

EL DAÑO PRODUCIDO POR LAS HELADAS: FISIOLÓGÍA Y TEMPERATURAS CRÍTICAS

INTRODUCCIÓN

Los daños por bajas temperaturas (e.g. frío y congelación) pueden producirse en todas las plantas, pero los mecanismos y la tipología del daño varían considerablemente. Algunos cultivos frutales, hortícolas y ornamentales de origen tropical experimentan daños fisiológicos cuando están sometidos a temperaturas por debajo de +12,5 °C, bastante por encima de las temperaturas de congelación. Sin embargo, el daño por encima de 0 °C es más por enfriamiento que por helada. Ésta ocurre en todas las plantas debido a la formación de hielo. Las plantas cultivadas que se desarrollan en climas tropicales, a menudo experimentan daños importantes por heladas cuando se exponen a temperaturas ligeramente por debajo de cero, mientras que muchos cultivos que se desarrollan en climas más fríos, a menudo, sobreviven con pocos daños si la congelación no es muy severa. Algunas excepciones son las lechugas, que se han originado en climas templados, pero pueden dañarse a temperaturas cercanas a 0 °C y algunos frutos subtropicales, que a pesar de tener un origen tropical pueden permanecer a temperaturas de -5 a -8 °C. Las especies o las variedades de cultivos exhiben distintos daños por heladas a la misma temperatura y en el mismo estadio fenológico, dependiendo de las condiciones meteorológicas previas. Su adaptación a las temperaturas frías antes de una helada nocturna se denomina “endurecimiento”. Durante los periodos fríos, las plantas tienden a endurecerse contra el daño por congelación, y pierden el endurecimiento después de un período de calentamiento. El endurecimiento está relacionado, probablemente, con el aumento del contenido de solutos en el tejido de las plantas o con la disminución de la concentración de bacterias activas en la nucleación de hielo (INA) durante los períodos fríos, o una combinación de ambos. Durante los períodos cálidos, las plantas exhiben crecimiento, el cual reduce la concentración de solutos, y aumenta la concentración de bacterias INA, haciendo las plantas menos resistentes.

El daño por heladas ocurre cuando se forma hielo dentro del tejido de las plantas, dañando sus células. Puede ocurrir en las plantas anuales (cultivos para ensilado o forrajes de gramíneas y leguminosas; cereales; cultivos para aceite o de raíces; hortícolas; y cultivos ornamentales) multi-anuales y perennes (árboles frutales

caducifolios y de hoja perenne). Los daños por heladas tienen un efecto drástico para la planta entera o pueden afectar únicamente a una pequeña parte del tejido de la planta, lo cual reduce el rendimiento o deprecia la calidad del producto.

En este capítulo se presenta una breve discusión de los mecanismos, tipos y síntomas del daño por congelación. Para lectores interesados, Levitt (1980), Sakai y Larcher (1987) y Li (1989) proporcionan una revisión extensa tanto del daño por congelación como del daño por enfriamiento. Más adelante, en el capítulo, se presenta una breve discusión sobre endurecimiento, sensibilidad, tipo de daño y temperaturas dañinas críticas de los cultivos importantes.

EL DAÑO CELULAR

El daño directo por helada ocurre cuando se forman cristales de hielo dentro del protoplasma de las células (congelación o helada intracelular), mientras que el daño indirecto puede ocurrir cuando se forma hielo dentro de las plantas pero fuera de las células (i.e. congelación o helada extracelular). Lo que realmente daña las plantas no son las temperaturas frías sino la formación de hielo (Westwood, 1978). Se cree que la formación de hielo intracelular causa una “ruptura mecánica de la estructura protoplásmica” (Levitt, 1980). La extensión del daño debido a la congelación intracelular depende principalmente de la rapidez del enfriamiento y la intensidad del enfriamiento antes de congelarse. Hay poca o ninguna evidencia de que la duración de la congelación afecte al daño. De hecho, Levitt (1980) establece que el daño por congelación parece ser independiente del tiempo para periodos cortos (e.g. 2–24 horas).

El daño directo por congelación intracelular se asocia con un enfriamiento rápido. Por ejemplo, Siminovitch, Singh y de la Roche (1978) observaron congelamiento intracelular y muerte de las células cuando se enfriaron plantas de centeno a un ritmo de 8 °C por minuto hasta -12 °C, congelándose el agua superenfriada dentro de las células. Cuando las plantas se enfriaron hasta -12 °C durante 23 minutos, la formación de hielo fue extracelular y las plantas se recuperaron completamente después del deshielo. En estudios realizados en cámaras climáticas para determinar temperaturas críticas, los cortes de plantas se enfrían normalmente a un ritmo entre 1,0 y 2,0 °C h⁻¹. Éste es un ritmo más lento que en el experimento con plantas de centeno y más lento que alguno de los ritmos que se dan normalmente en la naturaleza. De hecho, Levitt (1980) indica que, en la naturaleza, el daño por congelación resulta de la formación de cristales de hielo extracelular y de que no hay evidencia de congelación intracelular.

Aunque la evidencia no es muy grande, parece que el ritmo de deshielo después de una congelación está parcialmente relacionado con la intensidad del daño. Los

citricultores del sur de California normalmente creen que haciendo más lento el proceso de calentamiento después de una noche de congelación se puede reducir el daño por helada. De hecho, los fruticultores justifican la puesta en marcha de ventiladores durante más tiempo por la mañana después de una noche de congelación para hacer más lento el proceso de deshielo. Yoshida y Sakai (1968) sugirieron que el ritmo de deshielo hará más lenta la rehidratación de las células de las plantas que han experimentado congelación extracelular y se reducirá el daño debido a un deshielo rápido.

Levitt (1980) propuso que las células se morían de forma gradual como resultado del crecimiento de masa de hielo extracelular. Recuerda que la presión de vapor a saturación es más baja sobre hielo que sobre el agua líquida. Como resultado de la formación de hielo extracelular, el agua se evaporará desde el agua líquida dentro de las células y pasará a través de las membranas semipermeables de las células y se depositará sobre los cristales de hielo fuera de las células. Conforme el agua sale de las células, la concentración de solutos aumenta y reduce el riesgo de congelación. Sin embargo, a medida que el hielo continua creciendo, las células se desecan más. Normalmente, en las plantas dañadas, los cristales de hielo extracelular son mucho más grandes que las células muertas de alrededor, que se han colapsado debido a la desecación. En consecuencia, la principal causa en la naturaleza del daño por helada a las plantas es la formación de hielo extracelular, que produce un estrés de agua secundario a las células adyacentes. De hecho, hay una estrecha relación entre las plantas tolerantes a la sequía y las plantas tolerantes a la congelación.

Observa que los antitranspirantes se han propuesto como un método de protección contra la congelación. Se argumenta que los daños por helada ocurren por la deshidratación de las células y los antitranspirantes se da a entender que reducen las pérdidas de agua desde las plantas y proporcionan protección contra la congelación. Sin embargo, la desecación de las células resulta de la evaporación del agua celular en respuesta al gradiente de presión de vapor provocado por la formación de hielo extracelular y no debido a la transpiración. No existe evidencia de que los antitranspirantes reducen la desecación debido a la formación de cristales de hielo extracelular.

LA EVITACIÓN, LA TOLERANCIA Y EL ENDURECIMIENTO

Las plantas resisten las temperaturas bajas evitándolas o tolerándolas. Las estrategias para evitar las temperaturas bajas incluyen:

- La retención de nieve a lo largo del invierno, protege tanto las partes aéreas de las plantas como las subterráneas (Ventskevich, 1958);

- El efecto biofísico de cubiertas densas, que protegen parte de la planta de una atmósfera fría;
- Órganos con elevada capacidad de calor (e.g. troncos y frutos grandes) que retrasan la caída de temperatura respecto a la temperatura del aire, lo que puede salvarlos de las temperaturas que más dañan (Turrell y Austin, 1969); y
- Los métodos de protección contra heladas artificiales, que modifican el microclima de las plantas (e.g. espumas, coberturas y nieblas).

La tolerancia a bajas temperaturas puede conseguirse:

- Evitando la congelación mediante una disminución del punto de congelación o un aumento en el grado de superenfriamiento (Burke *et al.*, 1976);
- Tolerancia de la congelación extracelular reduciendo la cantidad de hielo formado debido a un incremento de la concentración de solutos en el protoplasma (Li y Palta, 1978);
- Tolerancia de un grado más alto de desecación debido a la plasmolisis del protoplasma (Gusta, Burke y Kapoor, 1975); o
- Aumento de la permeabilidad de la membrana del plasma para evitar la congelación intracelular (Alden y Hermann, 1971; Levitt, 1980).

