

# MÉTODOS DE PROTECCIÓN PASIVOS

Los métodos de protección pueden ser pasivos o activos. La protección pasiva incluye métodos que se han realizado con antelación a una noche de helada para evitar tener que necesitar una protección activa. Por ejemplo, las actividades de gestión pasiva incluyen:

1. La selección del emplazamiento
2. La gestión del drenaje de aire frío
3. La selección de plantas
4. Las cubiertas arbóreas
5. La gestión de la nutrición de las plantas
6. La poda adecuada de las plantas
7. El retrasar la floración mediante enfriamiento
8. La aplicación de productos químicos para retrasar la floración
9. Las cubiertas de plantas
10. El evitar el laboreo del suelo
11. La aplicación de riego
12. Eliminar las cubiertas de los cultivos
13. Las cubiertas de suelo
14. El pintar los troncos
15. Las envolturas de los troncos
16. El control de las bacterias
17. El tratamiento químico de las semillas

La gestión adecuada de cada uno de los métodos pasivos se discute en las secciones que vienen a continuación. En el capítulo 2 se presenta una discusión menos técnica que permite una visión breve del tema.

## LA SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO Y SU GESTIÓN

Las heladas de advección están asociadas con el viento y con la pequeña estratificación vertical de la temperatura. Durante las heladas de advección, las temperaturas más bajas normalmente se observan en las partes medias y superiores de las pendientes que están abiertas y están expuestas al viento. Las

temperaturas nocturnas más altas se observan en las partes más bajas de las laderas y en los sitios más bajos protegidos del viento. Las heladas de radiación están asociadas con las condiciones de calma o de viento muy suave y flujos catabáticos (i.e. drenaje de aire frío). El aire frío se acumula en las depresiones, donde el aire se estratifica verticalmente de forma que la temperatura aumenta con la altura. Durante las heladas de radiación, las temperaturas nocturnas más altas se observan en las cimas y en las partes superiores de las pendientes que están libres de obstáculos que bloquean el drenaje del aire frío.

### **FACTORES DE SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO PARA LAS HELADAS DE RADIACIÓN**

1. Debido al drenaje de aire frío a las partes más bajas, las temperaturas mínimas nocturnas tienden a seguir las curvas de nivel.
2. Las grandes masas de agua situadas contra el viento tienden a disminuir la frecuencia de heladas.
3. Las masas rocosas (acantilados) y las cubiertas vegetales (i.e. plantas cercanas más altas) pueden incrementar la radiación durante la noche hacia abajo y aumentar las temperaturas mínimas. Sin embargo, en algunas posiciones, pueden bloquear el drenaje de aire frío y favorecer la estratificación y el estancamiento del aire frío. Cada situación es única y las ventajas y desventajas de la proximidad a masas rocosas y cubiertas vegetales deben ser consideradas separadamente en cada localidad.
4. El tipo de suelo afecta al almacenamiento y liberación de energía y en consecuencia afecta a la temperatura nocturna.
5. La topografía local y los obstáculos en el paisaje afectan al drenaje de aire frío

La selección del emplazamiento es el método más importante de protección contra las heladas. Los factores a considerar son el drenaje de aire frío, la pendiente y la orientación, y el tipo de suelo. Muchos agricultores conocen los emplazamientos que son más propensos al daño por heladas. Normalmente, los emplazamientos más bajos de la topografía de una zona tienen temperaturas más bajas y como consecuencia, son más propensos a sufrir daños. Sin embargo, a veces, el daño ocurre en una sección del área cultivada y no en otra, sin que se aprecien diferencias topográficas. En algunos casos, esto puede ser debido a las diferencias en el tipo de suelo, al afectar a la conducción y al almacenamiento de calor. Naturalmente, el manejo del suelo y la cobertura del cultivo también pueden afectar al almacenamiento de calor y al daño que se produce. Aunque normalmente no se cita como factor de selección del emplazamiento, la proximidad a gramíneas

y otras plantas con concentraciones elevadas de bacterias formadoras de núcleos del hielo pueden ser un factor que afecte al daño por helada.

#### **FACTORES QUE AFECTAN AL DRENAJE DE AIRE FRÍO**

1. Deberían eliminarse los obstáculos que impiden el drenaje de aire frío desde un cultivo pendiente abajo.
2. La nivelación de tierras puede mejorar el drenaje de aire frío y eliminar las zonas bajas donde se acumula el aire frío.
3. Las hileras de las plantaciones frutales y de los viñedos deberían orientarse a favor del drenaje natural del aire frío. Sin embargo, las ventajas que se derivan de orientar las hileras de los cultivos deben evaluarse frente a las desventajas de una mayor erosión y otros inconvenientes.
4. Minimizar las áreas en la parte superior de la pendiente, donde el aire frío puede acumularse y drenar en el cultivo. Por ejemplo, las hierbas y los rastrojos de las plantas en las áreas de la parte superior de la pendiente pueden hacer el aire más frío y favorecer el drenaje del aire frío en el cultivo.

Una característica universal de los agricultores es que son conscientes de los daños potenciales por helada y que estudian a fondo los emplazamientos antes de implantar un cultivo que pueda ser dañado por temperaturas bajo cero. Para algunos cultivos es deseable tener temperaturas frías (e.g. las temperaturas nocturnas frías favorecen la calidad de la uva para vino); sin embargo no es deseable tener temperaturas bajo cero que causan daño por heladas. La estratagema es disponer de un buen microclima para una producción de buena calidad sin que se produzcan daños debido a las temperaturas que produzcan pérdidas de rendimiento. Una buena estrategia económica, si se tienen temperaturas bajo cero de forma intermitente y poco frecuente, es utilizar un método de protección activo para evitar tener daños durante las heladas al mismo tiempo que se obtiene un efecto beneficioso de las bajas temperaturas. Sin embargo, para determinar la relación eficacia-coste, el coste de la protección y las pérdidas potenciales deben equilibrarse con los retornos incrementados por un producto de alta calidad.

En general, los cultivos crecen donde las condiciones meteorológicas son favorables, y el daño potencial por heladas es con frecuencia el factor limitante. Por ejemplo los cítricos se cultivan extensamente en la zona este del Valle de San Joaquín en California (EE.UU.) ya que los daños por heladas no son frecuentes. El Valle de San Joaquín tiene unas pendientes suaves de unos 100 km desde el borde este hacia el centro del valle siendo los cítricos cultivados en la zona situada en los 30 km más hacia el este. La principal época de lluvias en la región

es de diciembre a febrero, estando muy a menudo el cielo nublado. Sin embargo, incluso en periodos no nubosos, el Valle de San Joaquín tiene tendencia a la formación de niebla. Tanto la cobertura por nubes como la niebla incrementan la radiación de onda larga hacia abajo y reducen las pérdidas de radiación neta. La ocurrencia de una helada de radiación es poco frecuente en condiciones de niebla o de nubosidad ya que las pérdidas de radiación neta son menores. En raras ocasiones las temperaturas bajo cero ocurren durante condiciones de nubosidad asociadas con una helada de advección. No obstante, las heladas de radiación son más frecuentes en la zona que las heladas de advección.

Además de que las nubes y la niebla reduzcan la frecuencia de las temperaturas bajo cero, el aire frío también drena en dirección al oeste fuera del área de cítricos. La elevación es más alta en el este (i.e. donde se cultivan los cítricos) que en el fondo del valle hacia el oeste de la región. A escala regional, el aire frío drena lentamente hacia el oeste. Consecuentemente, un agricultor sin experiencia intentaría plantar cítricos más hacia el oeste donde el daño potencial por heladas es considerablemente más alto debido al drenaje de aire frío a escala regional.

Una tercera razón para cultivar cítricos en la zona es que la niebla se levanta por la tarde, y por tanto la luz del Sol puede incidir en el suelo y en las plantas para almacenar algo de calor durante el día. Esto no sería el caso en la cara oeste del valle ya que una cadena de montañas hacia el oeste bloquea la radiación hacia el final del atardecer. En la cara este del valle, la pendiente del terreno mira generalmente hacia el oeste, y por tanto durante la tarde la recepción de energía solar por unidad de superficie es mejor en la cara este del valle que en la cara oeste.

El primer paso a la hora de seleccionar un emplazamiento para realizar una nueva plantación es hablar con la gente del lugar sobre los cultivos y variedades que son apropiadas en la zona. Los cultivadores locales y los agentes de extensión tienen una acertada impresión sobre qué lugares pueden ser problemáticos. Se debería evitar plantar en áreas donde se forman en primer lugar las nieblas bajas cercanas al suelo. Las nieblas más cercanas al suelo son nieblas de radiación, y como las heladas de radiación, tienden a formarse en las zonas más frías. Esto no debería confundirse con las nieblas de inversión altas que se forman por encima de la superficie, o las nieblas de vapor que llegan del océano o de grandes superficies de agua. Las áreas con una inversión térmica alta o las nieblas de vapor son en realidad menos propensas a causar daño por helada.

El siguiente paso para identificar un buen emplazamiento para establecer una plantación es caracterizar la probabilidad y el riesgo de daño por helada observando los datos climáticos. Una buena fuente de datos climáticos es la base de datos de FAO CLICOM, a la cual se puede acceder a través del sitio web de

la FAO ([http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_climwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html)). En las localidades donde no se dispone de datos climáticos o son muy limitados, vale la pena llevar a cabo un estudio de las temperaturas mínimas en el lugar donde se va a realizar la plantación durante al menos una estación de heladas antes de arriesgar pérdidas debidas al daño por helada. Idealmente, se debería registrar la temperatura del aire cada día con un sensor, que registre de forma continua, instalado dentro de una garita meteorológica estándar tipo Stevenson (Figura 6.1). Una ventaja de utilizar una garita Stevenson es que las temperaturas son entonces comparables con los registros climáticos de los servicios meteorológicos que

FIGURA 6.1

**Garita meteorológica Stevenson**



Foto: J P de Melo-Abreu (USA)

normalmente utilizan garitas Stevenson para proteger los instrumentos. Si posible, es preferible medir, también es deseable medir la humedad relativa y la velocidad y dirección del viento. En décadas recientes, normalmente se utilizan sensores electrónicos. Si posible, es preferible medir de temperatura y de humedad y es preferible una protección de la radiación tipo Gill (Figura 6.2) más que una garita Stevenson. Como no son caros y son fáciles de construir, a menudo se utilizan las protecciones meteorológicas para heladas en frutales para medidas de temperatura nocturna durante las heladas (Figura 6.3). Independientemente de la protección del sensor, los sensores de temperatura están normalmente montados entre 1,25 y 2,0 m de altura por encima del nivel del suelo. La altura escogida debería ser la misma que la utilizada por el servicio meteorológico local. Algunos meteorólogos y agricultores utilizan un “índice actinotérmico”, que es simplemente un termómetro sin protección montado en un soporte de madera (Durand, 1965; Perraudin, 1965; Schereiber, 1965). El termómetro se monta a 0,1 m de altura para los cultivos bajos y a 0,5 m de altura

