

TECNOLOGÍAS ADECUADAS

INTRODUCCIÓN

La protección pasiva se practica extensamente en todos los países con problemas de heladas. En realidad, los métodos pasivos son a menudo más beneficiosos y efectivos desde el punto de vista del coste que los métodos activos. Estos métodos incluyen:

- Seleccionar emplazamientos, para plantar, que son menos propensos a las heladas;
- Plantar variedades de árboles de hoja caduca y de viña que florecen más tarde en primavera;
- Plantar cultivos anuales una vez que la probabilidad de helada ha disminuido en primavera;
- Plantar cultivos de hoja caduca en pendientes que no estén encaradas al Sol;
- Plantar cítricos en las pendientes que miran al Sol (solanas);
- Evitar plantar en los suelos orgánicos;
- Mantener alto el contenido de agua en el suelo para obtener la difusividad térmica lo más alta posible; y
- Minimizar o eliminar los cultivos que cubren el suelo (e.g. hierbas y malas hierbas) entre las hileras de los árboles cultivados y de las viñas.

En todos los países debe practicarse la eliminación de obstáculos para el drenaje del aire frío y se debe utilizar la topografía y los obstáculos para modificar el flujo de aire frío alrededor de los cultivos de forma que proporcionen protección. Si los métodos pasivos no son adecuados para proporcionar protección, entonces puede que se necesiten los métodos activos.

Los agricultores han utilizado, y continúan haciéndolo, las estufas de combustible sólido y de combustible líquido para combatir las heladas a escala mundial; sin embargo, el coste y la disponibilidad del combustible representan un problema creciente que se agrava con el tiempo. Hoy en día, el uso de estufas con chimenea está generalmente restringido a cultivos de alto valor en países desarrollados o en países con unos costes de combustible bajos. En algunas áreas de Sudamérica, el petróleo se quema en pequeños potes y muchos países queman combustibles sólidos. Debido al coste, los ventiladores y los helicópteros se utilizan mayoritariamente en cultivos de alto valor (e.g. cítricos y vides para

vino). Los aspersores por encima de las plantas y bajo las plantas se utilizan en una variedad muy amplia de árboles, vides y cultivos en hilera en muchos países; sin embargo, el método es más efectivo desde el punto de vista del coste en climas áridos donde los beneficios del riego cubren parcialmente los gastos de la protección contra las heladas.

Qué métodos activos hay que utilizar para la protección contra las heladas depende de una combinación de factores meteorológicos y económicos. La mayoría de los métodos activos de protección contra heladas son más efectivos cuando hay presente una inversión de temperatura. En localidades con viento, son más probables las heladas de advección que las de radiación y muchos métodos de protección proporcionan una protección escasa. Las ramas de algunos árboles cultivados se dañan por la carga del hielo cuando se usan los aspersores sobre las plantas, por ello generalmente se usan los aspersores bajo planta para los cítricos y árboles de hoja caduca con ramas débiles. Una tendencia habitual en California es cambiar de los riegos localizados de goteo a los microaspersores. Este cambio es parcialmente para aumentar el volumen de suelo humedecido por el sistema de riego, que normalmente mejora la gestión y la producción, pero también proporciona un método de protección contra heladas que no existe con el riego por goteo. Por ello, cuando se instala un sistema de riego para un cultivo nuevo o que ya existe, es más deseable utilizar microaspersores que riego localizado por goteo. El riego de superficie (i.e. surco o inundación) se utiliza normalmente para la protección contra las heladas en localidades con suministros adecuados y que no tengan el agua cara. La principal preocupación es aplicar la cantidad de agua suficiente para proporcionar el calor requerido, para asegurar que el agua llega al final de la parcela antes de que la temperatura caiga a niveles de producir daño, y mantener el agua tan caliente como sea posible (e.g. calentando o no recirculando el agua).

MÉTODOS DE PROTECCIÓN HABITUALES

Los métodos de protección contra las heladas utilizados alrededor del mundo fueron discutidos por Bagdonas, Georg y Gerber (1978); sin embargo, cambios económicos, leyes contra la contaminación, etc., han influido en los métodos actualmente utilizados. Una encuesta reciente, realizada por los autores del libro, proporciona cierta información sobre los métodos actuales de protección y explica porqué la tecnología está cambiando. Los resultados de la encuesta se muestran en la Tabla 8.1 y las conclusiones generales se discuten en este capítulo.

La información y las prácticas utilizadas sobre los métodos de protección de Europa y de Norte América se han descrito en los capítulos iniciales y además son bien conocidas debido a la gran cantidad de publicaciones. Sin embargo, hay menos

información disponible sobre las prácticas de los agricultores de otras partes del mundo. En marzo de 2003, se distribuyó una encuesta con un cuestionario a los servicios meteorológicos, centros de educación y agencias del gobierno alrededor del mundo, con énfasis en países no mencionados en los capítulos precedentes, para evaluar las prácticas actuales de protección contra las heladas. Hubo numerosas respuestas a la encuesta por parte de una serie de países. Mientras parte de la información recogida era la esperada, también hubo algunas sorpresas.

MÉTODOS PASIVOS

Es bien conocido que los agricultores, independiente de la localidad, intentarán minimizar el daño practicando métodos pasivos de bajo coste. Aunque el cuestionario de la encuesta no preguntaba de forma específica por información sobre métodos pasivos de protección contra las heladas, se recibió sin embargo alguna información sobre ello. Por ejemplo, los siguientes métodos pasivos de protección fueron mencionados en las respuestas:

1. Seleccionar lugares libres de heladas (e.g. las zonas superiores de las pendientes de una colina son mejores).
2. Plantar tarde para evitar estadios sensibles durante los períodos de heladas
3. Seleccionar variedades tolerantes
4. Plantar en ambientes protegidos (e.g. invernaderos) y transplantar más tarde una vez el tiempo es más cálido.
5. Crear barreras físicas (e.g. paredes y arbustos) para controlar el drenaje de aire frío.
6. Cubrir los cultivos en hilera con túneles de plástico.
7. Pulverizar compuestos de cobre para controlar las concentraciones de bacterias INA
8. Pulverizar bacterias NINA sobre los cultivos para competir con las bacterias INA

La selección del emplazamiento es claramente una práctica importante en todas las partes del mundo, independientemente del nivel de ingresos de los agricultores locales. Muchas directrices sobre métodos pasivos se dan en el Capítulo 6. Los agricultores con recursos limitados pueden manejar el contenido de agua en el suelo, cubrir los cultivos, amontonar el suelo alrededor de los troncos de los árboles jóvenes, etc., a un coste relativamente bajo. Quizás uno de las tecnologías más efectivas desde el punto de vista del coste es el uso de vallas, balas de heno, etc., para controlar el drenaje de aire alrededor de los cultivos sensibles. Eliminar los obstáculos que causan el embolsamiento de aire frío

también es normalmente efectivo desde el punto de vista del coste. También, seleccionar variedades que son más tolerantes a las heladas, y plantar una vez que la probabilidad de daño ha disminuido en la primavera, es una práctica sencilla pero efectiva. Eliminar las malas hierbas de las plantaciones frutales y de los viñedos y evitar plantar cereales de invierno junto a los cultivos sensibles a las heladas es también una buena práctica.

MÉTODOS ACTIVOS

El riego por inundación como protección fue destacado por México y Argentina, pero no por otros países. Los aspersores sobre planta se han utilizado para la protección de bananas en Chipre y para los arándanos, cítricos y plantaciones frutales de hueso en Argentina. Los aspersores sobre planta también se han utilizado sobre estacas (esquejes leñosos), cucurbitáceas, flores y patatas en Zimbabwe. En Grecia, los micro-aspersores sobre planta se han utilizado sobre los kiwis, pero fue la única localización donde se citó el método. Las técnicas por debajo de las plantas – convencionales y micro-aspersores – se usan para la protección contra las heladas de los cítricos en Grecia. Ninguna otra localización se ha mencionado en los informes sobre el uso de los aspersores bajo plantas. Los que respondieron de Turquía identificaron sobre el uso de nebulizadores artificiales para la protección contra las heladas en cerezos, olivos y melocotoneros, y también se utilizaron los nebulizadores en bananos en Chipre. Los aspersores se utilizan a veces para la protección contra las heladas de cultivos anuales en el Valle del Rift en Jordania y en regiones montañosas.

Los ventiladores convencionales (i.e. producción de viento horizontal) se han utilizado para la protección de manzanos en México y de cítricos (principalmente en naranjas dulces y mandarinos) en la llanura Argolic de Grecia. A pesar de que los ensayos de campo sobre los ventiladores que producen viento hacia abajo demostraron un pobre comportamiento y la literatura sobre los ventiladores verticales que producen viento hacia arriba es escasa, los ventiladores que producen viento vertical fueron identificados como los que se han utilizado para los cítricos tanto en Grecia como en Uruguay. Los helicópteros se han utilizado para la protección contra las heladas de las plantaciones de frutales de hueso en Argentina, y hay planes de usar helicópteros para viñedos en Uruguay.