La temperatura a la cual ocurre la congelación puede fluctuar considerablemente dependiendo de la dureza que han alcanzado las plantas. Sin embargo hay plantas (e.g. bastantes plantas C_4 , hojas de palmeras y plantas de tomate) que tienen muy poca o ninguna capacidad de endurecimiento (Larcher, 1982; Olien, 1967). El endurecimiento implica tanto mecanismos de evitación como de tolerancia a la congelación. La acumulación de azúcares o azúcares-alcoholes disminuye la temperatura de congelación de los tejidos (e.g. en hojas de olivo y de cítricos) y aumenta el superenfriamiento en muchos árboles frutales caducifolios o de hoja perenne en respuesta a una baja temperatura del aire. Algunas células pueden endurecer aumentando la proporción de ácidos grasos no saturados de los lípidos de la membrana del plasma, que aumentarían la estabilidad de la membrana durante la desecación. Como el endurecimiento es un proceso activo que depende del nivel de asimilados en los tejidos, todas las condiciones que disminuyan el conjunto de asimilados en los tejidos reducirán el endurecimiento.

Aunque las temperaturas frías provocan que los frutos de las plantas se endurezcan contra los daños por helada, el endurecimiento se pierde rápidamente tras unos pocos días cálidos. Las yemas de los frutos se volverán a endurecer pero a un ritmo mucho más lento que al que lo han perdido. Ésta es la base de la práctica de enfriar los cultivos con aspersores durante los períodos más cálidos del día para reducir la temperatura y evitar la pérdida de endurecimiento.

En el pasado, los investigadores han atribuido las fluctuaciones en la sensibilidad a la congelación a cambios fisiológicos, pero la contribución de INA a la sensibilidad, lo cual también puede ser un factor a considerar, se ha ignorado en general. Por ejemplo, un aumento rápido en la concentración de bacterias nucleadoras de hielo puede ocurrir también en periodos cálidos. Conforme vayan volviendo las temperaturas frías, la concentración de bacterias puede disminuir lentamente.

LA SENSIBILIDAD DE LAS PLANTAS

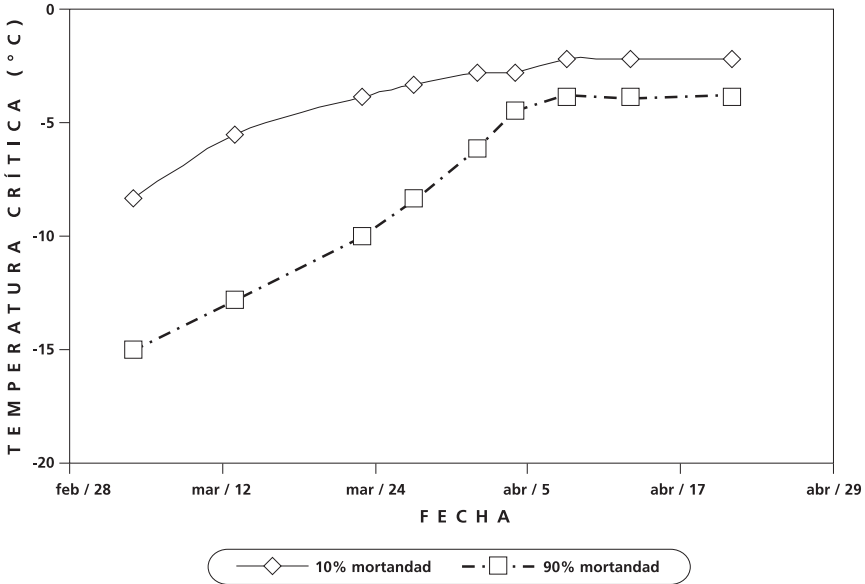
Las plantas se agrupan en cuatro categorías de sensibilidad a la congelación: (1) frágiles; (2) ligeramente resistentes; (3) moderadamente resistentes; y (4) muy resistentes (Levitt, 1980). Las plantas frágiles son aquellas que no han desarrollado la evitación de la congelación intracelular (e.g. muchas plantas tropicales). Las plantas ligeramente resistentes incluyen muchos de los árboles frutales subtropicales, árboles caducifolios, y cultivos hortícolas que son sensibles al enfriamiento hasta los $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las plantas moderadamente resistentes incluyen aquellas que pueden acumular suficientes solutos para resistir el daño por heladas hasta temperaturas tan bajas como $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, principalmente evitando el daño por deshidratación, pero son menos capaces de tolerar temperaturas más bajas. Las plantas muy resistentes son capaces de evitar la congelación intracelular así como de evitar el daño debido a la desecación de las células.

A pesar de que las categorías de sensibilidad a la congelación dan una información general sobre el frío que un órgano de una planta puede aguantar antes de que ocurra el daño por helada, el endurecimiento y el estadio fenológico son casi tan importantes. Por ejemplo, la temperatura que produce mortandad de yemas del 10% (T_{10}) y del 90% (T_{90}) aumenta con el avance de la estación desde la primera hinchazón hasta después de la floración (Figura 4.1). Además, las temperaturas que producen la muerte de yemas T_{90} en árboles de hoja caduca aumentan más rápidamente y se acerca a las temperaturas que producen la mortandad T_{10} .

Wang y Wallace (2003) presentaron una lista de frutas frescas y hortalizas según categorías de susceptibilidad a la congelación (Tabla 4.1.) mostrando las sensibilidades relativas cuando eran expuestas a temperaturas de congelación. Caplan (1988) facilitó una lista de flores anuales agrupadas por su tolerancia a la congelación (Tabla 4.2). La Tabla 4.4 proporciona una lista de estos y otros cultivos agrupados por sus categorías de endurecimiento.

FIGURA 4.1

Temperaturas típicas para un 10% y un 90% de mortandad de yemas para cerezos que se corresponden con las fechas medias observadas en la Washington State University, Prosser Research and Extension Centre (Proebsting y Mills, 1978)



TIPOS DE DAÑO Y TEMPERATURAS CRÍTICAS

Hay muchos estudios sobre temperaturas dañinas críticas (T_c) para una variedad de cultivos. Estos números se obtuvieron utilizando un conjunto de métodos y se debería ser cauteloso a la hora de intentar utilizar las temperaturas críticas publicadas como temperaturas para la puesta en marcha y la detención de los métodos de protección activos. Por ejemplo, algunos investigadores han comparado registros de daños comerciales a largo plazo con las medidas de temperatura de casetas meteorológicas estándar. En algunos casos, el sensor de temperatura, la protección, la altura del montaje, etc., no se indican. Estos factores pueden afectar a los resultados y es difícil aplicar la información de una localidad a otra ya que se dispone de información insuficiente. También hay siempre diferencias microclimáticas, incluso dentro de una parcela experimental que puede afectar a los resultados. Por ejemplo, se han observado diferencias

TABLA 4.1

Susceptibilidad de frutas y verduras al daño por heladas

| MAS SUSCEPTIBLES | MODERADAMENTE SUSCEPTIBLES | MENOS SUSCEPTIBLES |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Aguacates | Apio | Barbón común |
| Albaricoques | Brócoli | Berza común |
| Bananas | Calabaza, Invierno | Chirivías |
| Batata o Boniato | Cebolla (seca) | Col rábano |
| Bayas (excepto frambuesas) | Coliflor | Col, madura y sabrosa |
| Berenjena | Espinacas | Coles de Bruselas |
| Calabaza, Verano | Frambuesa | Colinabos |
| Ciruelas | Guisantes | Dátiles |
| Espárragos | Manzanas | Nabos |
| Judías verdes | Naranjas | Remolachas |
| Lechuga | Peras | |
| Lima | Perejil | |
| Limonos | Rábanos | |
| Melocotoneros | Uva de mesa | |
| Okra | Uvas | |
| Patatas | Zanahorias | |
| Pepinos | | |
| Pimientos, dulces | | |
| Tomates | | |

FUENTE: Wang y Wallace, 2003.