FIGURA 6.2

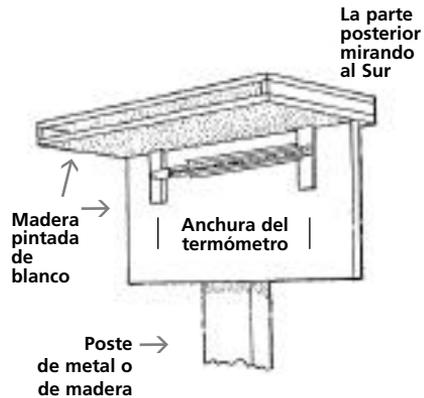
**Pantalla de protección de la radiación tipo Gill para proteger los sensores de temperatura y de humedad relativa de la radiación de onda corta**



Foto: J P de Mélo-Abreu (ISA)

FIGURA 6.3

**Protección meteorológica para registrar la temperatura de las heladas en frutales para ser utilizada en el hemisferio Norte. En el hemisferio Sur debería girarse hacia el Norte**



para los cultivos más altos. Como los termómetros no están protegidos, se pretende que la temperatura sea cercana a la de las ramas de las plantas. Para evaluar la conveniencia de un emplazamiento, recoger datos nocturnos de 10 a 20 noches frías y despejadas proporcionaría suficiente información para valorar el potencial de daño por helada (Bouchet, 1965).

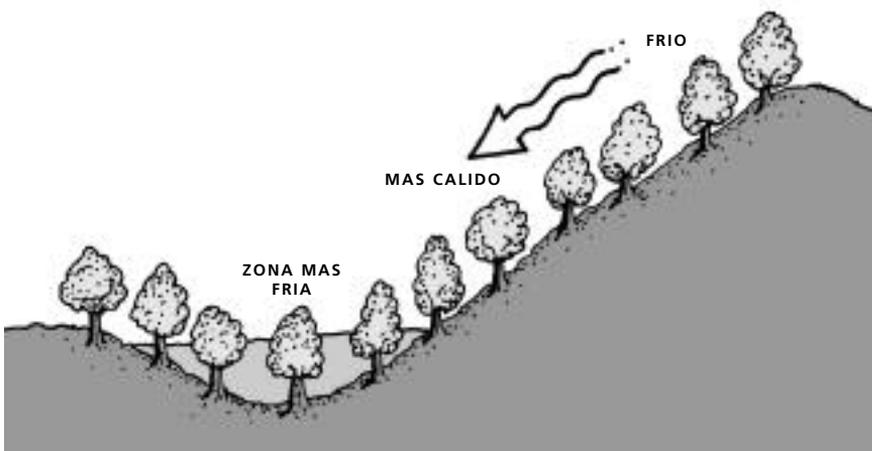
### Drenaje de aire frío

El aire frío es más denso que el aire caliente, y por ello fluye ladera abajo y se acumula en las zonas más bajas como el agua (Figura 6.4). En consecuencia, se deben evitar las partes más bajas, por tanto más frías, a no ser que se disponga como estrategia de manejo a largo plazo de métodos de protección activa con una relación coste efectividad adecuada. Esto es importante tanto a escala regional como a escala de parcela.

Quizás uno de los mejores ejemplos de la protección contra el drenaje de aire frío a escala regional se encuentra en un campo de almendros al sur de Sacramento, California. El campo está junto a un río y está completamente rodeado por una cerca alta y sólida de madera (Figura 6.5). Al estar situado junto al río, el campo está en una zona baja del valle y donde son habituales las temperaturas frías. La cerca se construyó alrededor de los árboles como un dique contra el aire frío para proteger el cultivo del daño por helada. Además de la cerca contra el aire frío, el cultivo también dispone de ventiladores como un método de protección activo.

FIGURA 6.4

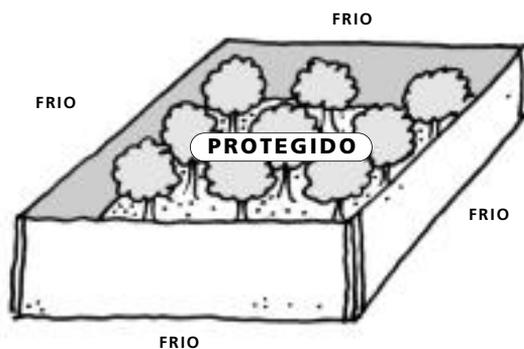
**El aire frío fluye ladera abajo como el agua**



*El aire frío drena hacia abajo por la ladera y se establece en las zonas más bajas, donde hay más probabilidad de daño por helada.*

FIGURA 6.5

**Bloqueo del aire frío**



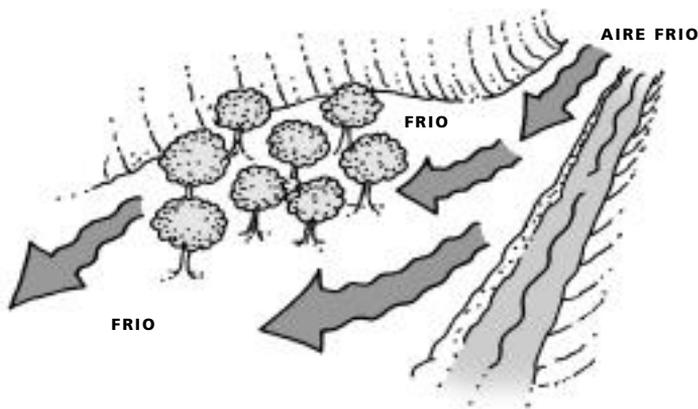
*Cerca sólida construida alrededor de un campo de frutales para mantener fuera el aire frío.*

A veces se utilizan árboles, arbustos, terraplenes, montones de heno y vallas, para controlar el flujo de aire en las áreas agrícolas próximas y el propio emplazamiento puede afectar el potencial de daño por helada. Si las vallas sólidas, los setos, los edificios, las carreteras elevadas, etc. bloquean el drenaje de aire frío desde un campo cultivado, el aire frío se embalsará detrás de la obstrucción causando potencialmente un daño por helada más grande. Este fenómeno ocurre a menudo cuando la topografía local se modifica debido a la construcción de una carretera o de un edificio. Un estudio en detalle de los mapas topográficos puede, a menudo, prevenir de problemas mayores debido al daño por heladas. También puede dar información, el uso de bombas de humo o de otros equipos de producción de humo para estudiar el flujo de aire frío pendiente abajo durante la noche. Estos estudios necesitan realizarse en noches con características de una helada de radiación, pero no necesariamente cuando la temperatura está bajo cero. Una vez que se conoce el patrón del flujo del drenaje de aire frío, entonces la colocación apropiada de obstáculos para la desviación del aire frío puede proporcionar un alto grado de protección.

Hay ejemplos donde desviar el drenaje de aire frío ha conducido a una protección efectiva contra las heladas. Un buen ejemplo es el de un productor de flor cortada de gran valor. El cultivo estaba localizado en un cañón a un lado de un río (Figura 6.6). En la cara opuesta del río desde el campo cultivado, las paredes del cañón eran escarpadas. En la zona cultivada del río, el suelo era relativamente llano, pero en la zona opuesta del campo desde el río la pared del

cañón de nuevo toma una pendiente escarpada hacia arriba. Pendiente arriba desde el campo, el cañón se estrecha hasta donde solamente el río atraviesa el cañón. Pendiente arriba desde allí, el cañón se ensancha hacia un área amplia relativamente llana. Durante las noches de helada, el denso aire frío se acumula sobre el área llana arriba de la pendiente de la zona estrecha del cañón. Mientras el viento predominante fluya suavemente pendiente arriba, el aire frío se mantendría en la zona pendiente arriba del cañón. Sin embargo, si se para el viento, al aire frío drenaría a través de la zona estrecha hacia el campo cultivado (Figura 6.6).

FIGURA 6.6

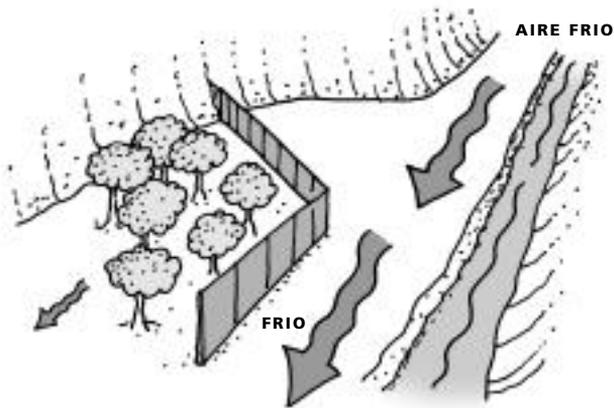
**Drenaje de aire frío**

*El aire frío drena pendiente abajo a lo largo del valle de un río y dentro del campo de cultivo.*

Después de estudiar los mapas topográficos del área, se decidió que construir una pared en el suelo o una cerca pendiente arriba del cultivo a lo largo del río contendría el flujo de aire frío y se movería alrededor del campo (Figura 6.7). Una vez construida la pared para desviar el aire frío, el agricultor fue capaz de reducir de forma importante el daño por helada al cultivo. La pared para desviar el aire frío puede realizarse acumulando suelo, construyendo una cerca, o simplemente apilando balas de heno.

FIGURA 6.7

**Aire frío desviado**



*Flujo del drenaje de aire frío controlado utilizando una pared construida.*

**Pendiente y orientación**

En general, plantar cultivos de hoja caduca en pendientes no encaradas hacia el Sol retrasa la floración en primavera y, con frecuencia, proporcionan una protección considerable. La probabilidad de congelación disminuye rápidamente con el tiempo en primavera y los cultivos de hoja caduca en las pendientes encaradas al Sol florecerán más temprano. Como resultado, los cultivos de hoja caduca en las pendientes encaradas al Sol son más susceptibles al daño por helada. Los árboles subtropicales (e.g. cítricos y aguacates) son dañados por la congelación independientemente de la estación, por ello es mejor plantarlos en las pendientes encaradas al Sol donde el suelo y el cultivo pueden recibir y almacenar más energía directa procedente del Sol.