La mayoría de los métodos activos de protección son algo más intensivos en energía, y en consecuencia las tecnologías pueden ser o no adecuadas, dependiendo de la disponibilidad local y de los costes. Por ejemplo, el uso de las estufas es efectivo desde el punto de vista del coste si existe una fuente de combustible segura y de bajo coste. Sin embargo, las estufas son, en general, contaminantes, por ello únicamente deberían utilizarse las estufas eficientes con

poca producción de humo. Investigaciones recientes han mostrado que calentando el agua de riego para la aplicación con aspersores bajo planta es menos contaminante que utilizar directamente estufas, y proporciona un método de distribuir el calor más uniformemente a través de una plantación frutal o de un viñedo. Los ventiladores se utilizan normalmente para la protección de cultivos de alto valor en países más ricos, pero a menudo los costes son demasiado altos para las agriculturas de subsistencia. El uso de riego de inundación o por surcos es una opción en la mayoría de partes del mundo si se dispone de una manera oportuna del agua. Uno de los problemas con el riego por superficie es que se debe disponer de una previsión de las temperaturas de congelación con una antelación de unos pocos días antes de la noche de helada para poder ser capaz de ordenar una petición de agua a la comunidad de regantes.

El control de bacterias INA se ha identificado como un método de protección en algunos países. Para pequeñas plantaciones y con una frecuencia de heladas baja, este podría ser un método de protección efectivo desde el punto de vista del coste en muchas localidades y la investigación sobre el control de las bacterias INA continua.

RESUMEN DE LAS TECNOLOGÍAS ADECUADAS

Parece que, al nivel de todo el mundo, se utiliza un amplio intervalo de tecnologías de protección contra las heladas desde las simples a las más sofisticadas. Los factores más determinantes dependen de la disponibilidad local y de los costes. Por ejemplo, las estufas de combustible líquido se utilizan mucho en México porque hay disponibilidad de combustible a bajo coste. No es muy utilizado donde los costes son más altos. Naturalmente, incluso dentro de un mismo país, los métodos de protección varían según el tamaño y riqueza de la explotación así como del apoyo del gobierno. Cada método de protección debe considerarse por sus propios méritos y debería realizarse una evaluación económica para determinar si un método es o no efectivo desde el punto de vista de los costes. Naturalmente esto también requiere la disponibilidad de datos climáticos y disponer de ordenador que facilite el análisis de los datos. Para localidades sin la financiación adecuada, la falta de suministros críticos y equipamiento podría dificultar el uso de algunos métodos. Por ejemplo, tanto un servicio meteorológico que proporcione una buena previsión como disponer de un termómetro es el requerimiento mínimo para un uso eficiente de los aspersores o de los ventiladores. Para los aspersores, un termómetro de bulbo húmedo o una medida de la temperatura del punto de rocío mejorará el manejo del sistema. De forma similar, es difícil practicar la protección contra las heladas con estufas o ventiladores sin disponer como mínimo de termómetros protegidos.

TABLA 8.1

Prácticas de protección contra las heladas presentadas por tipo de cultivo para varios países y porcentaje estimado de cultivo que está protegido

CULTIVO	PAÍS	MÉTODO DE PROTECCIÓN CONTRA LAS HELADAS	% CULTIVO PROTEGIDO
Almendro	Argentina (Mendoza)	Riego por inundación Las estufas de combustible líquido (petróleo)	
Arándanos	Argentina (NE de Buenos Aires)	Aspersores sobre planta	100%
Banana	Chipre	Aspersores convencionales por encima de la planta	
Banana	Chipre	Nebulizadores artificiales	
Café	Zimbabwe	Aspersión convencional sobre planta Acolchado con hierbas Estufa de combustible sólido (madera) Cubrir los tallos con tierra Barreras de gramíneas o maleza para el drenaje de aire frío Cobertura con hierbas sobre las plantas Abrir cuencas de drenaje para mejorar el drenaje de aire Avisos contra heladas Plantar sobre un montículo Cubrir los troncos con papel Recomendar no labrar el suelo unas semanas antes de las heladas Selección de emplazamiento	
Cerezos	Argentina (Mendoza)	Riego por inundación Las estufas de combustible líquido (petróleo)	
Cerezos	Turquía	Estufas de combustible sólido Niebla artificial	
Ciruelos	Argentina (Mendoza)	Riego por inundación Las estufas de combustible líquido (petróleo, etc.)	
Cítricos	Argentina (NE de Buenos Aires)	Aspersores por encima de las plantas	
Cítricos	Grecia	1. Micro-aspersores bajo planta 2. Ventiladores	<20% <10%
Cítricos	Grecia	Ventiladores (que producen el aire de forma vertical) Aspersores convencionales bajo planta Aspersores y estufas Aplicar compuestos que contengan cobre	2% 3% 1% 1-2%

CULTIVO	PAÍS	MÉTODO DE PROTECCIÓN CONTRA LAS HELADAS	% CULTIVO PROTEGIDO
Cucurbitáceas – calabazas, calabazas híbridas butternut, sandías, etc.	Zimbabwe	Selección de emplazamiento– lugares libres de heladas en pendientes Selección de cultivares tolerantes Evitar estadios sensibles durante los periodos de heladas Compactar el suelo en invierno Producción en ambientes protegidos– invernaderos Barreras físicas Cubrir los cultivos con hierbas, sacos o papel al atardecer Riego por aspersión Riego por inundación Quemar neumáticos y estiércoles de vaca contra el viento temprano por la mañana Ventiladores Cultivar plántones en cubiertas de plástico al aire libre o bajo protección para transplantar cuando esté más cálido.	
Cultivos anuales y en hilera	Jordania	Estufas Aspersores Túneles de plástico Plantación tardía	
Estacas	Zimbabwe	Selección del emplazamiento– lugares libres de heladas en pendientes Evitar los estadios sensibles durante el período de heladas Producción en ambientes protegidos– invernaderos Barreras físicas– vallas y arbustos Cubrir el cultivo con hierbas, sacos o papel durante la noche Riego por aspersión Fuegos quemando neumáticos viejos y excrementos de vaca en la dirección del viento pronto por la mañana Ventiladores	
Flores	Zimbabwe	Selección de emplazamiento– lugares libres de heladas en pendientes Selección de cultivares tolerantes Evitar estadios sensibles durante los periodos de heladas Compactar el suelo en invierno Producción en ambientes protegidos– invernaderos Barreras físicas	

CULTIVO	PAÍS	MÉTODO DE PROTECCIÓN CONTRA LAS HELADAS	% CULTIVO PROTEGIDO
		Cubrir los cultivos con hierbas, sacos o papel al atardecer Riego por aspersión Riego por inundación Quemar neumáticos y estiércoles de vaca contra el viento temprano por la mañana Ventiladores Calentar los substratos	
Frutales de hueso	Argentina (NE de Buenos Aires)	Las estufas de combustible líquido Estufas de combustible sólido (madera) Riego de superficie con estufas de combustible líquido Aspersores convencionales por encima de la planta Helicópteros (programado)	
Hortícolas de invernadero y flores	Chipre	Sopladores de aire que usan estufas de petróleo	
Kiwi	Grecia	Micro-aspersores sobre planta	< 20%
Manzano	Argentina (Mendoza)	Riego por inundación Las estufas de combustible líquido (petróleo)	
Manzano (principalmente Golden y Red Delicious)	México (Estado de Chihuahua)	Las estufas de combustible líquido (petróleo) Ventiladores (de producción de viento horizontal) Ventiladores y aspersores	50% 25% 25%
Melocotoneros	Argentina (Mendoza)	Riego por inundación Las estufas de combustible líquido (petróleo)	
Melocotoneros	Grecia	Micro-aspersores bajo planta	< 10%
Melocotoneros	Grecia	Aspersores convencionales bajo planta Aspersores y estufas Aplicar compuestos que contengan cobre	25% 25% 10–15%
Melocotoneros	México (Estado de Chihuahua)	Las estufas de combustible líquido (petróleo)	100%
Melocotoneros	Turquía	Estufas de combustible sólido Niebla artificial	
Olivo	Turquía	Estufas de combustible sólido Artificial niebla	
Patatas	Chipre	Aspersores convencionales por encima de las plantas	
Patatas	Zimbabwe	Selección de emplazamiento– lugares libres de heladas en pendientes	60%

CULTIVO	PAÍS	MÉTODO DE PROTECCIÓN CONTRA LAS HELADAS	% CULTIVO PROTEGIDO
		Evitar los estadios sensibles durante períodos de heladas Compactar el suelo en invierno Barreras físicas Cubrir los cultivos con hierbas, sacos o papel al atardecer Riego por aspersión Riego por inundación Quemar neumáticos y estiércoles de vaca contra el viento temprano por la mañana Ventiladores y otras máquinas que produzcan viento	
Perales	Argentina (Mendoza)	Riego por inundación Las estufas de combustible líquido (petróleo)	
Pimiento Chili (en el momento del trasplante)	México (Estado de Chihuahua)	Aplicación de bacterias INA Plantar en invernaderos y transplantar	30% 70%
Tomates	Zimbabwe	Selección de emplazamiento– lugares libres de heladas en pendientes Selección de cultivares tolerantes Evitar los estadios sensibles durante los períodos de heladas Compactar el suelo en invierno Producción en ambientes protegidos– invernaderos Barreras físicas Cubrir los cultivos con hierbas, sacos o papel al atardecer Riego por aspersión Riego por inundación Quemar neumáticos y estiércoles de vaca contra el viento temprano por la mañana Ventiladores y otras máquinas que hagan viento Forzar la cosecha Botellas rellenas de agua y situadas cerca de una planta	
Trigo	Zimbabwe	Evitar la floración durante los períodos de heladas Riego por encima	
Viña	Uruguay	Nebulizadores artificiales Estufas de combustible sólido (coque, carbón vegetal, madera, etc.) Helicópteros Ventiladores que producen el aire hacia arriba	
Viñedos	Argentina (Mendoza)	Riego por inundación Las estufas de combustible líquido (petróleo)	

RESPUESTAS A LA ENCUESTA SOBRE PROTECCIÓN CONTRA LAS HELADAS

Argentina (NE de Buenos Aires)

Hasta el año 2001, el principal método utilizado para proteger las plantaciones de frutales de hueso fueron las estufas de combustible líquido. Después de 2001, debido al aumento de los precios de petróleo, el método principal de protección contra las heladas fueron las estufas de combustible sólido, especialmente la leña. Un 80% del área es protegida con estufas. En la región de Buenos Aires, las plantaciones de cítricos son insignificantes.