TABLA 4.2

Categorías de resistencia a la congelación de varias flores anuales

| RESISTENTE | TOLERANTES | FRAGILES | SENSIBLES |
|------------------------------|--|------------------|--------------------------------|
| Col Ornamental | Blackeyed Susan (<i>Rudbeckia</i>) | <i>Nicotiana</i> | Balsam |
| Cornflower | Bells of Ireland (<i>Moluccéulasa</i>) | Aster | <i>Agérato</i> |
| Pensamiento | <i>Coreopsis</i> | Petunia | Begonia |
| Primavera (<i>Primula</i>) | Clavel del poeta (<i>Dianthus</i>) | <i>Scabiosa</i> | Cockscomb |
| Violeta | Pot Marigold (<i>Calendula</i>) | Stathielo | Alegría (<i>Impatiens</i>) |
| | Dragón | Sweet alyssum | Lobelia |
| | Stock (<i>Matthiola incana</i>) | Verbena | Caléndula |
| | Sweet pea | | Moss rose (<i>Portulaca</i>) |
| | <i>Torenia</i> | | <i>Vinca</i> |
| | | | Phlox, annual |
| | | | <i>Salpiglossis</i> |
| | | | <i>Salvia</i> |
| | | | <i>Zinnia</i> |

FUENTE: Basado en una publicación de la Purdue University HO-14, citado por Caplan, 1988.

espaciales de 1,0 °C o más dentro de un par de cientos de metros en un campo de frutales durante una noche de helada, medidas a la misma altura sobre la tierra en un terreno llano. Por ello, es de algún modo cuestionable que los valores de T_c de temperaturas de una caseta meteorológica sean aplicados universalmente.

Muchos investigadores han cortado pequeñas ramas de los árboles y las han colocado en una cámara de clima controlado donde las ramas escindidas fueron enfriadas a intervalos de temperaturas bajo cero para observar el daño. Mientras que este proceso está más estandarizado que las medidas de campo, el microclima dentro de una cámara de atmósfera controlada no es el mismo que el de las ramas expuestas a la intemperie. Por ejemplo, se puede determinar la cantidad de daño en ramas expuestas durante 30 minutos a intervalos de temperaturas, pero dentro de un árbol las ramas sin cortar van a tener un intervalo distinto de temperaturas. Las ramas en la parte superior del árbol estarán más expuestas y por consiguiente van a estar más frías que la temperatura del aire. Inversamente, las ramas dentro de la cubierta están más calientes y en consecuencia menos expuestas a sufrir daños. En árboles caducifolios, antes que las hojas estén completamente desarrolladas, normalmente hay una inversión desde el suelo hacia arriba, y por ello las temperaturas del aire más frías están cerca de la parte baja de los árboles. Cuando los árboles tienen la mayoría de las hojas expandidas, sin embargo, la temperatura mínima en las noches con helada de radiación, aumenta con la altura donde están la mayoría de las hojas. En cualquier caso, la utilización de temperaturas de una caseta meteorológica va a proporcionar únicamente una aproximación grosera del daño esperado.

Además de las variaciones de temperatura de las distintas partes de las plantas dentro de un árbol, viñedo o campo cultivado, existen también variaciones en las bacterias INA, que ahora se sabe que son un factor determinante de hasta que punto las plantas se superenfriarán. Para nuestro conocimiento, ningún investigador ha tenido en cuenta las diferencias en las concentraciones de bacterias nucleadoras de hielo cuando se han evaluado las temperaturas críticas. Por ejemplo, es conocido que los almendros tienen grandes concentraciones de bacterias INA. Si en un bloque de frutales se han aplicado bactericidas que reducen la población de bacterias INA y otro no fue tratado, entonces la temperatura crítica para el bloque con menos bacterias tendría que tener temperaturas críticas más bajas. Este es otro factor que complica la decisión de poner en marcha los métodos de protección activos. En general, la mejor aproximación es utilizar los valores publicados como una directriz e iniciar y paralizar la protección basándose en factores de corrección de seguridad adicionales de los valores publicados de T_c . Es mejor equivocarse por arriba.

Es importante observar que las temperaturas críticas determinadas en un laboratorio se han obtenido en congeladores controlados con un lento movimiento del aire. La temperatura del aire en el congelador desciende en intervalos pequeños y predeterminados y mantenidos por 20 a 30 minutos o más después de cada intervalo para permitir que las yemas entren en equilibrio. Esta práctica ha llevado a un error muy generalizado de que las yemas tienen que estar a una temperatura de 20 a 30 minutos para que se produzca el daño. Lo cierto es que para periodos cortos (2 a 24 h) el tiempo que el tejido de una planta está por debajo de una temperatura en particular es menos importante que cuánto de baja ha llegado la temperatura (Levitt, 1980). Los tejidos de las plantas se enfrían a un ritmo que depende del balance de radiación y de la diferencia de temperatura entre el tejido y su ambiente. Por consiguiente, si el aire cae de repente varios grados, el tejido puede enfriarse rápidamente por debajo de los niveles críticos resultando en daños por congelación. Si el tejido de la planta contiene agua superenfriada, la agitación mecánica de las hojas y las yemas por los ventiladores o helicópteros puede iniciar la formación de cristales de hielo, resultando en daño incluso si los tejidos están por encima de los valores de temperatura crítica determinada en cámara. Sin embargo, los valores de cámara proporcionan unas directrices sobre cuándo las medidas de protección necesitan ser implementadas.

CULTIVOS ANUALES Y BIENALES

Los síntomas de daño en cultivos hortícolas varían ampliamente y a veces pueden confundirse con daño biótico. La Tabla 4.3 muestra una lista de síntomas de daños por helada de algunos cultivos hortícolas. Las especies difieren enormemente en su resistencia a las heladas, pero el nivel máximo de resistencia sólo se consigue cuando las condiciones ambientales permiten que tenga lugar el endurecimiento. La variedad es, a menudo, tan importante como la especie a la hora de definir la resistencia a las heladas, especialmente cuando hay tipos de invierno y de primavera. En general, también existe una relación inversa entre la precocidad de una variedad y la resistencia a las heladas.

Los experimentos de campo sobre las temperaturas dañinas críticas para frutas y verduras son, de alguna manera, limitados, pero las temperaturas de congelación más altas a partir de estudios de frutas y verduras almacenadas se proporcionan en la Tabla 4.4. La información de la Tabla 4.4 puede considerarse una guía de utilidad, a pesar de que las temperaturas dañinas críticas pueden ser ligeramente más altas que las temperaturas del aire a las cuales cabe esperar que se produzca daño bajo condiciones de campo.

TABLA 4.3

Síntomas de daño por helada en cultivos hortícolas (Caplan, 1988)

| CULTIVO | SINTOMAS |
|------------------|--|
| Alcachofa | La epidermis se separa y forma hinchazones entre blanquecinas y marrón claro. Cuando la hinchazón se rompe, el tejido subyacente se vuelve marrón. |
| Ajo | Los dientes descongelados se vuelven amarillentos grisáceos y empapados de agua. |
| Apio | Las hojas y pecíolos aparecen marchitos y una vez descongelados aparecen empapados de agua. Los pecíolos se congelan más rápidos que las hojas. |
| Boniato (Batata) | Una decoloración marrónácea-amarillenta del anillo vascular y una apariencia grisáceo-amarillenta y de estar empapados en agua de los otros tejidos. Las raíces se ablandan y se hacen susceptibles al marchitamiento. |
| Brócoli | Las flores más jóvenes en el centro del cogollo son más sensibles al daño por congelación. Se vuelven marrones y desprenden un olor fuerte. |
| Cebolla | Los bulbos descongelados son blandos, amarillento-grisáceos y empapados en agua en la sección transversal. El daño, a menudo, está limitado a escalas individuales. |
| Col | Las hojas se empapan de agua, translúcidas y blandas. Una vez descongeladas la epidermis se separa. |
| Coliflor | Los cogollos se vuelven marrones y desprenden un fuerte olor cuando se cocinan. |
| Espárrago | El extremo del espárrago se vuelve blando y oscuro y el resto del tallo del espárrago está empapado en agua. Los tallos descongelados se vuelven blandos. |
| Lechuga | Las células muertas de la epidermis que se separa de las hojas externas se hinchan, y se vuelven marrones aumentando la susceptibilidad al daño físico y al marchitamiento. |
| Nabo | En la superficie aparecen pequeñas zonas empapadas en agua o con hoyitos. Los tejidos dañados aparecen de color marrón o gris y desprenden un olor desagradable. |
| Patata | Los daños por congelación pueden que no sean evidentes externamente, pero se muestran manchas grisáceas o gris-azuláceas debajo de la piel. Los tubérculos descongelados se vuelven blandos. |
| Pimiento | Tejidos muertos y empapados en agua en parte o en toda la superficie del pericarpio con hoyitos, con arrugamiento y marchitamiento después del descongelado. |
| Rábano | Los tejidos descongelados aparecen translúcidos y las raíces se ablandan y se arrugan. |
| Remolacha | Se empapan de agua externa e internamente y algunas veces ennegrecimiento del tejido conductivo. |
| Tomate | Después del descongelado se empapan en agua y se ablandan. En frutos parcialmente congelados, el límite entre tejido sano y muerto está muy marcado, especialmente en frutos verdes. |
| Zanahoria | Apariencia de hinchazón, grietas dentadas a modo longitudinal. El interior se empapa de agua y tras la descongelación se oscurece. |