**Tipo de suelo y contenido de agua**

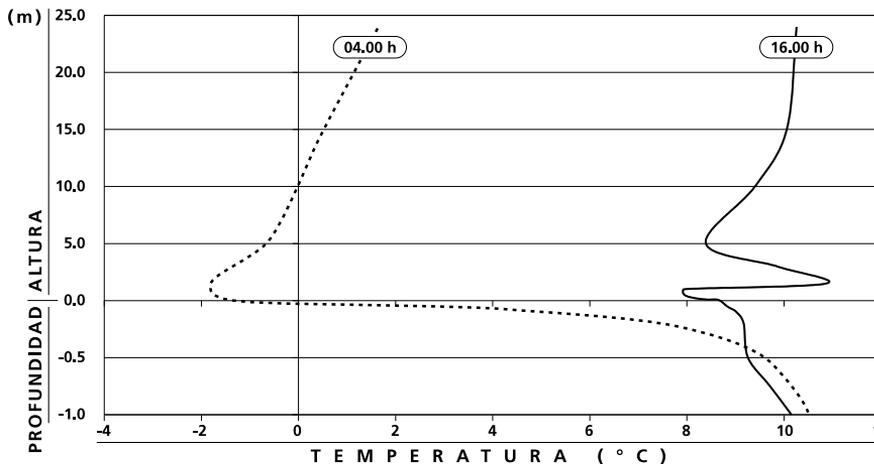
Los agricultores, en unas mismas condiciones topográficas y de clima general, encuentran, a menudo, diferencias en el daño provocado por las heladas que parecen inexplicables. Entre las posibles explicaciones se incluyen las diferencias en el tipo de suelo, en el contenido de agua en el suelo y en las concentraciones de bacterias formadoras de núcleos de hielo. El tipo de suelo es claramente uno de los aspectos a considerar en la selección del emplazamiento. Por ejemplo, las zonas pantanosas, recientemente drenadas, son altamente susceptibles a las temperaturas bajo cero (Blanc *et al.* 1963). Los suelos secos altamente orgánicos cerca de la

superficie tienen una conductividad térmica y capacidad de calor reducidas, lo que significa que se producirán unas temperaturas mínimas más frías. En otro ejemplo, Valmari (1966) indica que la temperatura mínima aumenta de 1 °C a 3 °C cuando el suelo mineral se mezcla con suelo orgánico. Claramente, el tipo de suelo afecta a las temperaturas mínimas, y los factores involucrados se discuten en este capítulo.

La Figura 6.8 muestra un perfil de temperatura del suelo cerca de la puesta de Sol (16.00 h) y a las 04.00 h durante una noche de helada en primavera en una plantación de manzanos en el Norte de Portugal. Hubo pocos cambios en la temperatura por debajo de los 0,3 m de profundidad en el suelo y la mayor parte de los cambios de temperatura se dieron cerca de la superficie. La temperatura del aire hasta 1,5 m de altura a las 04.00 h era casi isotérmica, pero por encima de este nivel aumentó con la altura hasta unos 2 °C a 24 m de altura.

FIGURA 6.8

**Perfiles de temperatura del suelo y del aire en una plantación de manzanos cerca de Bragança, Portugal, cuando la temperatura de la superficie estaba en su máximo y mínimo. Observar que la escala de profundidad es distinta de la escala de altura**



En general, los suelos con conductividad térmica y capacidad de calor más altas tienen un intervalo de temperatura en la superficie más pequeño (i.e. la diferencia entre la temperatura máxima y mínima en la superficie es más pequeña). Cuando el intervalo de temperatura es más pequeño, la temperatura mínima en la superficie y la temperatura del aire en el cultivo son normalmente más altas.

La conducción y el almacenamiento de calor en el suelo dependen de la densidad aparente, de la capacidad de calor, de la conductividad térmica y finalmente de la difusividad. La densidad aparente del suelo se expresa  $\text{kg m}^{-3}$ . Se denomina “aparente” porque el suelo es una mezcla de minerales, de material orgánico, de agua y de espacios de aire, todos ellos con distintas características. El calor específico de un suelo ( $\text{J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) es la energía necesaria para elevar en  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $1 \text{ K}$ ),  $1 \text{ kg}$  de suelo. Si se multiplica la densidad aparente por el calor específico da la capacidad de calor volumétrica ( $C_V$ ) en  $\text{J m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , que es la energía en julios necesaria para aumentar  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $1 \text{ K}$ ) la temperatura de un metro cúbico de suelo.

La conductividad térmica ( $K_s$ ) en  $\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  es un factor que relaciona la densidad del flujo de calor en el suelo ( $G$ ) en  $\text{W m}^{-2}$  con el gradiente de temperatura en el suelo.

$$G = -K_s \left( \frac{T_2 - T_1}{z_2 - z_1} \right) \text{ W m}^{-2} \quad \text{Ec. 6.1}$$

donde  $T_1$  es la temperatura a la profundidad  $z_1$  y  $T_2$  es la temperatura a la profundidad  $z_2$ , que está más alejada de la superficie. El signo menos se incluye para hacer  $G$  positivo cuando el flujo es hacia abajo. La conductividad térmica es una medida de cómo de rápido se transfiere el calor a través del suelo y la capacidad de calor es una medida de cuánta energía se necesita para aumentar la temperatura en  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . La difusividad ( $\kappa_T$ ) en  $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ , que es una medida de cómo de rápida la temperatura se propagará a través del suelo, viene dada por:

$$\kappa_T = \frac{K_s}{C_V} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \quad \text{Ec. 6.2}$$

Una estimación de los intervalos de temperatura en la superficie del suelo ( $R_o$ ) en  $^\circ\text{C}$ , para un suelo con propiedades uniformes, viene dado por:

$$R_o = R_z \exp \left[ z \left( \frac{\pi}{\kappa_T p} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{Ec. 6.3}$$

donde ( $R_z$ ) es el intervalo de temperatura en  $^\circ\text{C}$  a la profundidad  $z$  en metros y ( $p$ ) es el período de la oscilación en segundos (=  $86\,400 \text{ s}$  por día). Para un valor fijado de  $R_z$ ,  $R_o$  disminuye conforme aumenta la magnitud de  $\kappa_T$ . Para la protección contra las heladas, el objetivo es minimizar el intervalo de  $R_o$ , que se consigue al maximizar  $\kappa_T$ . Por ello, los suelos con una alta  $\kappa_T$  son menos propensos al daño por heladas y el contenido de agua en el suelo debería

manejarse para alcanzar la  $\kappa_T$  más alta posible durante los periodos sensibles de helada. En la Figura 6.9 se muestran ejemplos de características térmicas para suelos arenosos, arcillosos y orgánicos (turbas) (Monteith y Unsworth, 1990).

Los suelos de color oscuro, pesados y húmedos tienden a absorber más luz solar pero tienen una conductividad térmica más baja que los suelos arenosos más ligeros (Figura 6.9). En consecuencia, la difusividad es menor y son más susceptibles al daño por heladas. La capacidad de calor de un suelo orgánico (turba) cambia considerablemente, siendo menor que la de un suelo arenoso y arcilloso cuando están secos y mayor que cuando están húmedos. Sin embargo, la conductividad térmica es bastante baja independientemente del contenido de agua en el suelo. En consecuencia, la difusividad es baja y los cultivos en suelos orgánicos son considerablemente más susceptibles a los daños por heladas. Cuando se selecciona un emplazamiento en una región propensa a las heladas, hay que evitar plantar en los suelos orgánicos (turbas).

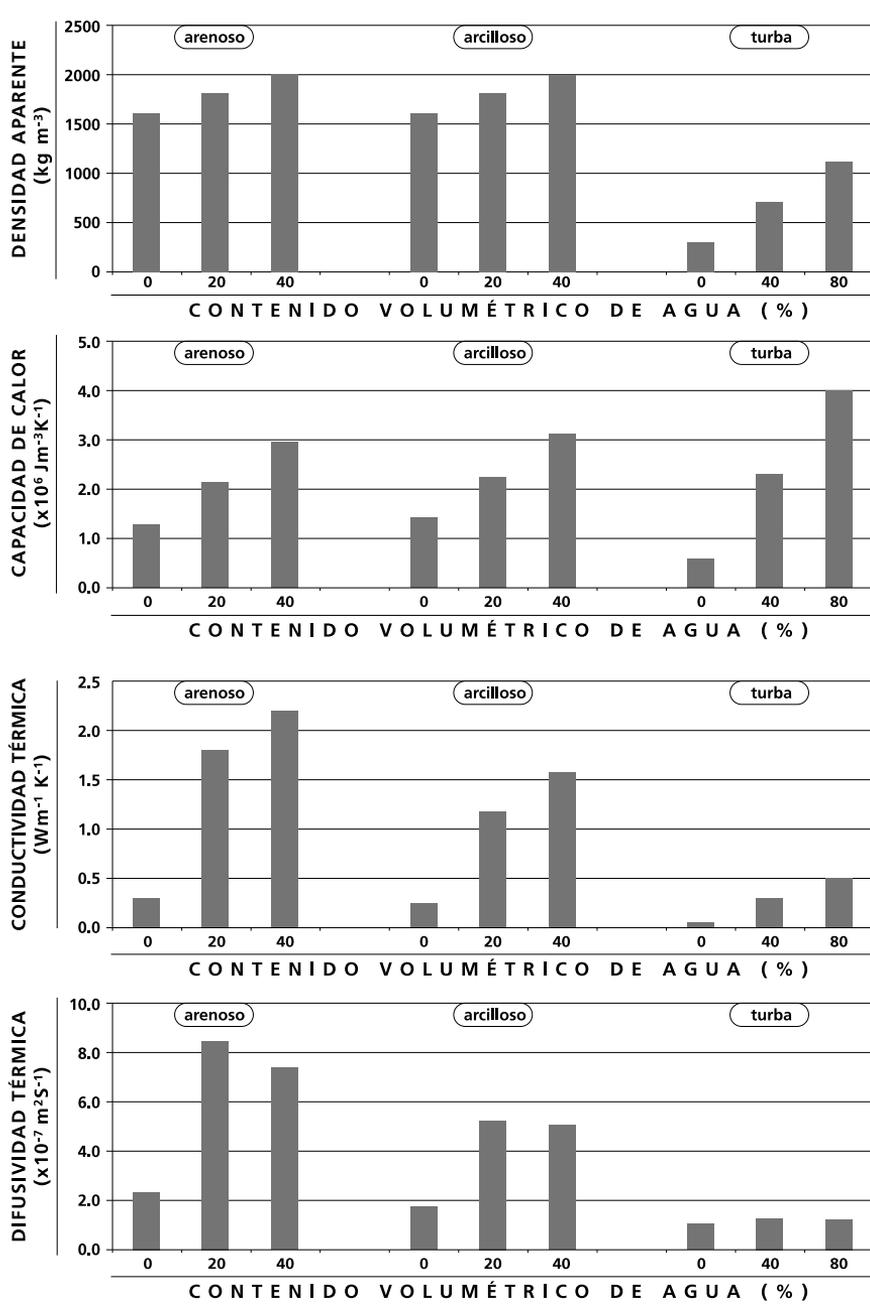
Observe que la difusividad es más alta para los suelos arenosos y arcillosos con un contenido volumétrico de agua del 20% (Figura 6.9). Esto implica que el calor se transfiere y se almacena más eficientemente cuando el suelo está húmedo pero no saturado. Por ello, si el suelo se humedece para mejorar el almacenamiento de calor, antes de una helada, debería humedecerse un día o dos con antelación para permitir el drenaje de agua gravitacional desde la capa de la superficie. Hay pocos cambios en la temperatura del suelo por debajo de los 0,3 m en una base diaria (Figura 6.8), por ello no hay ninguna ventaja en regar a profundidades más grandes. Como recomendación práctica, se debería intentar mantener los 0,3 m superiores del suelo cerca de la capacidad de campo, y por ello hay que permitir el drenaje 1-2 días antes de la helada.

