomas típicos de **DPE** en una hortaliza (melón: manchado inicial en fruto superior y necrosis epidermal en el fruto inferior, después de 7 y 21 días a 0°C), en una fruta (plátano, opacidad y pardeamiento epidermal en fruta superior después de 7 días a 0°C, mientras que la inferior ha madurado a 20°C), y en una planta ornamental (corona del inca, marchitez en planta de la derecha después de 7 días a 0°C), que demuestran la diversidad de especies susceptibles y algunos síntomas habituales del desorden.



ción de cultivos comerciales resulta una opción lógica y valiosa.

Perspectivas

La investigación acumulada en los últimos años ha permitido avances significativos hacia la definición de la o las causas y, especialmente, en la identificación de los efectos del **DPE** durante la conservación de los vegetales. Sin embargo, salvo unos pocos intentos puntuales, todavía no se ha generado un progreso significativo para la generación de tecnologías que permitan paliar dichos efectos, aspecto de gran importancia para un país

exportador como Chile, cuyos principales mercados externos están distantes y exigen mantener los productos bajo refrigeración por períodos prolongados. De hecho la presencia del desorden es habitual en las exportaciones de ciertas hortalizas y frutas, incluso en algunas especies originarias de zonas templadas, disminuyendo la calidad o generando pérdidas físicas de esos productos, lo que resulta en pérdidas económicas significativas ya que no sólo se degrada o pierde el producto, sino también el valor agregado en el proceso (fletes, materiales, servicios, etc.). Por lo mismo, resulta

prioritario y debiera esperarse una mayor actividad de investigación propia del país que contribuya al desarrollo de tecnologías para disminuir el **DPE**.

El desconocimiento del evento primario que causa **DPE**, o de mecanismos de control celular del mismo, significa que la disminución del problema deberá seguir focalizándose en la manipulación de las condiciones de conservación o en la utilización de productos de menor sensibilidad. Ciertamente, ambas posibilidades podrían y deberían ser conjugadas en el desarrollo de tecnologías para lograr una aminoración más efectiva de **DPE**. ■



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
FACULTAD DE AGRONOMIA E INGENIERIA FORESTAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS VEGETALES

Diploma en Agricultura Urbana

29 de Marzo al 13 de Diciembre de 2001

Martes y Jueves de 18:00 a 21:00 horas

Orientado a profesionales y técnicos que se desempeñan en el área del paisajismo, que deseen perfeccionar y desarrollar sus conocimientos en el área del manejo, producción y mantención de plantas ornamentales de uso en parques y jardines.

Cursos del Diploma

- Sustratos y fertilización en cultivos ornamentales (3 de Abril al 22 de Mayo)
- Fundamentos y diseño de sistemas de riego (5 de Abril al 24 de Mayo)
- Manejo de céspedes (3 de Mayo al 1 de Diciembre)
- Espacio, percepción y lectura del paisaje (12 de Junio al 24 de Julio)
- Técnicas de propagación de plantas ornamentales (31 de Mayo al 26 de Julio)
- Especies herbáceas ornamentales (9 de Agosto al 4 de Octubre)
- Especies leñosas ornamentales (14 de Agosto al 2 de Octubre)
- Manejo de viveros ornamentales (16 de Octubre al 11 de Diciembre)
- Taller de ecología del paisaje chileno (11 de Octubre al 13 de Diciembre)

Para mayor información sobre inscripción de cursos:
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal,
Fonos: 686 4124 - 686 4111, Fax: 552 0780, e-mail: scontree@puc.cl