TABLA 4.4

La temperatura de congelación más alta para frutas y verduras

| NOMBRE COMUN | NOMBRE CIENTIFICO | TEMPERATURA (°C) |
|---------------------------------------|--|------------------|
| Acerola; Cereza de Barbados | <i>Malpighia glabra</i> | -1,4 |
| Ajo (bulbo) | <i>Allium sativum</i> | -2,0 |
| Albaricoque | <i>Prunus armeniaca</i> | -1,1 |
| Alcachofa | <i>Cynara scolymus L.</i> | -1,2 |
| Alcachofa de tierra | <i>Helianthus tuberosus L.</i> | -2,5 |
| Aceitunas de mesa | <i>Olea europea</i> | -1,4 |
| Aguacate | <i>Persea Americana</i> | |
| cv. Fuchs, Pollock | | -0,9 |
| cv. Fuerte, Hass | | -1,6 |
| cv. Lula, Booth | | -0,9 |
| Ajo de ascaloni (cebollana) | <i>Allium ascalonicum L.</i> | -0,7 |
| Ajo tierno (ajo cebollino) | <i>Allium schoenoprasum L.</i> | -0,9 |
| Apio | <i>Apium graveolens var. dulce</i> | -0,5 |
| Apio rábano | <i>Apium graveolens var. rapaceum</i> | -0,9 |
| Banana | <i>Musa paradisiaca var. sapientum</i> | -0,8 |
| Banana | <i>Musa paradisiaca var. paradisiaca</i> | -0,8 |
| Barbón común (planta de ostras) | <i>Trapopogon porrifolius L.</i> | -1,1 |
| Batata de la China, Papa dulce (ñame) | <i>Dioscorea batatas Decne.</i> | -1,1 |
| Bayas | | |
| Arándano Americano (Blueberry) | <i>Vaccinium corymbosum</i> | -1,3 |
| Arándanos (Cranberry) | <i>Vaccinium macrocarpon</i> | -0,9 |
| Baya de saúco (Elderberry) | <i>Sambucus ssp.</i> | -1,1 |
| Frambuesa (Raspberries) | <i>Rubus idaeus L.</i> | -0,9 |
| Fresa | <i>Fragaria ssp.</i> | -0,8 |
| Zarzamora | <i>Rubus ssp.</i> | -0,8 |
| Zarzamora (Dewberry) | <i>Rubus ssp.</i> | -1,3 |
| Zarzamora-Frambueso (Zarza de logan) | <i>Rubus ssp.</i> | -1,7 |
| Berenjena | <i>Solanum melongena</i> | -0,8 |
| Berra, berro, mastuerzo acuático | <i>Lepidium sativum</i> | -0,3 |
| Berza común | <i>Brassica oleracea L. var.viridis L.</i> | -0,5 |
| Boniato común. Batata | <i>Ipomoea batatas L.</i> | -1,3 |
| Brócoli | <i>Brassica oleracea L. var. italica</i> | -0,6 |
| Cactus de pera espinosa | <i>Opuntia ssp.</i> | -1,8 |
| Calabaza grande | <i>Cucurbita maxima Duch.</i> | -0,8 |
| Caqui | <i>Diospyros kaki</i> | |
| Fuyu | | -2,2 |
| Hachiya | | -2,2 |

| NOMBRE COMUN | NOMBRE CIENTIFICO | TEMPERATURA (°C) |
|---|---|------------------|
| Calabaza | | |
| Calabaza amelonada | <i>Cucurbita moschata Duch.; C. maxima</i> | -0,8 |
| Calabaza común (calabacín) | <i>Cucurbita pepo L.</i> | -0,5 |
| Carambola, Starfruit | <i>Averrhoa carambola</i> | -1,2 |
| Cebollas | <i>Allium cepa</i> | |
| Bulbos maduros, secos | | -0,8 |
| Cebollas verdes | | -0,9 |
| Cereza, ácida | <i>Prunus cerasus</i> | -1,7 |
| Cereza, dulce | <i>Prunus avium</i> | -2,1 |
| Cereza de Barbados | <i>Malpighia glabra</i> | -1,4 |
| Champiñón | <i>Agaricus, otros géneros</i> | -0,9 |
| Chicoria | Ver Endibia | |
| Chiles | Ver Pimiento | |
| Chirimoya | <i>Annona cherimola</i> | -2,2 |
| Ciruelas | <i>Prunus × domestica L.</i> | -0,8 |
| Cítricos | | |
| Calamodín | <i>Citrus reticulata × Fortunella ssp.</i> | -2,0 |
| California & Arizona, (EE.UU.) zonas secas | | -1,1 |
| Florida (EE.UU.), zonas húmedas | | -1,1 |
| Limón | <i>Citrus limon</i> | -1,4 |
| Lima | <i>Citrus aurantifolia;</i> | -1,6 |
| Mandarina | <i>Citrus reticulate Blanco.</i> | -1,1 |
| Naranja | <i>Citrus sinensis</i> | |
| California & Arizona (EE.UU.), zonas secas | | -0,8 |
| Florida (EE.UU.), zonas húmedas | | -0,8 |
| Naranja sangre | | -0,8 |
| Naranja agria | <i>Citrus aurantium L.</i> | -0,8 |
| Pomelo | <i>Citrus grandis</i> | -1,6 |
| Tangelo | <i>Citrus reticulata × paradisi</i> | -0,9 |
| Col de Bruselas –sprouts | <i>Brassica oleracea L. var. gemmifera</i> | -0,8 |
| Coles | | |
| China; Napa | <i>Brassica campestris var. pekinensis</i> | -0,9 |
| Chirivías | <i>Pastinaca sativa</i> | -0,9 |
| Común, temprana | <i>Brassica oleracea var. capitata</i> | -0,9 |
| Tardía | —”— | -0,9 |
| Coco | <i>Cocos nucifera</i> | -0,9 |
| Coliflor | <i>Brassica oleracea var. botrytis</i> | -0,8 |
| Colocasia, ñame de Canarias | <i>Colocasia esculenta L.</i> | -0,9 |
| Col rábano | <i>Brassica oleracea L. var. gongylodes</i> | -1,0 |

| NOMBRE COMUN | NOMBRE CIENTIFICO | TEMPERATURA (°C) |
|------------------------------------|--|------------------|
| Dátil | <i>Phoenix dactylifera</i> | -15,7 |
| Endibia | | -0,1 |
| Endibia, Escarola | <i>Cichorium endivia</i> | -0,1 |
| Eneldo | <i>Anethum graveolens</i> | -0,7 |
| Espárrago, verde, blanco | <i>Asparagus officinalis</i> | -0,6 |
| Espinaca | <i>Spinacia oleracea</i> | -0,3 |
| Gombo | <i>Abelmoschus esculentus</i> | -1,8 |
| Granada | <i>Punica granatum L.</i> | -3,0 |
| Grosella | <i>Ribes ssp.</i> | -1,0 |
| Grosella | <i>Ribes grossularia Wall.</i> | -1,1 |
| Guisantes (pod, snow, snap, sugar) | <i>Pisum sativum</i> | -0,6 |
| Higo | <i>Ficus carica L.</i> | -2,4 |
| Hinojo | <i>Foeniculum vulgare</i> | -1,1 |
| Hojas verdes | | |
| Estación cálida | Varios géneros | -0,6 |
| Estación fría | Varios géneros | -0,6 |
| Jinjolero, azufaifo | <i>Ziziphus jujuba</i> | -1,6 |
| Jobo | <i>Spondias mombin L.</i> | |
| Judía de Lima | <i>Phaseolus lunatus</i> | -0,6 |
| Judías verdes | | |
| Snap; Wax; Green | <i>Phaseolus vulgaris</i> | -0,7 |
| Kiwano (pepino cornudo) | ver melón africano horned | |
| Kiwi | <i>Actinidia chinensis Planch.</i> | -0,9 |
| Lechuga | <i>Lactuca sativa L.</i> | -0,2 |
| Longan | <i>Dimocarpus longan</i> | -2,4 |
| Maíz, dulce y baby | <i>Zea mays L.</i> | -0,6 |
| Mango | <i>Mangifera indica L.</i> | -1,4 |
| Manzana | <i>Malus pumila</i> | -1,5 |
| Melocotonero (Durazno) | <i>Prunus persica</i> | -0,9 |
| Melones | | |
| Cantaloup | <i>Cucurbita melo var. reticulatus</i> | -1,2 |
| Casaba | <i>Cucurbita melo</i> | -1,0 |
| Crenshaw | <i>Cucurbita melo</i> | -1,1 |
| Honeydew | <i>Cucurbita melo</i> | -1,1 |
| Persian | <i>Cucurbita melo</i> | -0,8 |
| Nabo (raíz) | <i>Brassica campestris var. rapifera</i> | -1,0 |
| Nashi | ver pera asiática | |
| Nectarina | <i>Prunus persica</i> | -0,9 |
| Níspero | <i>Eriobotrya japonica (Thumb.) Lindl.</i> | -1,9 |
| Papaya | <i>Carica papaya</i> | -0,9 |