A pesar de que capturar y almacenar más calor en el suelo es beneficioso para algunos cultivos (e.g. cítricos), puede ser más problemático para los árboles de hoja caduca y para las vides. Las plantas de hoja caduca cultivadas en estos suelos tienden a florecer más pronto en primavera, cuando hay una probabilidad más grande de temperaturas bajo cero. Una vez plantados el tipo de suelo en una plantación frutal o viñedo no puede cambiarse, pero plantar variedades con unas necesidades de frío más grandes retrasará la floración y puede reducir el riesgo de daño por helada de los frutales plantados en los suelos oscuros y pesados. Después de realizar la plantación, el suelo debería manejarse para mantener la conductividad térmica y la capacidad de calor tan altas como sea posible, lo cual mantendrá la temperatura mínima de la superficie del suelo lo más alta posible.

Un método sencillo para determinar el mejor manejo del agua del suelo para ser usado como protección contra las heladas es medir la temperatura mínima de la

FIGURA 6.9

**Propiedades térmicas típicas de suelos arenosos, arcillosos y turbas (orgánicos) (basado en Monteith y Unsworth, 1990)**



superficie del suelo cuando el suelo está expuesto a diferentes manejos. Para llevar a cabo el experimento se necesitaran varios termómetros de registro de mínimas. Cada día durante 5–7 días, se humedece una parcela distinta de suelo de 1,0 m<sup>2</sup> o más hasta unos 30 cm de profundidad. Después, durante varios días y noches con cielos relativamente despejados, se realiza un seguimiento de las temperaturas mínimas observadas de la superficie utilizando termómetros dispuestos horizontalmente en la superficie del suelo de cada parcela. La parcela que tenga la temperatura mínima observada más alta tiene el mejor contenido de agua para ese suelo. Hay que anotar el número de días desde que se humedeció el suelo que dio el mejor resultado. Entonces, si se pronostica una helada, hay que humedecer el suelo con esos días de antelación para alcanzar la mejor protección.

### SELECCIÓN DE PLANTAS

Hay diferencias muy grandes en cuanto a la sensibilidad al daño por helada entre las variedades de los cultivos, y los asesores locales de los agricultores a menudo tienen información sobre qué variedades son más o menos propensas al daño por helada. De forma similar, algunos porta-injertos afectan a la tolerancia a las heladas de los cítricos (Powell y Himelrick, 2000). Se sabe que algunos porta-injertos retrasan la floración de los árboles de hoja caduca y esto puede ser beneficioso en las regiones propensas a las heladas. Por ejemplo, el porta-injerto de melocotonero Siberian C es resistente y bien adaptado a las condiciones de frío, y los porta-injertos Boone Country y Bailey, desarrollados en la zona centro de Norte América, son porta-injertos de floración tardía para los melocotoneros (Faust, 1989), que salen de la dormancia lentamente. En la industria de los cítricos, es bien conocido que las naranjas navel son más resistentes a las heladas sobre los porta-injertos trifoliados que cuando se cultivan sobre el porta-injerto de naranjo dulce. El porta-injerto limón rugoso (*Citrus jambhiri* Lush.) es el más frágil, el naranjo dulce es menos frágil, el naranjo amargo es bastante resistente, y el trifoliado es muy resistente a las heladas.

Es importante escoger plantas que evitan el daño desarrollándose y madurando durante periodos con riesgo bajo, y seleccionar plantas que son más tolerantes a la congelación. Por ejemplo, los árboles de hoja caduca y las vides normalmente no sufren daño por helada en los troncos, ramas o yemas dormidas. El hecho de seleccionar plantas de hoja caduca que tienen el desborre y la floración retrasadas, proporciona una buena protección ya que la probabilidad y el riesgo de daño por helada disminuyen rápidamente en primavera. En los cítricos, puede ser que la congelación no sea evitable en una localidad en particular, pero seleccionar variedades más resistentes aumenta la tolerancia a la temperatura bajo cero (Ikeda, 1982).

Cuando se selecciona un cultivo o una variedad para crecer en una localidad particular, debería considerarse el momento de los estadios sensibles y la temperatura crítica de daño ( $T_c$ ) relativa a la probabilidad y al riesgo de temperatura bajo cero. Para los cultivos herbáceos, es importante determinar la fecha de plantación que minimiza el potencial de temperatura bajo cero. En algunos casos, los cultivos herbáceos no se plantan directamente en el exterior, sino que se plantan en ambientes protegidos y se transplantan al campo una vez que el daño de congelación ha pasado. Para los cultivos de hoja caduca y cultivos subtropicales, es de utilidad conocer la probabilidad y el riesgo de temperatura perjudicial durante el desarrollo temprano. Con este libro se incluyen algunos programas Excel sobre probabilidad y riesgo, y su utilización se discute en la sección de probabilidad y riesgo.

Si no se puede evitar los periodos con una elevada probabilidad de congelación, entonces las plantas son elegidas basándose en su tolerancia a las temperaturas bajo cero. Por ejemplo, los cítricos son más tolerantes a las temperaturas de congelación que los limoneros, y por ello plantar naranjos es más sensato en áreas sujetas a estas temperaturas. También es importante la selección de variedades de hoja caduca a plantar dentro de una región en lugares con diferente orientación. Por ejemplo, las variedades de floración temprana pueden plantarse en las pendientes orientadas en la umbría, que retrasa la floración, mientras que las variedades de floración tardía puede ser mejor plantarlas en las solanas.

### ÁRBOLES QUE DAN COBERTURA

En climas fríos, la gente aparca sus coches bajo los árboles, durante la noche, para mantenerlos más calientes y evitar la formación de escarcha en las ventanas. Las temperaturas son más cálidas porque los árboles están más calientes que el cielo despejado y por ello la radiación de onda larga desde los árboles es más grande que desde el cielo. Un planteamiento similar se utiliza en ocasiones para prevenir el daño por helada a los cultivos. Por ejemplo, en el desierto del Sur de California, los agricultores plantan cultivos intercalados de cítricos y de palmeras datileras, parcialmente porque las palmeras datileras dan alguna protección contra las heladas a los cítricos. Como los dátiles también son un producto vendible, es un método eficiente para proporcionar protección contra las heladas sin experimentar pérdidas económicas.

Otro ejemplo sobre el uso de cubiertas vegetales para la protección se encuentra en Alabama donde los agricultores intercalan pinos en las plantaciones de pequeños mandarinos Satsuma (Powell y Himelrick, 2000). De nuevo, la protección contra las heladas proviene de favorecer la radiación de onda larga

hacia abajo desde los árboles. También, un método usual para proporcionar protección contra el daño por helada a las plantas de café en Brasil es intercalar las plantas con árboles que dan sombra para reducir las pérdidas de radiación neta. Por ejemplo, Baggio *et al.* (1997) informaban sobre una mejora desde el 50% al 10% de daño en hoja cuando árboles de sombreado espaciados a  $10 \times 14$  m y  $8 \times 10$  m fueron intercalados con las plantas de café en plantaciones en el Sur del Brasil. De forma similar, Caramori, Androcioli Filho y Leal (1996) encontraron buenos resultados cuando se intercaló *Mimosa scabrella* Benth. con plantas de café para protegerlas contra las heladas de radiación.

### MANEJO DE LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS

Se sabe que la fertilización nitrogenada y de otros nutrientes afecta a la sensibilidad al daño por helada. En general, los árboles enfermos son más susceptibles al daño y la fertilización mejora la salud de las plantas. Los árboles que no están adecuadamente fertilizados tienden a perder sus hojas más temprano en otoño, la floración es más temprana en primavera y aumenta la susceptibilidad al daño de las yemas por heladas. Powell y Himelrick (2000) recomendaban la poda en verano y/o la fertilización para mejorar el vigor en los melocotoneros, la fertilización en verano para los arándanos, pero no recomendaban la fertilización en verano para manzanos y perales.

La resistencia al daño por helada aumenta cuando las plantas acumulan fotosintatos en sus tejidos sensibles (Proebsting, 1978). En consecuencia, una buena nutrición y un buen estado sanitario de las plantas favorecen la aclimatación y la resistencia a la congelación (Alden y Hermann, 1971; Bagdonas, Georg y Gerber, 1978). Sin embargo, no está clara la relación entre nutrientes específicos y el aumento de la resistencia al daño por helada. Los ataques de parásitos, la defoliación, cosechas grandes y el retraso en las cosechas también pueden aumentar el daño por helada. Después del daño por helada, los árboles son más susceptibles al daño por insectos.

En general, el nitrógeno aumenta la susceptibilidad al daño por helada (Alden y Hermann, 1971; Bagdonas, Georg y Gerber, 1978). Sin embargo, Valmari (1966) encontró que las patatas eran menos sensibles a la congelación cuando la aplicación de fertilizante nitrogenado condujo a un crecimiento vegetativo exuberante antes de la helada. Bagdonas, Georg y Gerber (1978) citaban estudios que indican que plantas de judías verdes aumentaron la resistencia al daño por helada cuando se daban dosis altas de nitratos. Sin embargo, el aumento de tolerancia pudo resultar del hecho que las plantas más grandes tenían las vainas más alejadas de suelo donde la temperatura era menos fría. Para favorecer el

endurecimiento de las plantas, hay que evitar las aplicaciones de fertilizante nitrogenado al final del verano o muy pronto en otoño. El crecimiento nuevo tiende a tener menos solutos que las partes de las plantas más viejas que se han endurecido. Como los solutos en el agua contribuyen a disminuir el punto de congelación, cualquier actividad de manejo que favorezca el crecimiento, disminuye el contenido de solutos y aumenta la sensibilidad a la congelación.