Grecia

En Grecia, la protección activa contra las heladas para frutales es menor, aunque, con los años, los daños en primavera por helada son a menudo elevados. Debido al exceso de producción y a los bajos precios, pocos agricultores desean invertir en protección contra las heladas. Normalmente, los agricultores utilizan micro-aspersores con aplicaciones de 80 a 120 litros h⁻¹ para el riego de los árboles.

No existe un área significativa con plantas hortícolas o otras plantas cultivadas que estén protegidas por métodos activos contra las heladas. Para la protección de muchas plantas que se han plantado pronto se utilizan túneles de plástico bajos o altos y en una pequeña área (< 5% del total) las calabazas tempranas de verano se protegen con riego localizado en túneles bajos.

La protección contra las heladas en los cítricos se practica mayoritariamente en la llanura de Arta, que es la parte más al Norte de Grecia con producción de cítricos (un 15% del área total ocupada por cítricos en Grecia). El melocotonero se cultiva, casi exclusivamente, en las zonas más al norte de Grecia (Macedonia), donde son comunes las heladas tardías de primavera y, en consecuencia, la protección contra las heladas está justificada.

La protección básica de los naranjos y mandarinos en la llanura de Argolic se consigue con molinos (mezcladores del aire) instalados en las plantaciones frutales. Los cultivos hortícolas en campo abierto sufren a menudo de daño por heladas.

Jordania

En el valle del Rift en Jordania, las heladas ocurren con escasa frecuencia. Sin embargo, cuando éstas se producen, los agricultores normalmente protegen sus plantas anuales utilizando estufas o poniendo en marcha sus aspersores. Los túneles de plástico se utilizan para proteger los cultivos de verano que se han plantado temprano. En las áreas montañosas, los agricultores protegen los

cultivos hortícolas evitando plantar en los períodos más dados a heladas o utilizan túneles de plástico. También utilizan aspersores o estufas. Para los árboles frutales utilizan estufas.

México (Chihuahua)

El estado de Chihuahua es quizás el estado más frío de México. Los frutales de más valor normalmente se protegen contra los daños por heladas tardías de primavera. La mayor parte de cultivos no se protegen. Por ejemplo los cultivadores de aguacate en el estado de Michoacan han aplicado bacterias NINA para reducir las bacterias INA con unos buenos resultados de protección. Algunos productores de peras y pequeños frutos en los estados de Michoacan y Chihuahua también han conseguido buenos resultados aplicando bacterias NINA. México es un país rico en petróleo, y los gobiernos central y federal subvencionan el precio del gasoil. Por ello el principal método de protección contra heladas en el estado de Chihuahua y probablemente en México son las estufas que utilizan como combustibles gasoil o petróleo. No obstante este método de protección es una fuente importante de contaminación de la atmósfera, del suelo, del agua y para la gente.

Zimbabwe

En general la mayoría de sistemas de protección son para cultivos hortícolas sensibles que se cultivan en Zimbabwe durante el invierno. Para los agricultores de las áreas con riesgo de heladas en Zimbabwe es muy importante escuchar los pronósticos meteorológicos y tomar precauciones. La mayoría de agricultores conocen las fechas más frecuentes de heladas en sus respectivas áreas. Sin embargo el servicio meteorológico ofrece la ayuda para la predicción de heladas y da un pronóstico. Estos métodos implican mucha inversión y requieren electricidad y se practica principalmente en las explotaciones comerciales más grandes. Los pequeños agricultores practican métodos de protección menos caros. Las flores y brotes se protegen en los diferentes estadios realizando cortes/plantones recién injertados o con frutales injertados en los viveros y también en el campo. El trigo de invierno es sensible al daño por helada durante la floración.

REFERENCIAS

- Abreu, J.P. de M.** 1985. *As Geadas. Conceitos, Génese, Danos e Métodos de Protecção*. Lisboa: UTL, ISA. 219p.
- Alden, J. & Hermann, R.K.** 1971. Aspects of the cold hardiness mechanisms in plants. *Botanical Review*, **37**: 37–142.
- Allen, C.C.** 1957. A simplified equation for minimum temperature prediction. *Monthly Weather Review*, **85**: 119–120.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M.** 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, No. 56. 300p.
- Anconelli, S., Facini, O., Marletto, V., Pitacco, A., Rossi, F. & Zinoni, F.** 2002. Micrometeorological test of microsprinklers for frost protection of fruit orchards in Northern Italy. *Chemistry and Physics of the Earth*, **27**: 1103–1107.
- Anderson, J.L., Richardson, E.A., Ashcroft, G.L., Keller, J., Alfaro, J., Hanson, G. & Griffin, R.E.** 1973. Reducing freeze damage to fruit by overhead sprinkling. *Utah Science*, **34**: 108–110.
- Angus, D.E.** 1962. Frost protection experiments using wind machines. *CSIRO Divison of Meteorological Physics Technical Paper*, No. 12. Melbourne, Australia. 48p.
- Attaway, J.A.** 1997. *A history of Florida citrus freezes*. Lake Alfred, Florida: Florida Science Source, Inc.
- Bagdonas, A., Georg, J.C. & Gerber, J.F.** 1978. Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. *World Meteorological Organization Technical Note*, No. 157. Geneva, Switzerland. 160p.
- Baggio, A.j., Caromori, P.H., Andorcioli Filho & Montoya, L.** 1997. Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. *Agroforestry Systems*, **37**: 111–120.
- Ballard, J.K. & Proebsting, E.L.** 1978. Frost and frost control in Washington orchards. *Washington State University Extension Bulletin*, No. 634. Pullman, Washington. 27p.
- Banquet, A.E., Halter, A.N. & Conklin, F.S.** 1976. The value of frost forecasting: a Bayesian appraisal. *American Journal of Agricultural Economics*, **58**: 511–520.

- Barfield, B.J. & Gerber, J.F.** 1979. *Modification of the aerial environment of crops. American Society of Agricultural Engineering (ASAE) Monograph*, No. 2. St Joseph, Michigan: ASAE. 538p.
- Bartholic, J.F.** 1979. Site selection. pp. 281–290, *in*: Barfield and Gerber, 1979, q.v.
- Bettencourt, M.L.** 1980. Contribuição para o estudo das geadas em Portugal Continental. *In: O Clima de Portugal*, Fasc. XX. Lisboa: I.N.M.G.
- Blanc, M.L., Geslin, H., Holzberg, I.A. & Mason, B.** 1963. Protection against frost damage. *WMO, Technical Note*, No. 51. Geneva, Switzerland. 62p.
- Bouchet, R.J.** 1965. Problèmes des gelées de printemps. *Agricultural Meteorology*, 2: 167–195.
- Braud, H.J., Chesness, J.L. & Hawthorne, P.L.** 1968. Using foam to protect plants against cold. *Louisiana Agriculture*, 12 (2): 4–7.
- Brewer, R.F., Burns, R.M. & Opitz, K.W.** 1974. Man-made fog for citrus frost protection. *California Agriculture*, 28: 13–14.
- Brindley, S.F., Taylor, R.J. & Webber, R.T.J.** 1965. The effects of irrigation and rolling on nocturnal air temperature in vineyards. *Agricultural Meteorology*, 2: 373–383.
- Brooks, F.A.** 1960. *An introduction to physical microclimatology*. Davis, California: University Press. pp. 158–161.
- Brunt, D.** 1932. Notes on radiation in the atmosphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 58: 389–418.
- Burke, M.J., Gusta, L.V., Quamme, H.A., Weiser, C.J. & Li, P.H.** 1976. Freezing and injury in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 27: 507–528.
- Burke, M. J., George, M.F., Gerber, J.F., Janick, J. & Martsof, J.D.** 1977. Does washing frost from plants reduce cold damage? *Hortscience*, 12: 101–103.
- Burman, R.D., Jensen, M.E., & Allen, R.G.** 1987. Thermodynamic factors in evapotranspiration. pp. 28–30, *in*: L.G. James and M.J. English (eds). *Proceedings of the Irrigation and Drainage Special Conference*. Portland, Oregon. 28–30 July 1987. ASCE, New York.
- Businger, J.A.** 1965. Frost protection with irrigation. pp. 74–80, *in*: *Agricultural Meteorology*. Boston, Mass.: American Meteorological Society.
- Campbell, G.S. & Norman, J.M.** 1998. *An Introduction to Environmental Biophysics*. New York, NY: Springer-Verlag. 286p.