| NOMBRE COMUN | NOMBRE CIENTIFICO | TEMPERATURA (°C) |
|---|--|------------------|
| Patata, | <i>Solanum tuberosum</i> | |
| temprana | | -0,8 |
| tardía | | -0,8 |
| Pepino | <i>Cucumis sativus</i> | -0,5 |
| Pera, Europea | <i>Pyrus communis</i> | -1,7 |
| Pera Asiática, Nashi | <i>Pyrus serotina</i> ; <i>P. Pyrifolia</i> | -1,6 |
| Perejil | <i>Petroselinum crispum</i> | -1,1 |
| Pimientos | | |
| Pimiento común | <i>Capsicum annum L.</i> | -0,7 |
| Chile | <i>Capsicum annum</i> y <i>C. frutescens L.</i> | -0,7 |
| Piña | <i>Ananas comosus (Stickm.) Merr.</i> | -1,1 |
| Puerro | <i>Allium porrum L.</i> | -0,7 |
| Quince | <i>Cydonia oblonga</i> | -2,0 |
| Rábano (Rabanito) | <i>Raphanus sativus L.</i> | -0,7 |
| Rábano silvestre | <i>Armoracia rusticana Gaertn;</i> <i>Mey. Et Schreb.</i> | -1,8 |
| Rapóntico | <i>Rheum rhaponticum L.</i> | -0,9 |
| Remolacha, bunched | <i>Beta vulgaris</i> | -0,4 |
| Remolacha, topped | | -0,9 |
| Rutabaga | <i>Brassica napus var. napobrassica</i> | -1,1 |
| Sandía | <i>Citrullus vulgaris</i> | -0,4 |
| Sapotes | | |
| Añón canadiense, chapote, sapote, matazano | <i>Casimiroa edulis La Llave et Lex.</i> | -2,0 |
| Caimito, Camimito | <i>Chrysophyllum cainito L.</i> | -1,2 |
| Canistel, eggfruit | <i>Pouteria campechiana</i> | -1,8 |
| Ébano agrio | <i>Diospyros ebenaster Retz.</i> | -2,3 |
| Tamarindo | <i>Tamarindus indica L.</i> | -3,7 |
| Tomate | <i>Lycopersicon esculentum</i> | |
| Maduro firme | | -0,5 |
| Verde maduro | | -0,5 |
| Uva | <i>Vitis vinifera L.</i> | |
| | fruto | -2,7 |
| | tallo | -2,0 |
| Uva Silvestre | <i>Vitis labrusca L.</i> | -1,4 |
| Zanahorias, topped | <i>Daucus carota</i> | -1,4 |

FUENTE: A partir de Whiteman, 1957, tal como presenta la University of California, Davis, página web de Post-cosecha: http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/prop_a.shtml.

NOTAS: Algunas denominaciones taxonómicas pueden haber cambiado desde 1957.

Durante eventos de heladas rigurosas sin nieve, las hojas jóvenes de los pastos y las plántulas de los cereales de invierno pueden dañarse, pero es posible la recuperación si el nudo de ahijamiento no se ve afectado. Sin embargo, si se daña el meristemo, se producirá la muerte invernal. Al principio y al final del invierno y al principio de la primavera, las plantas pueden ser menos resistentes, lo cual favorece el daño. La retención de la nieve reduce este tipo de daño (Ventskevich, 1958). Más adelante, durante la floración y el crecimiento inicial del grano de los cereales, el daño por helada reduce el número de granos por espiga. El resultado visual es la formación de unas bandas más delgadas y descoloridas en las espigas por cada evento de helada, las aristas se rizan, y cómo el peso del grano es menor, las espigas se mantienen verticales cerca de la madurez (Figura 4.2).

Para los cereales, la resistencia relativa a la congelación es (desde el más resistente): Centeno > Trigo blando > Triticale > Cebada > Avena y Trigo duro. Durante el invierno, las temperaturas críticas cambian con relación al grado de endurecimiento. Sin embargo, cuando el endurecimiento se completa, no se produce destrucción de las plantas con temperaturas que oscilan entre -40 y -45 °C para el centeno, hasta por encima de los -10 °C para el trigo duro (Lecomte, 1989).

FIGURA 4.2

Daño por helada en cultivo de trigo



El tercio superior de la espiga se adelgaza y las aristas están rizadas (izquierda); y más tarde las espigas permanecen verticales ya que el peso del grano es pequeño (derecha).



Fotos: J P de Melo-Abreu (ISA)

TABLA 4.5

Intervalo de temperaturas críticas (°C) que dañan a los cultivos forrajeros y a los cultivos para ensilar

| CULTIVO | GERMINACION | FLORACION | FRUCTIFICACION |
|----------------------|-------------|-----------|----------------|
| Trigo de primavera | -9; -10 | -1; -2 | -2; -4 |
| Avenas | -8; -9 | -1; -2 | -2; -4 |
| Cebada | -7; -8 | -1; -2 | -2; -4 |
| Guisantes | -7; -8 | -2; -3 | -3; -4 |
| Lentejas | -7; -8 | -2; -3 | -2; -4 |
| Almorta | -7; -8 | -2; -3 | -2; -4 |
| Cilantro (Coriander) | -8; -10 | -2; -3 | -3; -4 |
| Amapolas | -7; -10 | -2; -3 | -2; -3 |
| Diente de león | -8; -10 | -3; -4 | -3; -4 |
| Altramuz | -6; -8 | -3; -4 | -3; -4 |
| Veza de primavera | -6; -7 | -3; -4 | -2; -4 |
| Judías | -5; -6 | -2; -3 | -3; -4 |
| Girasol | -5; -6 | -2; -3 | -2; -3 |
| Cártamo | -4; -6 | -2; -3 | -3; -4 |
| Mostaza blanca | -4; -6 | -2; -3 | -3; -4 |
| Lino | -5; -7 | -2; -3 | -2; -4 |
| Cáñamo | -5; -7 | -2; -3 | -2; -4 |
| Remolacha azucarera | -6; -7 | -2; -3 | - |
| Remolacha pienso | -6; -7 | - | - |
| Zanahoria | -6; -7 | - | - |
| Nabo | -6; -7 | - | - |
| Col | -5; -7 | -2; -3 | -6; -9 |
| Soja | -3; -4 | -2; -3 | -2; -3 |
| Mijo de Italia | -3; -4 | -1; -2 | -2; -3 |
| Altramuz amarillo | -4; -5 | -2; -3 | - |
| Maíz | -2; -3 | -1; -2 | -2; -3 |
| Mijo | -2; -3 | -1; -2 | -2; -3 |
| Pasto del Sudan | -2; -3 | -1; -2 | -2; -3 |
| Sorgo | -2; -3 | -1; -2 | -2; -3 |
| Patatas | -2; -3 | -1; -2 | -1; -2 |
| Tabaco rústico | -2; -3 | - | -2; -3 |
| Trigo sarraceno | -1; -2 | -1; -2 | -0,5; -2 |
| Castor (higuerillo) | -1; -1,5 | -0,5; -1 | -2 |
| Algodón | -1; -2 | -1; -2 | -2; -3 |
| Melón | -0,5; -1 | -0,5; -1 | -1 |
| Arroz | -0,5; -1 | -0,5; -1 | -0,5; -1 |
| Sésamo | -0,5; -1 | -0,5; -1 | - |
| Kenaf | -0,5; -1 | - | - |
| Cacahuete | -0,5; -1 | - | - |
| Pepino | -0,5; -1 | - | - |
| Tomate | 0; -1 | 0; -1 | 0; -1 |
| Tabaco | 0; -1 | 0; -1 | 0; -1 |

FUENTE: After Ventskevich, 1958.