Es conocido que el fósforo mejora la aclimatación de las plantas, pero también intensifica el crecimiento y el crecimiento nuevo es más sensible a la congelación (Bagdonas, Georg y Gerber, 1978). Sin embargo, el fósforo también es importante para la división celular y por eso es importante para la recuperación de los tejidos después de la congelación. Muchas variedades con mayor tolerancia a las heladas tienen una absorción más alta de fósforo en suelos fríos, lo que conduce a la aclimatación (Alden y Hermann, 1971).

El potasio tiene un efecto favorable en la regulación hídrica y en la fotosíntesis de las plantas. Como el daño por helada a menudo resulta de la deshidratación del protoplasma, el aumento de potasio puede conducir a una mejor fotosíntesis y aclimatación. Sin embargo, los investigadores están divididos sobre los beneficios del potasio en la protección contra las heladas (Alden y Hermann, 1971; Ventskevich, 1958; Bagdonas, Georg y Gerber, 1978).

### **PODA ADECUADA**

La poda favorece el nuevo crecimiento de los árboles, por ello se recomienda la poda tardía para los árboles de hoja caduca y para los viñedos. Retrasar la poda de los melocotoneros, durante la yema rosa o más tarde, reduce la muerte invernal de las yemas de la fruta y retrasa la floración (Powell y Himelrick, 2000). La poda tardía resulta en un total de yemas vivas más alto y un retraso de la floración. En zonas donde la temperatura de invierno es consistentemente bajo cero, la poda temprana permite la entrada de microorganismos patógenos a través de los cortes y acelera el crecimiento cerca de esos cortes (Savage, Jensen y Hayden, 1976).

Si las heladas dañan las yemas activadas por una poda temprana, todavía está disponible el recurso madera para la producción cuando se practica la doble poda (Blanc *et al.* 1963; Bouchet, 1965). Powell y Himelrick (2000) recomiendan podar primero las ramas más bajas y después, una vez que el daño por helada ha pasado, podar las ramas más altas. En una helada de radiación, el daño normalmente ocurre de abajo a arriba en las plantaciones de árboles de hoja caduca. En consecuencia, si se produce una helada, esta práctica mejorará las oportunidades de un buen cultivo.

Podar las cepas para subir más el fruto por encima del suelo proporciona alguna protección contra las heladas porque normalmente la temperatura aumenta con la altura por encima del suelo durante las noches de helada de radiación. En algunos casos, subir el fruto unos 0,3 a 0,5 m puede aumentar la temperatura en 1 °C o 2 °C. La densidad de la cubierta y la poda pueden afectar a la sensibilidad a las heladas de los árboles de hoja caduca. Las cubiertas muy cerradas con alta densidad aumentan indirectamente la sensibilidad al daño por helada por la reducción de la fotosíntesis y por lo tanto la acumulación de azúcar en la parte más baja de la cubierta donde hace más frío.

### **ENFRIAR PARA RETRASAR LA FLORACIÓN**

Es bien conocido que hacer funcionar los aspersores durante los días cálidos en invierno puede retrasar la floración y con ello proporcionar una medida de protección contra las heladas (Anderson *et al.*, 1973; Proebsting, 1975). Los aspersores enfrían el cultivo debido a que la evaporación convierte el calor sensible en calor latente, lo cual produce la caída de la temperatura. La probabilidad de temperaturas bajo cero en primavera disminuye de forma importante durante periodos cortos de tiempo, por ello enfriar los cultivos para retrasar la floración disminuye las probabilidades de daño por helada.

La investigación en varias especies de árboles de hoja caduca ha demostrado que es posible el retraso de la floración en dos semanas o más aplicando la aspersión desde el final del reposo hasta la floración siempre que la temperatura del aire está por encima de 7 °C (Powell y Himelrick, 2000). Por ejemplo, Anderson *et al.* (1973) publicaron retrasos en la apertura de las yemas de 15 y 17 días para cerezos y manzanos, respectivamente, cuando se aplicó riego por aspersión a los árboles siempre que la temperatura del aire excedía los 6,2 °C entre la interrupción del reposo y el desborre. La aplicación de riego por aspersión para retrasar la floración se ha aconsejado como un método para retrasar la floración de los viñedos (Schultz y Weaver, 1977). Sin embargo, los beneficios de la aspersión dependen tanto de la humedad como de la temperatura. Cuando los aspersores están funcionando, la temperatura caerá cerca de la temperatura del bulbo húmedo, por ello hay poco beneficio en intentar enfriar mediante la aspersión en los ambientes húmedos donde la temperatura del punto de rocío está cercana a la temperatura del aire.

Aunque la investigación ha demostrado que la floración de los árboles frutales se retrasa con el funcionamiento de los aspersores, Powell y Himelrick (2000) observaron que el método no era ampliamente adoptado porque hay reducciones en la producción de los cultivos que no son bien entendidas (Powell y Himelrick, 2000).

Evans (2000) también publicó el uso de los aspersores para el retraso de la floración en manzanos y en melocotoneros. Sin embargo, recomendó no usar el procedimiento porque aunque la floración se retrasa el aumento de la sensibilidad de las yemas al daño por las heladas contrarresta los beneficios de retrasar la floración. Evans observó que las yemas recobran la resistencia después de ser humedecidas si se dejan secar durante un periodo frío. Aunque no se conocen investigaciones sobre el tema, otra posibilidad puede ser nebulizar el aire más que utilizar aspersores. Esto podría enfriar el aire sin añadir agua al suelo. Sin embargo, esto podría ser o no efectivo desde el punto de vista del coste dependiendo de la frecuencia e intensidad de la congelación en el área.

### **PRODUCTOS QUÍMICOS PARA RETRASAR LA FLORACIÓN**

Los crioprotectores y los antitranspirantes se venden y se usan como protección contra el daño por helada. Sin embargo, no se ha encontrado que ninguno de estos materiales proporcione de una forma consistente protección a las yemas florales, a las flores, a las frutas pequeñas o a los frutos secos pequeños. El regulador del crecimiento que libera etileno “Etefón” aumenta la resistencia de las yemas y retrasa la floración de 4 a 7 días si se aplica pronto en otoño al comienzo del enfriamiento (Powell y Himelrick, 2000). Se ha utilizado en melocotoneros y cerezos. El ácido giberélico retrasa la floración de algunos cultivos, pero se necesitan aplicaciones múltiples y es caro. Se sabe que las aplicaciones de giberelinas o de ácido  $\alpha$ -naftalenacético durante los días cálidos a finales de invierno y en primavera retrasan la salida de hojas (Nigond, 1960; Schultz y Weaver, 1977).

El utilizar reguladores de crecimiento para reducir la actividad del cambium y prolongar la dormancia ayuda tanto a los árboles de hoja perenne como a los árboles de hoja caduca a tolerar las temperaturas bajo cero. Está generalmente aceptado que un retraso del crecimiento reduce el alargamiento de las células. Además, las células más pequeñas tienen concentraciones más altas de solutos, lo cual les ayuda a evitar la congelación.

### **LAS CUBIERTAS DE PLANTAS**

Las cubiertas de hileras de plantas aumentan la radiación de onda larga hacia abajo durante la noche y reducen las pérdidas de calor al aire por convección del calor (y advección). Las cubiertas deben tener un coeficiente de conducción bajo e idealmente deberían ser opacas a la radiación de onda larga. El suelo seco tiene una conductividad térmica más baja, por ello algunas veces se ha utilizado para cubrir plantas pequeñas (e.g. patatas, tomates y las plantas de café) o para proteger los

troncos de los árboles jóvenes durante periodos bajo cero de corta duración. En algunos países con inviernos severos, el suelo se amontona para cubrir el injerto de los cítricos jóvenes para proteger los troncos de las heladas (Blanc *et al.* 1963).

Las cubiertas con paja se usan, extensivamente en Suiza, para la protección contra las heladas de las vides. Sin embargo, debido a una aplicación más fácil, la paja está siendo sustituida con materiales sintéticos. Ambos tipos de recubrimientos se dejan sobre las plantas hasta que ha pasado el peligro de congelación (Peyer, 1965). Las esteras y otros materiales aislantes también se han utilizado en la India para proteger las plantas de té (*Camellia sinensis*) de la congelación (Von Legerke, 1978). En Portugal, los métodos de protección de plantas individuales incluyen (1) esteras horizontales o inclinadas para los árboles jóvenes; (2) protecciones de formas diversas para plantaciones pequeñas de cítricos o de arbustos de jardín; (3) envolturas de caña enrollada alrededor de los troncos de los árboles jóvenes; y (4) tejas, protecciones de adobe, hojas de plantas, etc., para plantas pequeñas. Para hileras de plantas, los métodos incluyen (1) esteras horizontales más grandes o inclinadas para hileras de árboles; (2) protecciones formando media cabaña con paredes verticales encaradas a la dirección de los vientos predominantes; y (3) capas de paja sobre los viveros hortícolas, donde las esteras y los abrigos utilizan materiales locales (e.g. paja, bambú, madera, tableros, heno, etc.) (Abreu, 1985).

Aunque los materiales empleados como cubiertas, en general, no son caros, la mano de obra que se necesita para su aplicación puede hacerlos prohibitivos. Generalmente, este método se utiliza únicamente en pequeñas plantaciones o sobre plantas pequeñas que no requieren una estructura sólida. A veces, se dan problemas de enfermedades debido a una mala ventilación.

Las cubiertas para hileras se utilizan a veces para la protección de cultivos de alto valor. Normalmente se utilizan los plásticos de polipropileno tejidos (woven) y no tejidos (spunbonded) y el grado de protección varía con el espesor del material (e.g. desde 1 °C para las hojas delgadas de plástico hasta 5 °C para el plástico grueso). Los plásticos blancos proporcionan algo de protección y a veces se utilizan en plantas de vivero. Normalmente no se utilizan para la protección de cultivos frutales y hortícolas. Schultz (1961) publicó que láminas de polietileno negro de 1,2 m de ancho, se utilizaron para cubrir hileras de vides y que la temperatura del aire cercana al follaje aumentó en unos 1,5 °C.

Las cubiertas de plástico transparente permiten que la luz del Sol pase a su través durante el día y hacen más lenta la pérdida de calor desde la superficie durante la noche. La radiación hacia abajo desde el cielo, durante la noche, depende de su temperatura aparente, pero cuando se cubren con plástico, la

radiación hacia abajo depende principalmente de la temperatura del plástico de la cubierta. Como las capas superiores de aire están mucho más frías que el aire cerca del suelo y el plástico tendrá una temperatura más cercana a la temperatura del aire, la radiación hacia abajo se ve favorecida cubriendo las plantas. Si se forma condensación debajo del plástico, esto liberará calor latente, calentará el plástico y proporcionará incluso más protección. Bajo condiciones de helada de advección, las cubiertas plásticas también pueden bloquear el viento y proporcionar alguna protección. Algunas características de las cubiertas para aplicar por encima de las plantas en hilera se dan en la Tabla 6.1.