- Caplan, L.A.** 1988. Effects of cold weather on horticultural plants in Indiana. *Purdue University Cooperative Extension Publication*, No. HO-203.
- Caprio, J.M. & Snyder, R.D.** 1984a. Study to improve winterkill parameters for a winter wheat model. Task 1, a study of the relation between soil temperature at three centimeter depth and air temperature. Final project report. NASA Contr NAS 9-16007. 76p.
- Caprio, J.M. & Snyder, R.D.** 1984b. Study to improve winterkill parameters for a winter wheat model. Task 2, a statistical analysis of weather and winter wheat reseeding relations for application in wheat modelling. Final project report. NASA Contr NAS 9-16007. 120p.
- Caramori, P.H., Androcioli Filho, A. & Leal, A.C.** 1996. Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. *Agroforestry Systems*, **33**: 205–214.
- Cellier, P.** 1982. Contribution à prévision des températures minimales nocturnes en conditions de gelées de printemps. Etude de l'évolution des températures de l'air et du sol au cours de la nuit. PhD Thesis, INA Paris-Grignon.
- Cellier, P.** 1993. An operational model for predicting minimum temperatures near the soil surface under clear sky conditions. *Journal of Applied Meteorology*, **32**(5): 871–883.
- Collomb, C.** 1966. A propos des récentes gelées de printemps. *Phytoma*, **18** (No. 178): 23–25.
- Connell, J.H. & Snyder, R.L.** 1988. Sprinkler spacing affects almond frost protection. *California Agriculture*, **43**: 30–32.
- Cooper, W.C., Young, R.H. & Turrell, F.M.** 1964. Microclimate and physiology of citrus their relation to cold protection. *Agricultural Science Review*, (Winter 1964): 38–50.
- Cox, D.L., Larsen, J.K., & Brun, L.L.** 1986. Winter survival response of winter wheat: tillage and cultivar selection. *Agronomy Journal*, **78**: 795–801.
- Cunha, J.M.** 1952. Contribuição para o estudo do problema das geadas em Portugal. Relatório final do Curso de Engenheiro Agrônomo. I.S.A., Lisboa.
- Cunha, F.R.** 1982. O problema da geada negra no Algarve [in Portuguese]. *INIA Divulgação* No. 12. 125p.
- Davies, D.L., Evans, R.G., Campbell, G.S. & Kroegen, M.W.** 1988. Under-tree sprinkling for low temperature modification in apple orchards. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*, **31**: 789–796.

- de Vries, D.A.** 1963. Thermal properties of soils. pp. 210–235, *in*: W.R. van Wijk (ed). *Physics of Plant Environment*. Amsterdam, The Netherlands: North-Holland Publishing Co.
- Díaz-Queralto, F.** 1971. *Práctica de la defensa contra heladas*. Lérida, Spain: Ediciones Dilagro. 384p.
- Donaldson, D.R., Snyder, R.L., Elmore, C. & Gallagher, S.** 1993. Weed control influences vineyard minimum temperatures. *American Journal of Enology and Viticulture*, **44**: 431–434.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W.O.** 1977. Crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, No. 24.
- Durand, R.** 1965. Le risque de gelée: application au poirier dans la région Parisienne. *Phytoma*, **172**: 35–41.
- Evans, R.G.** 2000. Frost protection in orchards and vineyards. <http://www.bsye.prosser.wsu.edu/report/frost.html>.
- Faust, M.** 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. New York NY: John Wiley and Sons. 338p.
- Ferrel, W.** 1886. Report on psychrometric tables for use in the Signal Services. Annual Report of the Chief Signal Officer. 1886. Appendix 24, pp. 233–259. Washington, D.C.
- Fritschen, L.J. & Gay, L.W.** 1979. *Environmental Instrumentation*. New York, NY: Springer-Verlag.
- Fucik, J.E.** 1979. Protecting citrus from freezing with insulating wraps. pp. 364–367, *in*: Barfield and Gerber, 1979, q.v.
- Fucik, J.E. & Hensz, R.** 1966. New insulating materials to protect citrus trees from freezing. *Journal of the Rio Grande Valley Horticultural Society*, **20**: 43–49.
- Georg, J.G.** 1979. Frost protection by flood irrigation. pp. 368–371, *in*: Barfield and Gerber, 1979, q.v.
- Gerber, J.F.** 1969. Petroleum coke heaters vs. conventional heaters. pp. 535–538, *in*: H.D. Chapman (ed). *Proceedings of the First International Citrus Symposium, Vol. II*. University of California, Riverside, 16–26 March 1968. California: Publications Department of the University of California.
- Gerber, J.F. & Martsolf, J.D.** 1979. Sprinkling for frost and cold protection. pp. 327–333, *in*: Barfield and Gerber, 1979, q.v.
- Gusta, L.V., Burke, M.J. & Kapoor, A.C.** 1975. Determination of unfrozen water in winter cereals at subfreezing temperatures. *Plant Physiology*, **56**: 707–709.

- Hamer, P.J.C.** 1980. An automatic sprinkler system giving variable irrigation rates matched to measured frost protection needs. *Agricultural Meteorology*, **21**: 281–293.
- Harrison, L.P.** 1963. Some fundamental considerations regarding psychrometry. pp. 71–104, *in: Humidity and Moisture*, Vol. 3. New York NY: Reinhold.
- Hensz, R.A.** 1969a. Petroleum coke fuel blocks: alone and with wind machines. pp. 529–533, *in: H.D. Chapman (ed). Proceedings of the First International Citrus Symposium, Vol. II.* University of California, Riverside, 16–26 March 1968. California: Publications Department of the University of California.
- Hensz, R.A.** 1969b. The use of insulating wraps for protection of citrus trees from freeze damage. pp. 575–576, *in: H.D. Chapman (ed). Proceedings of the First International Citrus Symposium, Vol. II.* University of California, Riverside, 16–26 March 1968. California: Publications Department of the University of California.
- Hewett, E.W.** 1971. Preventing frost damage to fruit trees. New Zealand Department of Scientific and Industrial Research (DSIR) *Information Series*, No. 86. 55p.
- Hewitt, K.** 1983. Interpreting the role of hazards in agriculture. pp. 123–139, *in: K. Hewitt (ed). Interpretations of Calamity.* London: Allen & Unwin.
- Hogg, W.H.** 1950. Frequency of radiation and wind frosts during spring in Kent. *Meteorological Magazine*, **79**: 42–49.
- Hogg, W.H.** 1964. Frost prevention in Dutch light frames. *Agricultural Meteorology*, **1**: 121–129.
- Hogg, W.H.** 1971. Spring frosts. *Agriculture*, **78**(1): 28–31.
- Horstmeyer, S.** 2001. Building blocks – What goes on in a cubic meter of air? *Weatherwise*, **54**: 20–27.
- Ikeda, I.** 1982. Freeze injury and protection of citrus in Japan. pp. 575–589, *in: P.H. Li and A. Sakai (eds). Plant Cold Hardiness and Freezing Stress. Vol.II.* Academic Press Inc.
- Itier, B, Huber, L. & Brun, O.** 1987. The influence of artificial fog on conditions prevailing during nights of radiative frost. Report on experiment over a Champagne vineyard. *Agricultural and Forestal Meteorology*, **40**: 163–176.
- Jensen, M.E., Burman, R.D. & Allen, R.G.** 1990. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements.* ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices, No 70. New York, NY: American Society of Civil Engineers. 360p.

- Jensen, R.E., Savage, E.F. & Hayden, R.A. 1970. The effects of certain environmental factors on cambium temperatures of peach trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **95**: 286–292.
- Jones, E.H. 1924. Irrigation, a frost protection in the citrus grove. *Californian Citrographer*, **9**: 249.
- Jorgensen, G., Escalera, B.M., Wineman, D.R., Striegler, R.K., Zoldoske, D. & Krauter, C. 1996. Microsprinkler frost protection in vineyards. California State University at Fresno, *CATI Publication #960803*.
- Kalma, J.D., Laughlin, G.P., Caprio, J.M. & Hamer, P.J.C. 1992. *Advances in Bioclimatology, 2. The Bioclimatology of Frost*. Berlin: Springer-Verlag .144p.
- Katz, R.W., Murphy, A.H. & Winkler, R.L. 1982. Assessing the value of frost forecasting to orchardists: a dynamic decision-making approach. *Journal of Applied Meteorology*, **21**: 518–531.
- Kepner, R.A. 1951. Effectiveness of orchard heaters. *California Agricultural Experiment Station Bulletin*, No.723. 30p.
- Koc, A.B., Heinemann, P.H., Crassweller, R.M. & Morrow, C.T. 2000. Automated cycled sprinkler irrigation system for frost protection of apple buds. *Applied Engineering in Agriculture*, **16**(3): 231–240.
- Krasovitski, B., Kimmel, E. & Amir, I. 1996. Forecasting earth surface temperature for the optimal application of frost protection methods. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **63**: 93–102.
- Krasovitski, B., Kimmel, E., Rosenfield, M. & Amir, I. 1999. Aqueous foams for frost protection of plants: stability and protective properties. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **72**(2): 177–185.
- Krewer, G. 1988. Commodity information – Small Fruit pp. 2–13, in: J.D. Gibson (ed). *Cold Weather and Horticultural Crops in Georgia; Effects and Protective Measures*. Extension Horticulture Department, University of Georgia, Publication No. 286.
- Larcher, W. 1982. Typology of freezing phenomena among vascular plants and evolutionary trends in frost acclimation. pp. 3–15, in: P.H. Li and & A. Sakai (eds). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*, Vol. I. Academic Press.
- Laughlin, G.P. & Kalma, J.D. 1987. Frost hazard assessment from local weather and terrain data. *Agricultural and Forestal Meteorology*, **40**: 1–16.
- Laughlin, G.P. & Kalma, J.D. 1990. Frost risk mapping for landscape planning: a methodology. *Theoretical and Applied Climatology*, **42**: 41–51.