La congelación puede dañar algunos cultivos incluyendo los cultivos forrajeros anuales y cultivos para ensilar, que pierden hoja y en consecuencia producen menos materia seca. La Tabla 4.5 muestra las temperaturas críticas para muchos cultivos relacionados con los estadios fenológicos.

CULTIVOS PERENNES

Los límites de la distribución natural de muchas plantas, incluidos algunos árboles frutales, están relacionadas con la temperatura mínima a la cual se produce la supercongelación (i.e. punto de nucleación homogéneo), que es próximo a -40°C . Por debajo del punto de nucleación homogéneo, el congelamiento es intracelular y letal (Burke *et al.*, 1976; Weiser *et al.*, 1979; Ikeda, 1982).

LOS ÁRBOLES FRUTALES

Generalmente, la sensibilidad de los cultivos de hoja caduca a la congelación aumenta desde la primera floración hasta el estadio de fruto pequeño, y es cuando el cultivo es más probable que sufra daños. La sensibilidad también es más alta cuando una meteorología cálida ha precedido una noche helada que si temperaturas frías han precedido a la helada. Se sabe que las plantas resisten a la congelación cuando se han expuesto a temperaturas frías durante largos periodos y este endurecimiento es menor si la exposición es a temperaturas cálidas. Considerable información sobre la sensibilidad de los frutales de hojas caduca en relación con sus estadios fenológicos están disponibles en la página web de la Washington State University – Prosser Research and Extension Centre (<http://fruit.prosser.wsu.edu/frstTablas.htm>) y en la página web de la Michigan State University – Van Buren County Cooperative Extension (<http://www.msue.msu.edu/vanburen/crittemp.htm>). En ambas páginas web, se proporcionan fotografías que muestran los estadios fenológicos para una variedad de cultivos. Rodrigo (2000) presenta otra revisión sobre resistencia y daño por helada en primavera.

Aunque es menos común que el daño en primavera, los daños por helada en invierno normalmente afectan a los frutales de hoja caduca. En las áreas de producción del Norte, cuando los inviernos son muy rigurosos, se puede congelar la corteza, el tejido leñoso o las yemas. Los daños a la corteza incluyen:

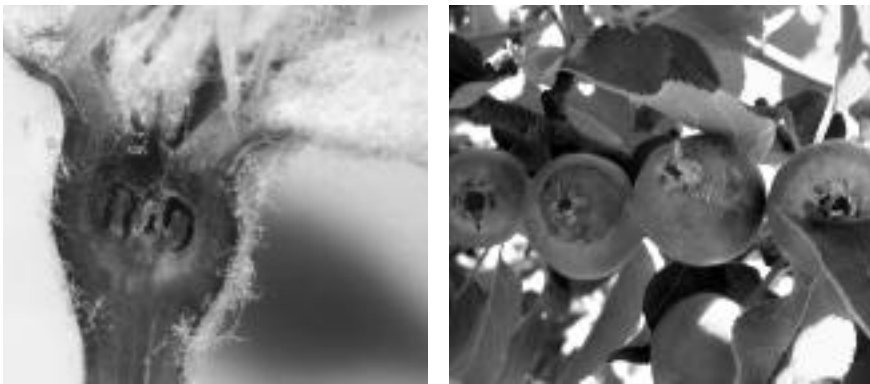
- Daños en el área de la horquilla, que se produce en árboles con ángulos de la horquilla estrechos que endurecen más tarde o a veces de forma incompleta;
- Daños “sunscald” en días de invierno soleados, y fríos, cuando las nubes bloquean al Sol y causan un rápido enfriamiento de la temperatura del aire que puede producir congelación;

- Separación de la corteza, que puede ocurrir en condiciones muy frías; y
- Daños en tronco, el cuello y las raíces que ocurre cuando el efecto de protección del suelo es insuficiente para evitar la congelación de estas partes de la planta (Myers, 1988).

Bajo temperaturas invernales extremas, o cuando los árboles fallan en el endurecimiento, se dañan los tejidos leñosos de las ramas (secado de las puntas) o los troncos se congelan (corazón ennegrecido). En el corazón ennegrecido, las células del xilema se mueren, la madera se oxida, volviéndose oscura y decolorada y los vasos se llenan de oclusiones gomosas. El corazón ennegrecido normalmente no mata los árboles inmediatamente, pero organismos que pudren la madera invaden los árboles dañados reduciendo la productividad y la longevidad. Las yemas durmientes en invierno a menudo se superenfrian a temperaturas muy bajas (e.g. $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ en yemas de melocotonero en invierno y $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ para las yemas de las azaleas). La muerte invernal de yemas y tejidos de la corteza ocurre normalmente en plantas que han perdido parcialmente el endurecimiento debido a periodos relativamente cálidos. Durante la primavera, la capacidad de superenfriamiento se reduce conforme las yemas se expanden y forman flores. Las flores completamente abiertas normalmente tienen temperaturas críticas entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Burke *et al.*, 1976).

FIGURA 4.3

Daño por helada en (A) una flor de manzano; y (B) en frutos pequeños [manchas rojiza cerca de los ojos y anillos] (Ribeiro, 2003)



Fotos: A. Castro Ribeiro (ESAB, IPB, Portugal)

Las flores se dañan normalmente por las heladas de primavera y los síntomas son un oscurecimiento de los pétalos. Normalmente el estilo de las flores es más sensible que el ovario al daño por helada. Después de la fertilización, las semillas son los órganos más sensibles. Unos días después de una helada, la proporción de flores dañadas es obvia. Cuando se cortan con un cuchillo, las flores sanas presentan un color verde claro en el interior mientras que las flores dañadas están marronosas (Figura 4.3A).

Las semillas son imprescindibles para el desarrollo normal de la mayoría de frutos, pero algunas variedades de peras y de manzanas dañadas son capaces de mantener un desarrollo partenocárpico para producir frutos deformes. Los frutos de hueso son más susceptibles a la pérdida de las semillas ya que sólo tienen una o dos, mientras que las manzanas y las peras, al tener más semillas, son menos susceptibles.

Cuando el fruto experimenta daño por congelación, crece un tejido rojizo y áspero que cubre una parte o incluso toda parte externa del fruto. A pesar de que el daño puede originarse mucho antes, aparecen anillos rojizos después de la plena floración, (Figura 4.3B).

En la Tabla 4.6 se indican las temperaturas críticas para variedades de almendro, donde algunos datos provienen de observaciones de campo utilizando temperaturas de garitas estándar y otros proceden de estudios con cámaras climáticas utilizando ramas escindidas. En la Tabla, los datos de plena floración para el cv. Peerless son un poco diferentes entre los estudios de campo y de cámara, lo que ilustra el problema cuando se comparan los estudios en cámaras con las observaciones de campo. De acuerdo con los datos de Hansen en plena floración, a $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ se esperaría un daño del 25%, mientras que solo se observó un daño del 1% a $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en los estudios en cámara. En general, para el mismo nivel de daño, las temperaturas de los estudios con cámara tienden a ser más bajas que las de los estudios de campo. Por ello, las temperaturas críticas que provocan daño en el campo es probable que sean más altas y al utilizar las temperaturas críticas de los estudios con cámara se podrían producir daños. Si las temperaturas de las yemas, de las flores y de los pequeños frutos se miden directamente en el campo en lugar de utilizar temperaturas protegidas, entonces las temperaturas críticas deberían estar más cercanas aquellas observadas en estudios con cámaras. Sin embargo, medir las temperaturas de las yemas, de las flores y de los frutos no es fácil. La idea principal es que las temperaturas críticas publicadas no deberían considerarse como absolutamente correctas, sino únicamente como una directriz para la toma de decisiones sobre cuándo poner en marcha o detener los métodos activos de protección.