Para cubrir las plantas y para sujetar el plástico se utiliza una amplia variedad de métodos. Para que las plantas no sean tocadas por las cubiertas de plástico, a veces se montan sobre unos aros. Si no, el plástico puede flotar sobre la cubierta vegetal y subir conforme el cultivo crece, pero son más probables los problemas por enfermedades. Los invernaderos de PVC se utilizan a veces para proteger a los cítricos. El plástico puede utilizarse hasta tres años dependiendo del diseño estructural y de la calidad del plástico.

Un problema común es que los requerimientos de mano de obra para instalar las cubiertas son altos y en consecuencia el valor del cultivo debe ser alto. También, las plantas se hacen menos resistentes contra la congelación y, a menudo, hay problemas con la polinización si las cubiertas no se eliminan después de la helada. Los costes de mano de obra no han fomentado la amplia expansión en el uso de las cubiertas de plástico.

Para heladas particularmente severas, los túneles o invernaderos de plástico se calientan. Los túneles se calientan utilizando agua caliente, electricidad, vapor de agua, aire caliente, etc. Las dificultades relacionadas con la ventilación y la mecanización hacen que aumente la popularidad de los túneles grandes, tanto con como sin calefacción. Las cubiertas reducen ligeramente la penetración de la luz, pero muchos materiales permiten la penetración del agua y de los pesticidas.

Caplan (1988) reportó que las cubiertas plásticas protegieron cultivos hortícolas jóvenes de temperaturas tan bajas como  $-2^{\circ}\text{C}$  durante periodos cortos de tiempo. Las cubiertas con perforaciones para la ventilación proporcionan alrededor de  $1^{\circ}\text{C}$  de protección, mientras que las cubiertas flotantes para hileras pueden proteger hasta unos  $-2^{\circ}\text{C}$ . La formación de túneles con plástico se considera la cubierta temporal más eficiente. Tiene una mayor estabilidad y resistencia al daño por viento, y puede colocarse mecánicamente. Las dimensiones varían de acuerdo con el cultivo, la amplitud de la lámina de plástico, y las restricciones vienen impuestas por la máquina de instalación y las necesidades de ventilación. En Japón, los agricultores utilizan túneles de plástico

cubiertos por esteras de paja hechas de cañas, bolsas de papel, paja de arroz y otros materiales locales obteniendo una buena protección. Han desarrollado máquinas para ondular las esteras de paja de arroz para cubrir los cítricos como protección contra las heladas (Ikeda, 1982).

TABLA 6.1

### Características de las cubiertas para la protección contra las heladas

TIPO DE CUBIERTA	PROTECCION	COMENTARIOS
Polietileno transparente (con anillas o aros)	Razonable	Económico – Mano de obra intensiva
Polietileno transparente (flotante)	Razonable	Acumulación de calor excesiva
Polietileno con cortes (slitted)	Razonable	Permite que se escape el calor – difícil de instalar
Polietileno perforado	Razonable	Acumulación de calor excesiva
Poliéster hilado “Spun bonded” (flotante)	Buena	Posible abrasivo – Coste elevado
Polipropileno hilado “Spun bonded” (flotante)	Buena	Coste elevado
Polipropileno “Extruded” (flotante)	Pobre	Económico – Se quiebra fácilmente

FUENTE: de la publicación de divulgación de la Universidad de Georgia: Cold Weather and Horticultural Crops in Georgia: Effects and Protective Measures.

### EVITAR EL LABOREO DEL SUELO

El laboreo del suelo debería evitarse durante los periodos en que se espera que las heladas puedan dañar a los cultivos. El suelo tiene muchos espacios con aire, y el aire es un pobre conductor y tiene un calor específico bajo. En consecuencia, el suelo con más espacios y más grandes tenderá a transferir y a almacenar menos calor. El laboreo tiende a crear espacios de aire en el suelo y en consecuencia hace que el suelo sea más frío. Por ejemplo, en Holanda, Smith (1975) publicó que el laboreo en primavera favorecía más los daños por helada que si el laboreo se realizaba en otoño. Si se labra un suelo, se pasa el rodillo para romper los terrones y compactar el suelo, seguido de un riego,

mejorará la transferencia y almacenamiento del calor al disminuir el tamaño de los poros del suelo y aumentar la conductividad térmica y la capacidad de calor (Brindley, Taylor y Webber, 1965).

## EL RIEGO

La conductividad térmica y el contenido de calor de los suelos están afectados de forma importante por el contenido de agua del suelo, y entre los suelos secos y los húmedos se observan diferencias considerables en la conductividad térmica y en la capacidad de calor (Figura 6.9). Casi todos los artículos sobre protección contra las heladas recomiendan mantener la capa más superficial del suelo húmeda, pero no saturada. Snyder, Paw U y Thompson (1987) recomendaban humedecer hasta una profundidad de 30 cm ya que la variación de temperatura diurna es insignificante por debajo de 30 cm. La cantidad a aplicar varía de acuerdo con el tipo de suelo y el contenido de agua previo. Normalmente, son suficientes 25 mm para suelos ligeros (arenosos) hasta 50 mm para suelos pesados (arcillosos).

En una base anual, la transferencia de calor por debajo de los 30 cm de profundidad del suelo es importante y puede afectar a la protección contra las heladas si un suelo está seco por un periodo largo de tiempo. Consecuentemente, si el suelo está seco y se espera poca precipitación antes del período de heladas, humedecer el suelo hasta una profundidad de 1,0 a 1,5 m resultará en una temperatura de la superficie del suelo más alta durante los períodos de heladas. Los agricultores a veces humedecen sus suelos antes de una noche bajo cero para oscurecer el suelo y aumentar la absorción de la radiación solar; sin embargo, hay más evaporación desde la superficie del suelo húmedo, por ello el beneficio de humedecer un suelo para oscurecerlo es normalmente compensado por el aumento de pérdida de energía por evaporación.

## ELIMINAR LAS CUBIERTAS DE LOS CULTIVOS

Cuando en una plantación frutal o en un viñedo están presentes cubiertas herbáceas o malas hierbas, más radiación solar es reflejada desde la superficie y hay más evaporación durante las horas diurnas. Como consecuencia, la cantidad de energía almacenada en el suelo durante el día es reducida por la cubierta y entonces hay menos energía disponible para la transferencia de calor hacia arriba durante la noche de helada. La vegetación también afecta a la transferencia de energía desde el suelo hasta la superficie radiante en la parte superior de la vegetación y esto puede tener un efecto en las diferencias de temperatura entre el suelo desnudo y las cubiertas vegetales. Como consecuencia, una plantación frutal o un viñedo con una cubierta herbácea o de malas hierbas es más dada al

daño por helada que una con el suelo desnudo entre las hileras (Blanc *et al.*, 1963; Bouchet, 1965; Snyder, Paw U y Thompson, 1987). En la literatura se han publicado, como efecto de las cubiertas entre las hileras, amplias variaciones en la temperatura, pero todas ellas, en general, coinciden en que la presencia de la cubierta entre las hileras aumentará el potencial de daño por helada.

Snyder y Connell (1993), con un termómetro de infrarrojos, encontraron que la temperatura superficial de los suelos desnudos estaba generalmente de 1 °C a 3 °C más alta que los suelos con una cubierta herbácea o de malas hierbas más alta de 0,05 m durante febrero y marzo. La cubierta se eliminó con un herbicida a principios de diciembre, por ello el suelo de la plantación tuvo unos dos meses para desarrollar una cubierta y mostrar diferencias de temperatura. Sin embargo, durante el invierno, la meteorología fue generalmente nubosa y con niebla. En la mayoría de días, encontraron que el suelo de la plantación frutal con la cubierta de hierbas estaba más frío, pero se encontró una excepción después de varios días de un viento fuerte y seco. El viento pareció secar la capa superficial de suelo desnudo más que la del suelo cubierto con hierbas, al disminuir la conductividad térmica e inhibir el almacenamiento de calor. Después de este periodo, el suelo desnudo estuvo más frío que el suelo cubierto por las hierbas. Consecuentemente, tras varios días de viento secante, se recomienda humedecer la superficie de un suelo desnudo para mejorar la transferencia y almacenamiento de calor.

Se estudiaron varias estrategias para el control de malas hierbas para determinar el efecto sobre la temperatura mínima a la altura del cordón (1,2 m) en la viñas en el Valle de Napa de California (Donaldson *et al.*, 1993). Los métodos incluyeron la siega, el laboreo y el uso del herbicida glifosato en post-emergencia. La siega se realizó justo antes de que se tomaran las medidas y el laboreo se realizó dependiendo de las condiciones meteorológicas y del suelo. Los herbicidas se aplicaron antes de que las malas hierbas alcanzaran los 0,15 m de altura a finales de febrero o principios de marzo. En algunos casos, se repitieron las aplicaciones de herbicida.

En la Tabla 6.2 se muestra una comparación del número de días cuando las parcelas segadas o tratadas con herbicida tenían la temperatura mínima más caliente, más fría o aproximadamente igual que las parcelas cultivadas. Los resultados indican que la siega y el laboreo tienen efectos similares sobre la temperatura mínima, siendo la siega ligeramente más fría. Sin embargo, la aplicación de herbicida para el control de las malas hierbas resultó en la misma temperatura mínima o más caliente la mayoría de días. Un análisis de frecuencias y un análisis chi-cuadrado indicó que la temperatura mínima fue generalmente 0,25 °C a 0,5 °C más alta que los otros tratamientos. En un

TABLA 6.2

**Número de días en que la siega o los tratamientos herbicidas tuvieron una temperatura mínima más cálida, igual o más fría que el tratamiento de laboreo en viñedos desde marzo hasta mayo de 1987 hasta 1989**

ANO	SIEGA			TRATAMIENTO HERBICIDA		
	más cálido	igual	más frío	más cálido	igual	más frío
1987	7	39	18	24	21	4
1988	13	44	22	58	21	1
1989	4	32	7	17	23	2

experimento distinto, Leyden y Rohrbaugh (1963) encontraron un aumento medio de 0,9 ° C en la temperatura a 1,5 m de altura en sólo una noche de helada, cuando se eliminaron las hierbas con herbicidas respecto a mantener una cubierta de hierbas en el cultivo. Como hay muchos factores meteorológicos, de suelo y de planta que afectan a la temperatura medida sobre las cubiertas de los cultivos, es imposible dar valores de protección universal relacionados con el manejo de cubiertas. Sin embargo, eliminar o minimizar las cubiertas de hierbas en las plantaciones frutales y en los viñedos se sabe que es definitivamente beneficioso. Hay muchos ejemplos de experiencias de agricultores que han tenido pérdidas severas en cultivos con cubiertas mientras que las pérdidas en los mismos cultivos sin cubierta fueron mínimas.