- Lawrence, E.N. 1952. Frost investigation. *Meteorological Magazine*, **81**: 65–74.
- Lecomte, C. 1989. Seuils de sensibilité au gel hivernal en grandes cultures. pp. 83–99, in: C. Riou (ed). *Le gel en Agriculture*. Paris: Commission d'Agrométéorologie de l' INRA.
- Leddet, C. & Dereuddre, J. 1989. La résistance au gel des bourgeons. pp. 113–128, in: C. Riou (ed). *Le gel en Agriculture*. Paris: Paris: Commission d'Agrométéorologie de l' INRA.
- Leonard, A.S. 1951. The return-stack orchard heater. *Agricultural Engineering*, **32**: 655–656.
- Levitt, J. 1980. *Responses of Plants to Environmental Stresses*, Vol. 1 (2nd ed). New York NY: Academic Press. 497p.
- Leyden, R. & Rohrbaugh, P.W. 1963. Protection of citrus trees from freeze damage. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, **83**: 344–351.
- Li, P.H. & Palta, J.P. 1978. Frost hardening and freezing stress in tuber-bearing solanum species. pp. 49–71, in: P.H. Li and A. Sakai (eds). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*. Vol. I, New York, NY: Academic Press.
- Li, P.H. 1989. *Low Temperature Stress Physiology in Crops*. Boca Raton, Florida: CRC Press. 203p.
- Lindow, S.E. 1983. Methods of preventing frost injury caused by epiphytic ice nucleation-active bacteria. *Plant Disease*, **67**: 327–333.
- Lindow, S.E. & Connell, J.H. 1984. Reduction of frost injury to almond by control of ice nucleation active bacteria. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **109**: 48–53.
- Lindow, S.E., Arny, D.C., Barchet, W.R. & Upper, C.D. 1978. Bacterial ice nucleation inhibitors and reduction of frost damage to plants (Abstract). *Phytopathology News*, **12**: 138.
- Lomas, J. Gat, Z., Borsuk, Z. & Raz, A. 1989. *Frost Atlas of Israel*. Division of Agricultural Meteorology, Israel Meteorology Service, Bet Dagan. 10 map sheets.
- Martsof, J.D. 1979a. Combination wind machines and heaters for frost protection. pp. 325–326, in: Barfield and Gerber, 1979, q.v.
- Martsof, J.D. 1979b. Heating for frost protection. pp. 391–314, in: Barfield and Gerber, 1979, q.v.
- Martsof, J.D. 1989. Heated irrigation cold protection. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, **102**: 64–69.

- Martsof, J.D., Gerber, J.F., Chen, E.Y., Jackson, H.L., & Rose, A.J.** 1984. What do satellite and other data suggest about past and future Florida freezes? *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, **97**: 17–21.
- Mee, T.R. & Bartholic, J.F.** 1979. Man-made fog. pp. 334–352, *in*: Barfield and Gerber, 1979, q.v.
- Miller, M.P., Turrell, F.M. & Austin, S.W.** 1966. Solid fuel candle type orchard heaters. *California Agriculture*, **20**: 2–4.
- Monteith, J.L. & Unsworth, M.H.** 1990. *Principles of Environmental Physics*. 2nd ed. London: Edward Arnold. 291p.
- Mota, F.S.** 1981. *Meteorologia Agrícola*. 5th ed. São Paulo, Brazil: Liv. Nobel.
- Myers, S.C.** 1988. Commodity information – Small Fruit. pp. 15–20, *in*: J.D. Gibson (ed). *Cold Weather and Horticultural Crops in Georgia: Effects and Protective Measures*. Extension Horticulture Department, University of Georgia, Public. No. 286.
- Nigond, J.** 1960. Le retard au débourrement de la vigne par un traitement à l'acide a-naphtalène acétique et la lutte contre les gelées. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, **46**: 452–457.
- NZAEI [New Zealand Agricultural Engineering Institute] (ed)** 1987. *Pulsed water application for frost protection*. Lincoln College. NZAEI Report No. 342.
- O'Connell, N.V. & Snyder, R.L.** 1999. Cover crops, mulch lower night temperatures in citrus. *California Agriculture*, **53**: 37–40.
- Olien, C.R.** 1967. Freezing stresses and survival. *Annual Review of Plant Physiology*, **18**: 387–408.
- Parsons, R.A., Schultz, H.B. & Lider, L.A.** 1967. Petroleum coke-based bricks for frost protection. *California Agriculture*, **21**: 12–13.
- Pergola, G., Ranieri, M. de & Grassotti, A.** 1983. Utilizzazione della pioggia antigelo su una serra investita a garafano. *Culture Protette*, **12(11)**: 37–42.
- Perraudin, G.** 1965. Résistance au gel printanier de quelques espèces et variétés fruitières. *Phytoma*, **172**: 13–19.
- Perry, K.B.** 1994. *Freeze/frost protection for horticultural crops*. North Carolina State University Cooperative Extension, Horticulture Information Leaflet No.705. 9p.
- Peyer, E.** 1965. La protection des vignes contre le gel par des couvertures. *Phytoma*, **172**: 61–62.

- Powell, A.A. & Himelrick, D.G. 2000. Principles of freeze protection for fruit crops. Alabama Cooperative Extension System, ANR 1057B. <http://www.aces.edu>).
- Proebsting, E.L. 1975. Reducing energy consumption in cold protection. *Horticultural Science*, 10: 463–465.
- Proebsting, E.L. 1978. Adapting cold hardiness concepts to deciduous fruit culture. pp. 267–279, in: P.H. Li and A. Sakai (eds). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*. Vol. I. New York NY: Academic Press Inc.
- Proebsting, E.L. Jr. & Mills, H.H. 1978. Low temperature resistance of developing flower buds of six deciduous fruit species. *Journal American Society Horticultural Science*, 103: 192–198.
- Puffer, R.E. & Turrell, F.M. 1967. *Frost protection in citrus*. University of California DANR Leaflet AXT-108 (rev).
- Raposo, J.R. 1967. A defesa das plantas contra as geadas. Junta de Colonização Interna, Est. Téc. No.7. 111p.
- Raposo, J.R. 1979. A rega por aspersão. Lisbon: Clássica Editora. 339p.
- Ribeiro, A.C. 2003. Estudo do microclima de um pomar de macieiras em Trás-os-Montes, em condições de geada. Avaliação da ventilação forçada como método de luta contra as geadas. PhD thesis, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia. 160p.
- Ribeiro, A.C., de Melo-Abreu, J.P., Gonçalves, D.A. & Snyder, R.L. 2002. Temperature response to the onset of wind machine operation. pp. 317–318, in: Proceedings of the VII Congress of the European Society for Agronomy. Córdoba, Spain, 15–18 July 2002. European Society for Agronomy, Universidad de Córdoba, Córdoba, Spain.
- Rieger, M., Davies, F.S. & Jackson, L.K. 1986. Microsprinkler irrigation and microclimate of young orange trees during frost conditions. *HortScience*, 21: 1372–1374.
- Rodrigo, J. 2000. Spring frost in deciduous fruit trees-morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*, 85(3): 155–173.
- Rogers, W.S. & Modlibowska, I. 1961. Practical frost protection of fruit by water sprinkling. *Grower*, 55: 658–661.
- Rosenberg, N.J., Blad, B.L. & Verma, S.B. 1983. *Microclimate in the Biological Environment*. 2nd ed. New York NY: John Wiley & Sons. 495p.