TABLA 4.6

Daño esperable (%) para algunas variedades de almendro a distintos estadios de desarrollo después de 30 minutos por debajo de la temperatura indicada

| VARIEDAD | ESTADIO | TEMPERATURA °C | | | | | | | |
|--------------|---------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | -5,6 | -5,0 | -4,4 | -3,9 | -3,3 | -2,8 | -2,2 | -1,7 |
| Peerless | [F] plena floración | | | | 100 | 75 | 45 | 25 | |
| | Color rosa visible | | 100 | 75 | 50 | 25 | | | |
| Peerless | [C] plena floración | | | | 79 | 50 | 14 | 1 | |
| | Caída de pétalos | | | | | | 63 | 14 | 3 |
| | Crecimiento del fruto | | | | | | 46 | 45 | 9 |
| NePlus Ultra | [F] Plena floración | | | 100 | 75 | 50 | 25 | | |
| Mission | [F] Color rosa visible | 100 | 80 | 60 | | | | | |
| Drake | [F] Plena floración | | 100 | 75 | 50 | 25 | | | |
| | Color rosa visible | 75 | 50 | 25 | | | | | |
| Nonpareil | [F] Plena floración | 75 | 60 | 40 | 20 | | | | |
| | Color rosa visible | 20 | 10 | | | | | | |
| Nonpareil | [C] Crecimiento del fruto | | | | | | 19 | 14 | 3 |
| Butte | [C] Crecimiento del fruto | | | | | 90 | 45 | 27 | 10 |

NOTAS: [C] indica ensayos con ramas cortadas en una cámara de congelación (Connell y Snyder, 1988). [F] indica resultados de varios años de observaciones de campo no publicadas por Harry Hansen (retirado del Servicio Meteorológico Nacional de los EE.UU.) utilizando temperaturas de una garita Stevenson y de una pantalla en frutales.

La Tabla 4.7 contiene un listado de temperaturas críticas para árboles frutales de hoja caduca ampliamente utilizados correspondientes a los principales estadios fenológicos (Proebsting y Mills, 1978). A pesar de que estas temperaturas críticas se han desarrollado en estudios con cámaras, en parte suponen una guía como temperaturas críticas para ser utilizadas en el campo. Para tener en cuenta la diferencia entre las temperaturas críticas de campo y las medidas en cámaras, los valores de T_c para ser utilizados en el campo deberían ser ligeramente más altos que los listados en la Tabla.

Uva de mesa y uva de vinificación

Las uvas de mesa y las uvas para vino son dañadas con frecuencia por las heladas primaverales. Las hojas son más propensas a sufrir daño ya que son los primeros órganos en formarse, pero las flores y las pequeñas bayas a veces también son dañadas. En el caso de hojas dañadas es normal que se de una recuperación total, pero el daño de los frutos puede reducir la producción. La ocurrencia de heladas

TABLA 4.7

Valores de temperatura crítica (T_c ; °C) para algunos frutales de hoja caduca

| CULTIVO | ESTADIO | 10% MORTANDAD | 90% MORTANDAD |
|--------------------|--|------------------|------------------|
| Albaricoquero | Yema hinchada | -4,3 | -14,1 |
| | Cáliz rojo | -6,2 | -13,8 |
| | Ápice blanco de la corola visible | -4,9 | -10,3 |
| | Primera flor | -4,3 | -10,1 |
| | Plena floración | -2,9 | -6,4 |
| | Caída de los pétalos | -2,6 | -4,7 |
| | Fruto tierno | -2,3 | -3,3 |
| | Yema hinchada | -11,1 | -17,2 |
| | Botones visibles | -5,8 | -13,4 |
| Cerezo (Bing) | Yema con la punta color verde | -3,7 | -10,3 |
| | Botones todavía reunidos | -3,1 | -7,9 |
| | Los botones se separan | -2,7 | -6,2 |
| | Ápice blanco de la corola visible | -2,7 | -4,9 |
| | Primera flor | -2,8 | -4,1 |
| | Plena floración | -2,4 | -3,9 |
| | Caída de los pétalos | -2,2 | -3,6 |
| Ciruelo (Italiano) | Yema hinchada | -11,1 | -17,2 |
| | Yema hinchada (color blanquecino en la punta) | -8,9 | -16,9 |
| | Botones visibles (Las escamas se separan y se ven los botones de color verde) | -8,1 | -14,8 |
| | Botones florales todavía reunidos | -5,4 | -11,7 |
| | Los botones se separan (Ápice blanco de la corola visible) | -4,0 | -7,9 |
| | Primera flor | -4,3 | -8,2 |
| | Plena floración | -3,1 | -6,0 |
| | Caída de los pétalos | -2,6 | -4,3 |
| | | | |
| Manzano | Comienza a hincharse la yema | -11,9 | -17,6 |
| | Yema hinchada | -7,5 | -15,7 |
| | Aparición de botones florales (sin hojas desarrolladas) | -5,6 | -11,7 |
| | Aparición de botones florales (con hojas desarrolladas) | -3,9 | -7,9 |

| CULTIVO | ESTADIO | 10% MORTANDAD | 90% MORTANDAD |
|---------------------------|--|------------------|------------------|
| Manzano | Los sépalos dejan ver los primeros pétalos | -2,8 | -5,9 |
| | Los sépalos dejan ver todos los pétalos | -2,7 | -4,6 |
| | Primera flor | -2,3 | -3,9 |
| | Plena floración | -2,9 | -4,7 |
| | Caída de pétalos | -1,9 | -3,0 |
| Melocotonero (Elberta) | Yema hinchada | -7,4 | -17,9 |
| | Cáliz verde | -6,1 | -15,7 |
| | Cáliz rojo | -4,8 | -14,2 |
| | Corola rosa en el ápice de la yema | -4,1 | -9,2 |
| | Primera flor | -3,3 | -5,9 |
| | Floración tardía | -2,7 | -4,9 |
| | Caída de los pétalos | -2,5 | -3,9 |
| Peral (Bartlett) | Las yemas empiezan hincharse (Las escamas se separan) | -8,6 | -17,7 |
| | Yemas florales expuestas | -7,3 | -15,4 |
| | Aparición de botones florales todavía reunidos | -5,1 | -12,6 |
| | Los sépalos dejan ver los primeros pétalos | -4,3 | -9,4 |
| | Los sépalos dejan ver todos los pétalos | -3,1 | -6,4 |
| | Primera flor | -3,2 | -6,9 |
| | Plena floración | -2,7 | -4,9 |
| | Post floración | -2,7 | -4,0 |

El 10% de mortandad y el 90% de mortandad implican que 30 minutos a la temperatura indicada se espera que provoque la muerte de un 10% y un 90% de la parte de planta afectada durante el estadio fenológico indicado.

FUENTE: Proebsting y Mills, 1978.

a principios de otoño aumenta la susceptibilidad a los ataques de hongos (e.g. podredumbre gris (*botrytis* sp). Durante el invierno, las yemas que están en estadio de reposo son dañadas en muy pocas ocasiones, ya que pueden resistir temperaturas por debajo de los -10 °C, hasta -20 o incluso -30 °C (Leddett y Dereuddre, 1989). La Tabla 4.8 muestra las temperaturas críticas en relación con el estadio de desarrollo.

TABLA 4.8

| Valores (°C) de temperatura crítica (T_c) para la vid | | | |
|---|---------------------------------|---------------|---------------|
| Vid ⁽¹⁾ | Nuevo crecimiento: | | -1,1 |
| | Viña leñosa: | | - |
| | Híbridos Franceses | -20,6 | -23,3 |
| | Americanos | -22,2 | -27,8 |
| | | 10% mortandad | 90% mortandad |
| Vid (cv. Concord) ⁽²⁾ | Yema hinchada (yema de algodón) | -10,6 | -19,4 |
| | Punta verde | -6,1 | -12,2 |
| | Inicio de la salida de hojas | -3,9 | -8,9 |
| | Primera hoja | -2,8 | -6,1 |
| | Segunda hoja | -2,2 | -5,6 |
| | Tercera hoja | -2,2 | -3,3 |
| | Cuarta hoja | -2,2 | -2,8 |

El 10% de mortandad y el 90% de mortandad implican que 30 minutos a la temperatura indicada se espera que provoque un 10% y un 90% de la parte de planta afectada durante el estadio fenológico indicado.

NOTAS: (1) Krewer, 1988. La temperatura crítica se indicó sin dar el porcentaje de mortandad.

(2) www.msue.msu.edu/vanburen/crtmptxt.htm.

OTROS PEQUEÑOS FRUTOS

Las zarzamoras y los arándanos son resistentes en invierno, por ello el daño por heladas ocurre casi exclusivamente a las flores y a los frutos pequeños durante la época de primavera. En cambio, si no se implementan medidas protectoras, las fresas y los kiwis sufren daños en los inviernos fríos. La primera floración es críticamente importante en la producción de fresas, y por ello el daño por heladas durante esta fase es grave. Cuando es joven, el cambium del kiwi es a menudo dañado por las temperaturas relativamente altas en otoño y en primavera, así como por las heladas durante el invierno. Las primeras hojas expandidas son tiernas y en consecuencia, sensibles al daño. Las temperaturas críticas de algunos cultivos de pequeños frutos se muestran en la Tabla 4.9.