En el experimento de Donaldson *et al.* (1993), las diferencias en la temperatura mínima se atribuyeron al hecho de que la hierba segada se mantuvo en el suelo del viñedo e impidió que la radiación solar alcanzase la superficie del suelo y reduciéndose la conductividad térmica y el calor específico en el suelo cultivado. El laboreo crea espacios de aire que aíslan de la transferencia de calor y aumenta la evaporación, que disminuye el contenido de agua del suelo y reduce la capacidad de calor. Sin embargo, el suelo no se compactó después del laboreo y esto pudo haber mejorado la protección. Los suelos tratados con herbicidas estaban más limpios y más firmes y húmedos que los otros dos tratamientos.

Las cubiertas con plantas altas (i.e. gramíneas y malas hierbas) aíslan el suelo de la transferencia de calor y pueden dificultar el drenaje de aire frío, resultando en un mayor daño por helada. Sin embargo, las cubiertas más altas proporcionan una superficie para la congelación mayor en sistemas de protección contra las heladas por aspersión bajo los árboles y en consecuencia, en estos casos, podría ser beneficioso (Evans, 2000). Una investigación en Bolonia, Italia (Anconelli *et al.*, 2002) también demostró que las cubiertas altas son beneficiosas cuando se

utilizan aspersores bajo los árboles. Su hipótesis es que la temperatura de la superficie humedecida se mantiene cerca de los 0 °C y subir la altura de la superficie haciendo crecer una cubierta aumentaría la temperatura por encima de los 0 °C. Aunque la protección puede verse favorecida por la presencia de una cubierta alta es más probable que se necesite un método de protección activo cuando hay una cubierta en el suelo.

Se han observado grandes variaciones en las concentraciones de bacterias activas en la nucleación de hielo (INA) sobre diferentes cultivos. En algunos casos, las concentraciones son bajas (e.g. cítricos y vides). Sin embargo, la concentración de bacterias INA sobre pastos y malas hierbas y en cultivos de cereales es normalmente alta. Por tanto, la presencia de cubiertas de cultivos dentro de una plantación frutal o de un viñedo, o cultivos de cereal cerca de un cultivo sensible, aumenta las concentraciones de bacterias INA y el potencial de heladas.

## **CUBIERTAS DEL SUELO**

### **Cubiertas del suelo plásticas**

Cubrir el suelo directamente con plástico para subir la temperatura de la superficie es un método viable que puede proporcionar alguna protección. Esto es especialmente cierto para pequeñas plantaciones (e.g. jardines o pequeñas plantaciones frutales), donde no están disponibles otros métodos de protección. Debido a que la temperatura del aire por encima del suelo está relacionada con la temperatura de la superficie, cualquier manejo que suba la temperatura mínima de la superficie proporcionará una protección adicional. A menudo, puede realizarse un análisis sencillo para verificar los beneficios de la estrategia de manejo. Por ejemplo, un cultivador de cítricos cuestionado sobre si es mejor mantener o eliminar un plástico transparente en el suelo de una plantación recientemente plantada antes de que llegue el periodo de heladas. Si la temperatura mínima de la superficie registrada durante la noche es consistentemente más caliente para la superficie cubierta con plástico que para la superficie no cubierta, entonces es mejor dejar el plástico sobre el suelo. Si el suelo cubierto con plástico tiene una mínima más fría, entonces debería quitarse. Se sugirió al agricultor eliminar una pequeña sección del plástico y emplazar al anochecer, después de la puesta de Sol en noches frías, unos cuantos termómetros de registro de mínimas sobre el suelo desnudo y otros pocos sobre el plástico. De hecho, el ensayo no tiene que realizarse obligatoriamente durante condiciones bajo cero. Se instruyó al agricultor para registrar las temperaturas y anotar que superficie tuvo una temperatura mínima más fría. La superficie con la temperatura más cálida es la más deseable como método de protección pasivo.

Aunque los experimentos no se han publicado, los autores han observado que los acolchados de plástico claro, que aumentan la transferencia de calor en el suelo, normalmente mejoran el almacenamiento de calor resultando en una temperatura mínima de la superficie más alta. Como la temperatura de la superficie está estrechamente relacionada con la temperatura del aire en la cubierta vegetal, tener una temperatura de la superficie más alta proporcionará algo de protección. El plástico negro absorbe una cantidad de radiación considerable, pero el espacio de aire entre el plástico y el suelo inhibe la transferencia de calor hacia el suelo donde la capacidad de calor es mayor. En consecuencia, el plástico negro es menos efectivo para la protección contra las heladas.

Humedecer el suelo antes de cubrirlo con plástico mejorará el posterior almacenamiento de calor, lo que hace subir la temperatura mínima de la superficie y proporciona más protección. Esto es especialmente cierto para el plástico claro, que permite que más energía radiante alcance la superficie del suelo. Parte de las razones para un aumento de la temperatura de la superficie, cuando el suelo es humedecido antes de colocar el plástico, es que se evaporará el agua del suelo y se condensará en la parte interior del plástico conforme la cobertura se enfríe, hasta la temperatura del punto de rocío. Esto cambiará el calor latente a calor sensible bajo el plástico y ayudará a mantener la temperatura de la superficie más caliente.

### **Cubiertas orgánicas**

Los acolchados con residuos vegetales reducen la transferencia de calor hacia el suelo y favorecen que los cultivos puedan sufrir heladas. Snyder, Pherson y Hatfield (1981) investigaron el efecto de eliminar el mantillo de hojas en las temperaturas mínimas en plantaciones de cítricos y encontraron que no había beneficio al eliminar el mantillo de hojas de los cítricos. Sin embargo, O'Connell y Snyder (1999) encontraron que eliminar el mantillo, tanto entre las hileras como bajo los árboles, era beneficioso. Parte de la diferencia entre los dos experimentos se atribuyó a las diferencias en la poda de los árboles. Después del primer experimento, los agricultores empezaron a podar los árboles para permitir que más luz solar alcanzara el suelo de la plantación. Basándose en estos experimentos, la eliminación del mantillo de hojas de entre medio de las hileras puede tener algún beneficio para la protección contra las heladas.

En los climas muy fríos donde el agua del suelo se congela, el empuje del suelo puede dañar a las raíces. Donde existe una cubierta de nieve, el daño de las raíces debido al empuje del hielo es menos probable ya que la nieve aísla de los grandes cambios diarios de la temperatura del suelo. Cuando no hay nieve, los acolchados orgánicos se utilizan a veces para reducir las variaciones diarias en la temperatura

del suelo y el daño de las raíces debido al empuje del hielo. Sin embargo, deben evitarse los acolchados orgánicos en las plantaciones donde el suelo no se congela ya que durante el día se almacena menos calor en el suelo.

La existencia de un acolchado orgánico (e.g. paja, serrín) reduce la evaporación, pero disminuye la temperatura mínima diaria del aire. El acolchado reduce el flujo de calor desde el suelo hacia la superficie, causando unas temperaturas mínimas de la superficie, que conduce también a una temperatura del aire mínima. Por ejemplo, los cultivadores de fresas conocen el peligro que resulta de una aplicación temprana de acolchado en primavera (Bouchet, 1965).

### **PINTAR LOS TRONCOS**

La corteza de los árboles de hoja caduca a veces se separa debido a grandes fluctuaciones de la temperatura. Cuando el Sol de repente queda obstaculizado, la temperatura de la corteza de los árboles puede caer y causar grietas longitudinales. Las diferencias entre las temperaturas del aire y de la corteza del orden de 20 °C son observadas normalmente en la cara soleada de los troncos de los árboles de hoja caduca donde el daño es peor. Un método para reducir este problema es pintar los troncos con una pintura blanca de látex diluida con un 50% de agua para reflejar la luz del solar durante el día (Powel y Himelrick, 2000). No hay que utilizar pinturas tóxicas ni que utilicen como base el aceite. Es mejor pintar los troncos a finales de otoño cuando la temperatura del aire está por encima de los 10 °C. Además de evitar las grietas, la pintura blanca, el aislamiento o otras envolturas se sabe que mejora la resistencia al daño por helada en melocotoneros (Jensen, Savage y Hayden, 1970). Las pinturas o envolturas disminuyen las altas temperaturas del cambium a finales de invierno debido a la radiación diurna en el tronco que hubiera reducido la resistencia. Se ha descrito que pintar de blanco la corteza de los manzanos reduce de forma importante la temperatura de la corteza y se retrasa unos días la floración (Zinoni *et al.*, 2002a), lo que reduce el riesgo de daño por helada.

### **ENVOLTURAS DE TRONCOS**

Es normal el uso de envolturas aislantes para proteger los cítricos jóvenes (Fucik, 1979). Las envolturas aislantes están hechas de materiales que contienen espacios de aire que resisten la transferencia de calor. Sin embargo, si los espacios se rellenan de agua, la conductividad del material aumenta de forma importante. Por ejemplo, un cocinero cogería inmediatamente una cazo caliente con una almohadilla seca, pero ningún cocinero con experiencia utilizaría una almohadilla húmeda. La conductividad térmica de la almohadilla húmeda es mucho más

grande ya que los espacios de aire están llenos de agua, y por ello el calor se transferirá rápidamente a través del material. De forma similar, un factor crítico al usar envolturas aislantes es estar seguro que los espacios de aire en el material no se llenan con agua.

Fucik (1979) publicó que las envolturas de fibra de vidrio y de poliuretano alrededor de los troncos de los árboles aumentó la temperatura dentro de la envoltura unos 8 °C por encima de la temperatura mínima del aire. Las envolturas de los troncos disminuyen el ritmo de caída de la temperatura y, como resultado, el tiempo de exposición a una temperatura perjudicial se ve reducido. Fucik y Hensz (1966) recomendaron el uso de la relación de la tasa de cambio de la temperatura de la corteza por hora respecto al cambio de la temperatura del aire por hora como una medida de la eficiencia de las envolturas. Se ha sugerido un valor de 0,45 para una buena protección de las envolturas. Fucik (1979) reportó de relaciones de 0,47; 0,58 y 0,92 para poliuretano de 76 mm, poliuretano de 25 mm y para envolturas de “flujo de aire”, respectivamente, durante una noche en que la temperatura del aire caía a 1,11 °C h<sup>-1</sup>. Los troncos envueltos con poliuretano de 76 mm no se dañaron, mientras que los troncos se congelaron para las otras dos envolturas. Savage, Jensen y Hayden (1976) encontraron que las relaciones entre las temperaturas del aire y de la corteza de una envoltura con una lámina de aluminio cubierta con fibra de vidrio fueron de 0,38, que es comparable con el poliuretano de 76 mm.