- Rossi, F., Facini, O., Loreti, S., Nardino, M., Georgiadis, T. & Zinoni, F.** 2002. Meteorological and micrometeorological applications to frost monitoring in northern Italy orchards. *Chemistry & Physics of the Earth*, **27**: 1077–1089.
- Rotondi, A. & Magli, M.** 1998. Valutazione comparativa della sensibilità a minime termiche critiche di cultivar di olivo della Romagna. *Olivo e olio*, **1**: 48–54.
- Sakai, A. & Larcher, W.** 1987. *Frost survival of plants*. New York NY: Springer-Verlag, 321p.
- Savage, E.F., Jensen, R.E. & Hayden, R.A.** 1976. *Peach tree micro-climate and methods of modification*. Georgia Agriculture Experiment Station Research Bulletin, No.192. 44p.
- SCAQMD.** 2002. *Heaters First Regulated in 1950 Orchard smudge pots cooked up pall of smog*. South Coast Air Quality Management District. <http://www.aqmd.gov/>
- Schereiber, K.F.** 1965. Étude du risque de gel à l'ouest du lac de Neuchâtel. *Phytoma*, **172**: 31–34.
- Schultz, H.B.** 1961. Microclimates on spring frost nights in Napa Valley vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, **12**: 81–87.
- Schultz, H.B. & Lider, J.V.** 1968. *Frost protection with overhead sprinklers*. University of California Agricultural Experiment Station Leaflet, No. 201.
- Schultz, H.B., Lider, L.A. & Parsons, R.A.** 1968. Orchard heating with solid fuel heating bricks under minimum favourable conditions. *California Agriculture*, **22**: 4–5.
- Schultz, H.B. & Weaver, R.J.** 1977. Preventing frost damage in vineyards. University of California DANR, Leaflet No.2139.
- Siminovitch, D., Singh, J. & de la Roche, I.A.** 1978. Freezing behaviour of free protoplasts of winter rye. *Cryobiology*, **15**: 205–213.
- Smith, L.P.** 1975. The modes of agricultural meteorology – Hazards. *Developments in Atmospheric Science*, **3**: 167–171.
- Snyder, R.L. & Connell, J.H.** 1993. Ground cover height affects pre-dawn orchard floor temperature. *California Agriculture*, **47**: 9–12.
- Snyder, R.L., Paw U, K.T. & Thompson, J.F.** 1987. *Passive frost protection of trees and vines*. University of California DANR Leaflet No.21429.
- Snyder, R.L., Pherson, J.E. & Hatfield, J.L.** 1981. Removing leaf litter doesn't protect oranges from frost. *California Agriculture*, **35**: 12–13.

- Stebelsky, I.** 1983. Wheat yields and weather hazards in the Soviet Union. pp. 202–218, *in*: K. Hewitt (ed). *Interpretations of Calamity*. Boston, Mass.: Allen & Unwin.
- Sutherland, R.A.** 1980. A short-range objective nocturnal temperature forecasting model. *Journal of Applied Meteorology*, **19**: 247–255.
- Tetens, O.** 1930. Über einige meteorologische Begriffe. *Zeitschrift für Geophysik*, **6**: 297–309.
- Tiefenbacher, J.P., Hagelman, R.R. & Secora, R.J.** 2000. California citrus freeze of December 1998: Place, Perception and Choice – Developing a Disaster Reconstruction Model. Boulder, Colorado: Natural Hazards Research and Applications Information Center, University of Colorado. Quick Response Research Report #125. 31p.
- Turrell, F.M. & Austin, S.W.** 1969. Thermal conductivity and mass in stems, leaves and fruit in relation to frost resistance. pp. 601–608, *in*: H.D. Chapman (ed). *Proceedings of the First International Citrus Symposium, Vol. II*. University of California, Riverside, 16–26 March 1968. California: Publications Department of the University of California.
- Valmari, A.** 1966. On night frost research in Finland. Suomen maataloustieteellisen seuran julkaisu = *Acta Agralia Fennica*, **107**: 191–214.
- Vaysse, P. & Jourdain, J.** 1992. *Protection des vergers contre les gelées printanières*. Paris: CTIFL. 112p.
- Venner, R. & Blank, S.C.** 1995. Reducing citrus revenue losses from frost damage: wind machines and crop insurance. Division of Agricultural and Natural Resources, University of California, Giannini Foundation Information Series, No. 95-1. 62p.
- Ventskevich, G.Z.** [1958]. *Agrometeorology*. Translated from the Russian by the Israel Programme for Scientific Translation, Jerusalem, 1961.
- Vitkevich, V.I.** [1960]. *Agricultural Meteorologist*. Translated from the Russian by the Israel Programme for Scientific Translation, Jerusalem, 1963.
- Von Legerke, H.J.** 1978. On the short-term predictability of frost and frost protection – a case study on Dunsandle tea estate in Nilgiris (south India). *Agricultural Meteorology*, **19**: 1–10.
- Wang, C.Y. & Wallace, H.A.** 2003. Chilling and freezing injury. *In*: K.C Gross, C.Y. Wang and M. Saltveit (eds). *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*. USDA Handbook Number, No.66. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/index.html> (downloaded 8 November 2002).

- Weiser, C.J., Quamme, H.A., Probesting, E.L., Burke, M.J. & Yelenosky, G. 1979. Plant freeze injury and resistance. pp. 55–84, *in*: Barfield and Gerber, 1979, q.v.
- Westwood, M.N. 1978. Dormancy and plant hardiness. pp. 299–332, *in*: M.N. Westwood (ed). *Temperate-zone Pomology*. San Francisco, California: Freeman.
- Wheaton, R.Z. & Kidder, E.H. 1964. The effect of evaporation on frost protection by sprinkling. *Quarterly Bulletin of the Michigan Agricultural Experiment Station*, **46**: 431–437.
- White, G.F. & Haas, J.E. 1975. *Assessment of Research on Natural Hazards*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press. 487p.
- Whiteman, T.M. 1957. Freezing points of fruits, vegetables, and florist stocks. *USDA Market Research Report*, No.196. 32p.
- Wright, J.L. & Jensen, M.E. 1972. Peak water requirements of crops in Southern Idaho. *Journal of Irrigation and Drainage*, ASCE, **96**(IR1): 193–201.
- Yoshida, S. & Sakai, A. 1968. The effect of thawing rate on freezing injury in plants. II. The change in the amount of ice in leaves as produced by the change in temperature. *Low Temperature Science, Series Biological Sciences, B*, **26**: 23–31.
- Young, F.D. 1920. Forecasting minimum temperatures in Oregon and California. *Monthly Weather Review*, **16**: 53–60.
- Zinoni F, Rossi, F, Pitacco, A. & Brunetti, A. 2002a. *Metodi di previsione e difesa dalle gelate tardive*. Bologna, Italy: Calderoni Edagricole. 171p.
- Zinoni F, Antolini G, Campisi T, Marletto V & Rossi F. 2002b. Characterization of the Emilia-Romagna region in relation to late frost risk. *Physics and Chemistry of the Earth*, **27**: 1091–1101.

PREFIJOS Y FACTORES DE CONVERSIÓN

PREFIJOS

Las unidades pueden utilizarse como tales o como múltiplos o fracciones de diez:

PREFIJO	POTENCIA DE DIEZ	
T	tera	10^{12}
G	giga	10^9
M	mega	10^6
k	kilo	10^3
h	hecto	10^2
da	deca	10^1
d	deci	10^{-1}
c	centi	10^{-2}
m	mili	10^{-3}
μ	micro	10^{-6}
n	nano	10^{-9}
p	pico	10^{-12}
f	femto	10^{-15}
a	ato	10^{-18}

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1\,000 \text{ mm}$$

$$1 \text{ m}^2 = 10\,000 \text{ cm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^9 \text{ mm}^3$$

$$1 \text{ Mg m}^{-3} = 10^3 \text{ kg m}^{-3} = 1 \text{ g cm}^{-3}$$

$$1 \text{ kPa} = 10 \text{ mbar}$$

$$1 \text{ julio} = 0,2388 \text{ cal}$$

$$1 \text{ vatio} = 1 \text{ J s}^{-1} = 0,8598 \text{ kcal h}^{-1}$$

$$1 \text{ Wm}^{-2} = 0,8598 \text{ kcal m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$1 \text{ Wm}^{-2} = 1,433 \times 10^{-3} \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$$

$$1 \text{ Hp} = 745,7 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 0,001431 \text{ Hp}$$

$$\text{Flujo de agua (m}^3 \text{ s}^{-1}) = 0,55 \times \text{Potencia de bombeo (W)}/\text{Presión (kPa)}$$

$$\text{Flujo de agua (litro s}^{-1}) = 5,43 \times \text{Potencia de bombeo (kilovatios)}/\text{presión (bares)}$$

Caballos de freno fuerza son los caballos de un motor eléctrico. No utilizar para motores de gasoil.