LOS FRUTOS DE LOS CÍTRICOS

La mayoría de cítricos no tienen una dormancia bien marcada y estable. El crecimiento sólo se reduce en invierno y un intervalo de 1 a 2 °C en el punto de congelación de los frutos es normal entre plantaciones frutales y variedades, e incluso entre árboles. Conforme la temperatura del aire cae durante la noche, la temperatura del fruto normalmente cae a continuación pero con un cierto retraso y normalmente está unos pocos grados celsius más alta que la temperatura del aire, especialmente durante el anochecer. Contra más grande es el fruto, más

TABLA 4.9

Valores de temperatura crítica (T_c) (°C) para algunos pequeños frutos

| CULTIVO | ESTADIO FENOLOGICO | % MORTANDAD | |
|--------------------------|---|----------------------|-------|
| | | 90% | |
| Arándano ⁽²⁾ | Yemas de flores hinchadas | -6,1 | |
| | Flores individuales distinguible | -3,9 | |
| | Flores claramente separadas, corolas expandidas pero cerradas | -2,2 | |
| | Hojas completamente abiertas | -0,6 | |
| | | 90% | |
| Fresa ⁽²⁾ | Yema cerrada | -5,6 | |
| | Pétalos blancos cerrados | -2,2 | |
| | Plena floración | -0,6 | |
| | Fruto inmaduro | -2,2 | |
| | | % desconocido | |
| Kiwi ⁽³⁾ | Yemas de flores durmientes | -18,0 | |
| | Ápice verde | -3,0 | |
| | Nervios de las hojas visibles | -2,0 | |
| | Hoja expandida | -1,5 | |
| | Flores individuales distinguible | -1,0 | |
| | | % desconocido | |
| Zarzamora ⁽¹⁾ | Yemas de flores durmientes | -73,0 | |
| | Yemas de flores abiertas | -2,2 | |
| | | % desconocido | |
| Zarzamora ⁽¹⁾ | Yemas de flores durmientes | -27,2 | -28,9 |
| | Yemas de flores abiertas | | -2,2 |

El 10% de mortandad y el 90% de mortandad implican que 30 minutos a la temperatura indicada se espera que provoque un 10% y un 90% de la parte de planta afectada durante el estadio fenológico indicado.

FUENTES: (1) Krewer, 1988. La temperatura crítica se presentó sin dar el porcentaje de mortandad.

(2) Powel y Himelrick, 2000. (3) Vaysse y Jourdain, 1992.

grande es la diferencia entre la temperatura del fruto y la del aire. El superenfriamiento también juega un papel en la temperatura de congelación y explica la importancia de la concentración de núcleos de congelación y la helada blanca o la formación del rocío en la superficie del fruto. También se sabe que la piel tiene una temperatura de congelación más baja que la pulpa del interior. En consecuencia, el daño por helada puede ocurrir en el interior del fruto sin un daño aparente en el exterior. A pesar de todos estos factores que producen confusión, en la Tabla 4.10 se presentan algunas temperaturas críticas de frutos para los cítricos más importantes.

Cuando la temperatura del aire (T_a) cae rápidamente después de un día cálido, las temperaturas de los frutos de los cítricos (T_{cf}) caen a continuación con un

TABLA 4.10

Temperaturas críticas de fruto (T_c) cuando los frutos de los cítricos, las yemas o las flores empiezan a congelar

| ESPECIES DE CITRICOS | TEMPERATURA CRITICA (°C) |
|---|--------------------------|
| Naranjas verdes | -1,9 a -1,4 |
| Naranjas, toronjas y mandarinas medio maduras | -2,2 a -1,7 |
| Naranjas, toronjas y mandarinas maduras | -2,8 a -2,2 |
| Limonos | -1,4 a -0,8 |
| Limonos maduros | -1,4 a -0,8 |
| Limonos verdes (diámetro >12 mm) | -1,9 a -1,4 |
| Yemas y flores de limoneros | -2,8 |

FUENTE: Puffer and Turrell, 1967.

cierto retraso respecto a la disminución de la temperatura del aire, siendo la diferencia de temperatura ($T_{cf} - T_a$) más grande para los frutos más grandes. Cuando se protegen los frutos pequeños y hay una caída rápida de la temperatura del aire después de la puesta de Sol, los ventiladores y las estufas deberían funcionar cuando T_a alcanza T_c (Tabla 4.10). Para los frutos más grandes, en las noches con una caída rápida de la temperatura del aire durante el anochecer, hay que poner en marcha los ventiladores o las estufas cuando T_a es ligeramente más baja que T_c (e.g. cuando $T_a = T_c - 0,5$ °C). Durante las heladas de advección poco severas o en las noches con humedad más alta y una caída de temperatura más baja, T_{cf} está más cerca de T_a , por ello los ventiladores o las estufas deberían funcionar cuando $T_a \approx T_c$ (Tabla 4.10). Si los frutos y las hojas están húmedos por la lluvia, la niebla o el rocío y se espera que la temperatura del bulbo húmedo (T_w) caiga por debajo de T_c durante la noche, los ventiladores y las estufas deberían ponerse en marcha tan pronto como sea posible al anochecer para secar las superficies de los frutos antes de que la temperatura del fruto húmedo caiga por debajo de T_c . De lo contrario, es probable que se dañe la piel.

En las condiciones meteorológicas en las que se espera que la temperatura del aire alcance la temperatura del punto de rocío (T_d), que es más alta que T_c y la temperatura mínima prevista está por debajo de T_c , entonces es deseable poner en marcha los ventiladores o las estufas antes de que T_a caiga hasta T_d y el rocío o la escarcha empiece a condensarse sobre el fruto.

En las noches que siguen a una lluvia o nieve ligera o cuando el rocío o la escarcha se forman sobre el fruto, el daño puede ocurrir en la corteza del fruto

TABLA 4.11

Temperaturas del aire (°C) correspondientes a una temperatura del bulbo húmedo $T_w = 0$ °C para un intervalo de temperaturas del punto de rocío y elevaciones

| TEMPERATURA DE PUNTO DE ROCÍO (°C) | ELEVACION (METROS POR ENCIMA DEL NIVEL MEDIO DEL MAR) | | | |
|---------------------------------------|--|-------|---------|---------|
| | 0 m | 500 m | 1 000 m | 1 500 m |
| 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| -2 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 |
| -4 | 2,3 | 2,5 | 2,6 | 2,8 |
| -6 | 3,3 | 3,5 | 3,7 | 3,9 |
| -8 | 4,1 | 4,4 | 4,6 | 4,9 |
| -10 | 4,8 | 5,1 | 5,4 | 5,8 |
| -12 | 5,4 | 5,8 | 6,1 | 6,5 |
| -14 | 6,0 | 6,3 | 6,7 | 7,1 |
| -16 | 6,4 | 6,8 | 7,2 | 7,7 |
| -18 | 6,8 | 7,2 | 7,7 | 8,1 |

incluso cuando la temperatura protegida está por encima de la temperatura crítica de daño del fruto. Esto ocurre porque la temperatura de la parte húmeda del fruto puede caer hasta la temperatura del bulbo húmedo, debido a la eliminación del calor sensible conforme el agua se evapora. Esta es la causa del daño en zonas de la corteza que ocurre algunos años. Esto también es cierto para los daños por mancha en frutos durante las heladas de otoño. La temperatura del bulbo húmedo siempre está entre la temperatura del aire y la del punto de rocío y la temperatura del bulbo húmedo es más baja cuando el punto de rocío también lo está. Si al entrar la noche el fruto estuviera húmedo, la protección debería iniciarse tan pronto como sea posible. En estas condiciones, el objetivo es evaporar el agua del fruto antes de que la temperatura del bulbo húmedo alcance los 0 °C. Para ayudar a evaporar el agua de las plantas se pueden utilizar las estufas o los ventiladores antes de la caída de la noche. Sin embargo, si se utilizan ventiladores cuando el fruto está húmedo después de que la temperatura del bulbo húmedo haya caído por debajo de la temperatura crítica de daño en fruto podría causar más daño a la corteza. La Tabla 4.11 da la temperatura de aire correspondiente a la temperatura del bulbo húmedo $T_w = 0$ °C para un intervalo de temperaturas del punto de rocío y para distintas elevaciones.