Incluso durante las heladas de advección importantes, los troncos de los cítricos jóvenes (naranjos; vides o naranjos amargos) se han protegido con fibra de vidrio sostenido por una red de alambre, y con espuma de poliuretano (Fucik, 1979; Hensz, 1969b). Cuando las partes no protegidas son dañadas, crece una nueva cubierta desde el injerto en 2–3 años. Normalmente, las envolturas de los troncos se eliminan después de unos 3 a 4 años (Fucik, 1979). Se publicó que envolver los troncos de cítricos jóvenes con bolsas de agua da mejor protección que la fibra de vidrio o la espuma de poliuretano (Raposo, 1967). Cuando el agua se congela, libera calor latente y ralentiza la caída de temperatura en la superficie del tronco.

Fucik (1979) estimó el coste de envolver los troncos de los árboles en unos \$0,20 más por árbol que el coste anual de construir y remover montones de tierra. Como las envolturas son relativamente libres de mantenimiento y el único coste adicional es de unos \$0,15 por árbol para retirarlas después de 3-4 años, utilizar envolturas permanentes de los árboles es más efectivo desde el punto de vista del coste. El poliuretano no atrae a los roedores y las envolturas también ayudan a proteger el tronco de otros daños. El principal inconveniente es el aumento potencial de problemas por enfermedades. La podredumbre de las raíces (*Phytophthora*

*parasitica*) puede ser un problema cuando se utilizan envolturas de árboles. Por ello, las uniones de los injertos deberían estar por lo menos 0,15 m por encima del suelo. Las aplicaciones de fungicidas antes de la envoltura pueden ayudar a reducir la podredumbre de las raíces. Las envolturas necesitan atarse de forma ajustada alrededor del tronco para evitar el daño en las superficies expuestas.

## CONTROL DE BACTERIAS

El agua se derrite pero no necesariamente se congela a 0 °C. Para que ocurra la congelación ha de iniciarse la formación de hielo (i.e. formación de núcleos de hielo). La formación de núcleos de hielo homogéneos ocurre cuando el agua líquida se ha superenfriado a temperaturas muy bajas (e.g. normalmente más bajas de -40 °C) y las moléculas de agua se organizan en una estructura cristalina (hielo) sin que materiales foráneos o la agitación inicien el proceso. La formación de núcleos heterogéneos ocurre cuando el agua superenfriada es agitada o cuando las partículas foráneas (formadoras de núcleos de hielo) son introducidas para iniciar el proceso de la formación de cristales de hielo. Por ejemplo, cuando se vaporiza yoduro de plata en las nubes, causa que las gotas de las nubes superenfriadas se congelen ya que el yoduro de plata inicia el cambio de fase del agua a hielo.

Por encima de -5 °C, las bacterias activas formadoras de núcleos de hielo (INA) causan la mayoría de las formaciones de hielo sobre las superficies de las plantas (Lindow, 1983). De hecho en algunas plantas de invernaderos estériles no se muestra formación de núcleos de hielo hasta que la temperatura alcanza de -8 °C a -10 °C (Lindow, 1983). Las principales bacterias INA que forman núcleos en el hielo son *Pseudomonas syringae*, *Erwinia herbicola* y *P. fluorescens*. *P. syringae* y *E. herbicola* que lo hacen a temperaturas tan altas como -1 °C (Lindow, 1983). Después de formar hielo sobre las superficies de las plantas, éste se propaga dentro de las plantas a través de las oberturas en la superficie (e.g. estomas) y dentro de los espacios extracelulares. Dependiendo de la sensibilidad de la planta, el daño puede que resulte o no de la formación de hielo en los espacios extracelulares.

Aunque una bacteria puede iniciar el proceso de formación de núcleos del hielo, es más probable el daño cuando la concentración de bacterias INA es alta. Por ello, reducir la concentración de bacterias INA reduce el potencial para la congelación. Normalmente los pesticidas (e.g. compuestos que utilizan cobre) se utilizan para matar las bacterias, o se aplican bacterias inactivas en la nucleación de hielo (NINA) competitivas para competir y reducir las concentraciones de bacterias INA. Normalmente, del 0,1 a 10% de las bacterias en las superficies de las plantas son bacterias INA (Lindow, 1983), pero hay poblaciones insignificantes de bacterias NINA para competir con ellas y mantener bajo el

número de bacterias INA. Consecuentemente, aplicar de forma suplementaria bacterias NINA sobre las plantas puede ayudar a reducir la concentración de bacterias INA, al competir con ellas. Cuando se aplican NINA, normalmente una aplicación es suficiente y las bacterias NINA continuarán aumentando la población y competir con bacterias INA conforme las plantas crecen. Cuando se utilizan pesticidas, se matan las bacterias, pero consiguen repoblar de nuevo las plantas rápidamente, por ello los bactericidas deben aplicarse de nuevo frecuentemente para mantener bajas las concentraciones de bacterias INA. También son los aminoácidos de las bacterias los que causan la formación de núcleos, por ello se requiere que las aplicaciones de bactericidas se realicen con bastante antelación a los eventos esperables de heladas para que se degraden los aminoácidos. También se requieren aplicaciones tempranas de bacterias NINA para permitir la competencia para reducir el número de bacterias INA. Cualquier aplicación de bactericidas matará tanto bacterias NINA como bacterias INA y esto puede ser problemático si se utilizan los bactericidas para otro propósito que no sea la protección contra las heladas.

Las concentraciones de bacterias INA fueron reducidas de 10 a 100 veces después de tres aplicaciones semanales de bactericida (i.e. hidróxido de cobre) al inicio del desborre de los almendros, o una aplicación de una bacteria NINA (competitiva) cuando la floración era del 10% (Lindow y Connell, 1984). Las bacterias NINA tuvieron poca influencia sobre la población de bacterias INA inmediatamente después de la aplicación, pero el efecto aumentó con el tiempo. La aplicación de bacterias NINA redujo la concentración de bacterias INA y ambas aplicaciones de bactericida de NINA redujo el daño por helada en ramilletes separados que fueron enfriados hasta  $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Además de las vaporizaciones que permiten matar o competir con bacterias INA, hay productos químicos que inhibe la capacidad de formación de núcleos de hielo de las bacterias. Los análisis de laboratorio demostraron que la actividad de bacterias INA es sensible al pH y a los metales pesados en un estado soluble (e.g. cobre y zinc) y detergentes catiónicos (Lindow et al., 1978). Los productos químicos que inactivan la actividad de las bacterias INA se denominan “inhibidores de la formación de núcleos de hielo en bacterias” y pueden inactivar las bacterias en unos minutos hasta unas pocas horas (Lindow, 1983). Por ejemplo, en un experimento con perales Bartlett, cuando la temperatura cayó a  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , los inhibidores  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (0,1 M), Urea (0,5 M) +  $\text{ZnSO}_4$  (0,05 M) y Urea (0,5 M) +  $\text{NaCO}_3$  (0,1 M) se encontró que tenían fracciones de fruto dañado del 0,11, 0,16 y 0,29, respectivamente, mientras que el control tuvo una fracción de fruto dañado de 0,95. Una gran ventaja es que los materiales pueden aplicarse

inmediatamente antes de una noche de helada. Una desventaja es que esos materiales a veces pueden causar fototoxicidades en las plantas. También hay que tener en cuenta que los materiales son solubles en agua, por ello la lluvia puede limpiarlos de las plantas y puede que sean necesarias nuevas aplicaciones.

Muchos tratamientos disponibles en el mercado pretenden proporcionar protección contra el daño por heladas. Sin embargo, en la mayoría de los casos, hay poca o ninguna evidencia de que funcionen. Matar bacterias INA, competir con ellas o inactivarlas reducirá la oportunidad de congelación y ayuda a evitar el daño por helada; sin embargo, la mayoría de tratamientos comerciales de protección contra las heladas no tienen un efecto conocido sobre las bacterias INA. Uno buscaría una explicación científica y válida sobre cómo funciona un tratamiento de protección por parte de una Universidad o un laboratorio con reputación antes de invertir en cualquier producto de tratamiento para la protección contra las heladas. Esto no significa que la pulverización sea inefectiva; simplemente significa que la evidencia es reducida y puede que no funcione. No hay que comprar productos químicos que pretenden evitar el daño por helada reduciendo la desecación. El daño por helada resulta del daño a la pared celular debido a la deshidratación interna de las células de las plantas. No está relacionado con la transpiración (i.e. evaporación desde las hojas de las plantas).

Pocas veces ha habido historias satisfactorias de agricultores que han utilizado tratamiento con productos químicos contra el daño por helada. Resultados más positivos se han dado en experimentos bien controlados en las universidades. Por ejemplo, el uso de tratamientos químicos (e.g. zinc; cobre; antitranspirantes) no ofrecía un claro beneficio en las investigaciones científicas realizadas en plantaciones de árboles frutales en el estado de Washington (EE.UU.) (Evans, 2000). Asimismo, no se ha encontrado beneficio en los tratamientos para eliminar las bacterias “formadoras de núcleos de hielo” debido a la gran abundancia de materiales formadores de núcleos de hielo “naturales” en la corteza, en los tallos, etc. más que compensar la falta de bacterias (Evans, 2000). Los resultados de los tratamientos químicos para la protección contra las heladas están claramente mezclados. Parte del problema es la gran variación en bacterias INA sobre los diferentes cultivos. Por ejemplo, los cítricos y las vides tienden a presentar concentraciones más pequeñas de bacterias INA, mientras que los árboles de hoja caduca y las hierbas tienden a tener grandes poblaciones. Parte de la variación en los resultados es debida a estas diferencias. Además, el momento de aplicación y la concentración de los tratamientos están todavía bajo investigación. En resumen, es bien conocido que las bacterias INA están involucradas en la formación de núcleos de hielo sobre las plantas, y por ello

reducir las concentraciones de bacterias INA puede proporcionar alguna medida de protección contra las heladas. Sin embargo, se necesita claramente más investigación para determinar si es beneficioso y cuándo es beneficioso el control de bacterias INA, y qué manejo daría resultados aceptables.

### **TRATAMIENTO DE SEMILLAS CON PRODUCTOS QUÍMICOS**

Se ha informado de bastantes casos donde tratamientos, que contenían microelementos y elementos secundarios (Cu, B, Mg, Zn, Al, Mo, Mn) aplicados a las semillas (maíz, pepino, algodón, tomate) y a plantas han conducido a un aumento en la resistencia a la congelación (Bagdonas, Georg y Gerber, 1978).