FACTORES DE CONVERSIÓN

Temperatura

Unidad estándar: grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F}-32) 5/9$

kelvin (K) $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$

Presión (presión del aire, presión de vapor)

Unidad estándar: kilopascal (kPa)

milibar (mbar) $1 \text{ mbar} = 0,1 \text{ kPa}$

bar $1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$

centímetro de agua (cm) $1 \text{ cm de agua} = 0,09807 \text{ kPa}$

milímetros de mercurio (mm Hg) $1 \text{ mm Hg} = 0,1333 \text{ kPa}$

atmósfera (atm) $1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$

libra por pulgada al cuadrado (psi) $1 \text{ psi} = 6,896 \text{ kPa}$

Velocidad del viento

Unidad estándar: metro por segundo (m s^{-1})

kilometro por día (km día^{-1}) $1 \text{ km día}^{-1} = 0,01157 \text{ m s}^{-1}$

milla náutica /hora (nudo) $1 \text{ nudo} = 0,5144 \text{ m s}^{-1}$

pies por segundo (ft s^{-1}) $1 \text{ ft/s}^{-1} = 0,3048 \text{ m s}^{-1}$

Radiación

Unidad estándar: megajulio por metro cuadrado y por día ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

o como evaporación equivalente en mm por día (mm día^{-1})

evaporación equivalente (mm/día) $1 \text{ mm día}^{-1} = 2,45 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$

julio por cm^2 por día ($\text{J cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) $1 \text{ J cm}^{-2} \text{ día}^{-1} = 0,01 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$

calorías por cm^2 por día ($\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J} = 4,1868 \cdot 10^{-6} \text{ MJ}$

$1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1} = 4,1868 \cdot 10^{-2} \text{ MJ}$

$\text{m}^{-2} \text{ día}^{-1}$

vatio por m^2 (W m^{-2}) $1 \text{ W} = 1 \text{ J s}^{-1}$

$1 \text{ W m}^{-2} = 0,0864 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$

PROPIEDADES FÍSICAS

Propiedades del Agua

T °C	ρ_w Mg m ⁻³	λ kJ mol ⁻¹
0	0,99987	45,0
4	1,00000	44,8
10	0,99973	44,6
20	0,99823	44,1
30	0,99568	43,7
40	0,99225	43,4

T = temperatura, ρ_w = densidad del agua y λ = calor latente de vaporización

Propiedades de los gases a $P_b = 101,3$ kPa de presión barométrica

T °C	ρ mol m ⁻³
0	44,6
5	43,8
10	43,0
15	42,3
20	41,6
25	40,9
30	40,2
35	39,5
40	38,9

T = temperatura y ρ = densidad

Emitancia del cuerpo negro ($W m^{-2}$) como una función de la temperatura por debajo de cero (°C)

°C	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9
-14	256	255	255	255	254	254	253	253	253	252
-13	260	259	259	258	258	258	257	257	257	256
-12	264	263	263	262	262	262	261	261	260	260
-11	268	267	267	267	266	266	265	265	265	264
-10	272	271	271	271	270	270	269	269	269	268
-9	276	276	275	275	274	274	274	273	273	272
-8	280	280	279	279	279	278	278	277	277	276
-7	284	284	284	283	283	282	282	282	281	281
-6	289	288	288	287	287	287	286	286	285	285
-5	293	293	292	292	291	291	291	290	290	289
-4	298	297	297	296	296	295	295	294	294	294
-3	302	302	301	301	300	300	299	299	298	298
-2	306	306	306	305	305	304	304	303	303	302
-1	311	311	310	310	309	309	308	308	307	307
0	316	315	315	314	314	313	313	312	312	311

Calor específico del agua	$75,4 \text{ J mol}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Calor latente de fusión	$6,0 \text{ kJ mol}^{-1}$
Constante psicrométrica empírica*	$0,000660 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$
Calor específico del aire	$C_p = 29,3 \text{ J mol}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Masa molecular del aire	$M_a = 29 \text{ g mol}^{-1}$
Masa molecular del agua	$M_w = 18 \text{ g mol}^{-1}$
Constante de los gases	$R = 8,3143 \text{ J mol}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Constante de Stefan-Boltzmann	$5,6697 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

*Nota: *Ferrel (1886) según Harrison (1963)*

CÁLCULOS DE LA HUMEDAD

Presión barométrica (P_b) en función de la elevación (E_L):

$$P_b = 101,3 \left[\frac{293 - 0,0065E_L}{293} \right]^{5,26} \quad P_b \text{ en kPa, } E_L \text{ en m} \quad \text{Ec. A3.1}$$

Calor latente de vaporización (λ) en función de la temperatura del aire (T):

$$\lambda = 2\,501 - 2,361T \quad (\lambda \text{ en kJ kg}^{-1}, T \text{ en } ^\circ\text{C}) \quad \text{Ec. A3.2}$$

La presión de vapor a saturación sobre el agua es la presión de vapor del aire cuando el número de moléculas de agua que se condensan iguala al número de las que se evaporan desde una superficie plana de agua a la misma temperatura (T) del agua y del aire. Una ecuación para la presión de vapor a saturación (e_s) sobre el agua a la temperatura (T) viene dada por:

$$e_s = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27T}{T + 237,3} \right] \quad (e_s \text{ en kPa, } T \text{ en } ^\circ\text{C}) \quad \text{Ec. A3.3}$$

Cuando el número de moléculas de agua que se subliman iguala al número de las que se depositan sobre una superficie plana de hielo a la misma temperatura (T) del agua y del aire, la presión de vapor a saturación (e_s) sobre el hielo a la temperatura (T) viene dada por:

$$e_s = 0,6108 \exp \left[\frac{21,875T}{T + 265,5} \right] \quad (e_s \text{ en kPa, } T \text{ en } ^\circ\text{C}) \quad \text{Ec. A3.4}$$

La temperatura del punto de rocío (T_d) a partir de la temperatura del aire (T) y la humedad relativa (%):

$$T_d = \frac{237,3 \left(\frac{\ln(RH/100)}{17,27} + \frac{T}{237,3 + T} \right)}{1 - \left(\frac{\ln(RH/100)}{17,27} + \frac{T}{237,3 + T} \right)} \quad (T_d \text{ en } ^\circ\text{C}, RH \text{ en } \%, T \text{ en } ^\circ\text{C}) \quad \text{Ec. A3.5}$$

La temperatura del punto de congelación (T_i) a partir de la temperatura del aire (T) y de la humedad relativa (%):

$$T_i = \frac{265,5 \left(\frac{\ln(RH/100)}{21,875} + \frac{T}{265,5 + T} \right)}{1 - \left(\frac{\ln(RH/100)}{21,875} + \frac{T}{265,5 + T} \right)} \quad (T_i \text{ en } ^\circ\text{C}, RH \text{ en } \%, T \text{ en } ^\circ\text{C}) \quad \text{Ec. A3.6}$$

Observa que la presión de vapor (e) es igual a la presión de vapor a saturación (e_d) a la temperatura del punto de rocío (T_d) y, para temperaturas por debajo de cero, a la presión de vapor a saturación (e_i) a la temperatura del punto de formación del hielo (T_i).

La temperatura del punto de rocío (T_d) a partir de la presión de vapor ($e = e_d$) sobre el agua:

$$b = \frac{\ln(e/0,6108)}{17,27}$$

$$T_d = 237,3 \left(\frac{b}{1-b} \right) \quad (T_d \text{ en } ^\circ\text{C}, e \text{ en kPa}) \quad \text{Ec. A3.7}$$

La temperatura del punto de formación de hielo (T_i) a partir de la presión de vapor ($e = e_i$) sobre el hielo:

$$b_i = \frac{\ln(e/0,6108)}{21,875}$$

$$T_i = 265,5 \left(\frac{b}{1-b} \right) \quad (T_i \text{ en } ^\circ\text{C}, e \text{ en kPa}) \quad \text{Ec. A3.8}$$

La pendiente de la presión de vapor a saturación sobre agua líquida a la temperatura T :

$$\Delta = \frac{4098e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (\Delta \text{ en kPa } ^\circ\text{C}^{-1}, e_s \text{ en kPa}, T \text{ en } ^\circ\text{C}) \quad \text{Ec. A3.9}$$

La constante psicrométrica (γ) como una función de la presión barométrica (P_b) y la temperatura del bulbo húmedo (T_w), según Fritschen y Gay (1979):

$$\gamma = 0,000660(1 + 0,00115T_w)P_b \quad (\gamma \text{ en kPa } ^\circ\text{C}^{-1}, P_b \text{ en kPa}) \quad \text{Ec. A3.10}$$

La presión de vapor a saturación (e_d) a la temperatura del aire (T_d):

$$e_d = 0,6108 \exp\left[\frac{17,27T_d}{T_d + 237,3}\right] \quad (e_d \text{ en kPa}, T_d \text{ en } ^\circ\text{C}) \quad \text{Ec. A3.11a}$$

La presión de vapor ($e = e_d$) a la temperatura del punto de rocío (T_d):

$$e_d = 0,6108 \exp\left[\frac{17,27T_d}{T_d + 237,3}\right] \quad (e_d \text{ en kPa}, T_d \text{ en } ^\circ\text{C}) \quad \text{Ec. A3.11b}$$

La presión de vapor ($e = e_i$) a la temperatura de formación del hielo por debajo de cero (T_i):

$$e_i = 0,6108 \exp\left[\frac{21,875T_i}{T_i + 265,5}\right] \quad (e_i \text{ en kPa}, T_i \text{ en } ^\circ\text{C}) \quad \text{Ec. A3.12}$$

La temperatura equivalente (T_e) a partir de la temperatura T , la presión de vapor e , y la constante psicrométrica γ :

$$T_e = T + \frac{e}{\gamma} \quad (T_e \text{ y } T \text{ en } ^\circ\text{C}, e \text{ en kPa}, \gamma \text{ en kPa } ^\circ\text{C}^{-1}) \quad \text{Ec. A3.13}$$

La humedad absoluta (χ) a partir de la presión de vapor (e) y de la temperatura (T):

$$\chi = \frac{2165 e}{T + 273,16} \quad (\chi \text{ en g m}^{-3}, e \text{ en kPa}, T \text{ en } ^\circ\text{C}) \quad \text{Ec. A3.14}$$

La presión de vapor (e) a partir de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del bulbo seco (T) y del bulbo húmedo (T_w) y de la presión barométrica (P_b):

$$e = e_w - 0,000660(1 + 0,00115T_w)(T - T_w)P_b \quad (e \text{ en kPa}, P_b \text{ en kPa}) \quad \text{Ec. A3.15}$$

donde e_w es la presión de vapor a saturación a la temperatura del bulbo húmedo. Se calcula sustituyendo T_w por T en la Ecuación A3.3.

La presión de vapor (e) a partir de la temperatura del bulbo seco (T) y la del bulbo helado (T_f) ($^{\circ}\text{C}$) y de la presión barométrica (P_b):

$$e = e_f - 0,000582(1 + 0,00115T_f)(T - T_f)P_b \quad (e \text{ en kPa}, P_b \text{ en kPa}) \quad \text{Ec. A3.16}$$

donde e_f es la presión de vapor a saturación a la temperatura del bulbo helado. Se calcula sustituyendo T_f por T en la Ecuación A3.4.

TABLA A3.1

Presión de vapor a saturación (kPa) sobre una superficie lisa de agua líquida calculada utilizando la fórmula de Tetens (Ecuación A3.4) para una temperatura del aire entre 0,0 $^{\circ}\text{C}$ y -14,9 $^{\circ}\text{C}$

	TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}$									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-14	0,207	0,205	0,203	0,202	0,200	0,199	0,197	0,195	0,194	0,192
-13	0,224	0,223	0,221	0,219	0,217	0,216	0,214	0,212	0,210	0,209
-12	0,243	0,241	0,240	0,238	0,236	0,234	0,232	0,230	0,228	0,226
-11	0,264	0,262	0,260	0,258	0,256	0,253	0,251	0,249	0,247	0,245
-10	0,286	0,283	0,281	0,279	0,277	0,275	0,272	0,270	0,268	0,266
-9	0,309	0,307	0,304	0,302	0,300	0,297	0,295	0,293	0,290	0,288
-8	0,334	0,332	0,329	0,327	0,324	0,322	0,319	0,317	0,314	0,312
-7	0,361	0,359	0,356	0,353	0,350	0,348	0,345	0,342	0,340	0,337
-6	0,390	0,387	0,384	0,381	0,378	0,376	0,373	0,370	0,367	0,364
-5	0,421	0,418	0,415	0,412	0,409	0,405	0,402	0,399	0,396	0,393
-4	0,454	0,451	0,447	0,444	0,441	0,437	0,434	0,431	0,428	0,424
-3	0,490	0,486	0,482	0,479	0,475	0,472	0,468	0,465	0,461	0,458
-2	0,527	0,524	0,520	0,516	0,512	0,508	0,504	0,501	0,497	0,493
-1	0,568	0,564	0,559	0,555	0,551	0,547	0,543	0,539	0,535	0,531
0	0,611	0,606	0,602	0,598	0,593	0,589	0,585	0,580	0,576	0,572

TABLA A3.2

Presión de vapor a saturación (kPa) sobre una superficie lisa de agua líquida calculada utilizando la fórmula de Tetens (Ecuación A3.4) para una temperatura del aire entre 0 °C y 14,9 °C

	TEMPERATURA °C									
	-0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9
0	0,611	0,615	0,620	0,624	0,629	0,633	0,638	0,643	0,647	0,652
1	0,657	0,661	0,666	0,671	0,676	0,681	0,686	0,691	0,696	0,701
2	0,706	0,711	0,716	0,721	0,726	0,731	0,737	0,742	0,747	0,752
3	0,758	0,763	0,769	0,774	0,780	0,785	0,791	0,796	0,802	0,808
4	0,813	0,819	0,825	0,831	0,836	0,842	0,848	0,854	0,860	0,866
5	0,872	0,878	0,885	0,891	0,897	0,903	0,910	0,916	0,922	0,929
6	0,935	0,942	0,948	0,955	0,961	0,968	0,975	0,981	0,988	0,995
7	1,002	1,009	1,016	1,023	1,030	1,037	1,044	1,051	1,058	1,065
8	1,073	1,080	1,087	1,095	1,102	1,110	1,117	1,125	1,133	1,140
9	1,148	1,156	1,164	1,172	1,179	1,187	1,195	1,203	1,212	1,220
10	1,228	1,236	1,245	1,253	1,261	1,270	1,278	1,287	1,295	1,304
11	1,313	1,321	1,330	1,339	1,348	1,357	1,366	1,375	1,384	1,393
12	1,403	1,412	1,421	1,431	1,440	1,449	1,459	1,469	1,478	1,488
13	1,498	1,508	1,517	1,527	1,537	1,547	1,558	1,568	1,578	1,588
14	1,599	1,609	1,619	1,630	1,641	1,651	1,662	1,673	1,684	1,694

TABLA A3.3

Presión de vapor a saturación (kPa) sobre una superficie lisa de hielo calculada utilizando la fórmula de Tetens (Ecuación A3.4) para una temperatura del aire entre 0,0 °C y -14,9 °C

	TEMPERATURA °C									
	-0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9
-14	0,181	0,179	0,177	0,176	0,174	0,173	0,171	0,169	0,168	0,166
-13	0,198	0,196	0,194	0,193	0,191	0,189	0,187	0,186	0,184	0,182
-12	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,204	0,202	0,200
-11	0,237	0,235	0,233	0,231	0,229	0,227	0,225	0,223	0,221	0,219
-10	0,259	0,257	0,255	0,253	0,250	0,248	0,246	0,244	0,242	0,239
-9	0,284	0,281	0,279	0,276	0,274	0,271	0,269	0,266	0,264	0,262
-8	0,310	0,307	0,304	0,302	0,299	0,296	0,294	0,291	0,289	0,286
-7	0,338	0,335	0,332	0,329	0,326	0,323	0,321	0,318	0,315	0,312
-6	0,368	0,365	0,362	0,359	0,356	0,353	0,350	0,347	0,344	0,341
-5	0,401	0,398	0,395	0,391	0,388	0,385	0,381	0,378	0,375	0,372
-4	0,437	0,433	0,430	0,426	0,422	0,419	0,415	0,412	0,408	0,405
-3	0,476	0,472	0,468	0,464	0,460	0,456	0,452	0,448	0,445	0,441
-2	0,517	0,513	0,509	0,505	0,500	0,496	0,492	0,488	0,484	0,480
-1	0,562	0,558	0,553	0,548	0,544	0,539	0,535	0,530	0,526	0,522
0	0,611	0,606	0,601	0,596	0,591	0,586	0,581	0,576	0,572	0,567

SERIE FAO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

1. Africover: Specifications for geometry and cartography, 2000 (E)
2. Terrestrial Carbon Observation: The Ottawa assessment of requirements, status and next steps, 2002 (E)
3. Terrestrial Carbon Observation: The Rio de Janeiro recommendations for terrestrial and atmospheric measurements, 2002 (E)
4. Organic agriculture: Environment and food security, 2003 (E, S)
5. Terrestrial Carbon Observation: The Frascati report on *in situ* carbon data and information, 2002 (E)
6. The Clean Development Mechanism: Implications for energy and sustainable agriculture and rural development projects, 2003 (E)*
7. The application of a spatial regression model to the analysis and mapping of poverty, 2003 (E)
8. Land Cover Classification System (LCCS), version 2, 2005 (E)
9. Coastal GTOS. Strategic design and phase 1 implementation plan, 2005 (E)
10. Frost Protection: fundamentals, practice and economics - Volume I and II + CD, 2005 (E), 2010 (S)
11. Mapping biophysical factors that influence agricultural production and rural vulnerability, Geo-spatial Data and Information, by Harri Van Velthuizen "et al", ~90 pages 2006 (E)
12. Rapid Agriculture Disaster Assessment Routine (RADAR) 2008 (E)
13. Disaster risk management systems analysis: A guide book, 2008 (E)
14. Improved Adaptive Capacity to Climate Change for Sustainable Livelihoods in the Agriculture Sector, 2008 (E)

Disponibilidad: 2010

Ar Árabe

F Francés

Multil Multilingual

C Chino

P Portugués

* Agotado

E Inglés

S Español

** En preparación



Los documentos técnicos de FAO están disponibles a través de los agentes de ventas autorizados por FAO o directamente desde:

FAO - Grupo de Ventas y Comercialización
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Roma - Italia





Los cultivos sensibles pueden dañarse cuando el aire cae por debajo de los 0 °C, con un efecto significativo en la producción. Por ejemplo, en los EE.UU. hay más pérdidas económicas por el daño que producen las heladas que relacionadas con cualquier otro fenómeno meteorológico (White y Haas, 1975). Por ello, los impactos en los agricultores afectados y en la economía local son, a menudo, devastadores. Sin embargo, a pesar de su importancia, la información disponible sobre cómo proteger los cultivos de las heladas es relativamente escasa. En consecuencia, existe la necesidad de disponer de información

simplificada y al alcance de todos los agricultores para ayudarlos a hacer frente a este problema tan importante. En este libro se presentan y se discuten

los aspectos de distribución de las heladas, los aspectos económicos e históricos, los aspectos físicos y biológicos, y los métodos de protección. El libro contiene un conjunto amplio de información, desde lo más básico a lo más complejo; sin embargo, está escrito pensando en ayudar a los agricultores para que comprendan mejor la protección contra las heladas y para desarrollar estrategias para combatir las pérdidas de los cultivos debidas a las heladas.



Publicaciones de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bioenergía

www.fao.org/nr

www.fao.org/climatechange

www.fao.org/bioenergy

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)

www.fao.org

