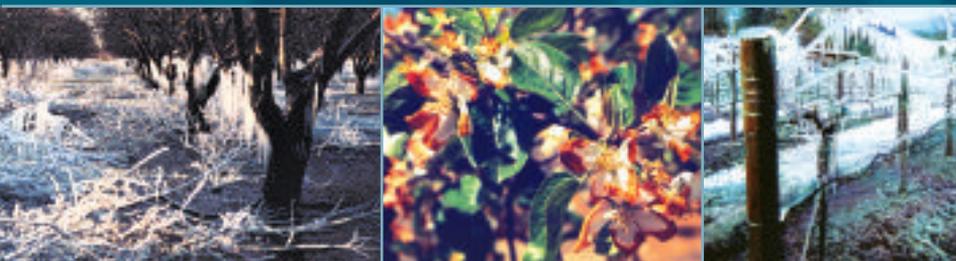


Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía



Volumen 1

SERIE SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES
MEDIO AMBIENTE CAMBIO CLIMÁTICO BIOENERGÍA [MONITOREO Y EVALUACIÓN]



Fotos de la portada Izquierda: *Acumulación de hielo por el uso de aspersores bajo la cubierta en el Norte de California* (fotógrafo: Richard L. Snyder)
Medio: *Flores de manzano dañadas por helada mostrando los pétalos dañados unos días después de la helada en una plantación de frutales en el Norte de Portugal* (fotógrafo: António Castro Ribeiro)
Derecha: *Acumulación de hielo por la aplicación de agua con aspersores sobre cultivo de viña* (fotógrafo: Robert Corrella)

Fotos de la contraportada Izquierda: *Experimento de aspersores sobre árboles en el Norte de California* (Fotógrafo desconocido)
Medio: *Anillos y manchas de "Russet" desarrollados en manzanas dañadas por el frío en el Norte de Portugal* (fotógrafo: António Castro Ribeiro)
Derecha: *Utilización de aros y plásticos para proteger plantas de Alstroemeria (Lirio del Perú) en el Norte de California* (fotógrafo: Richard L. Snyder)

Imagen de fondo en esta página Ilustración elaborada a partir de "L'Encyclopédie Diderot et D'Alembert"

Los ejemplares de las publicaciones de FAO pueden solicitarse en: Grupo de Ventas y Comercialización - División de Información, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)
Viale delle Terme di Caracalla - 00153 Rome, Italy

E-mail: publications-sales@fao.org
Fax: (+39) 06 57053360
Web site: <http://www.fao.org>



Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía

Volumen ①

Richard L Snyder

University of California, Atmospheric Science,
Department of Land, Air and Water Resources - Davis, California, USA

J. Paulo de Melo-Abreu

Technical University of Lisbon, Instituto Superior de Agronomia (ISA)
Departamento de Ciências do Ambiente
Apartado 3381, 1305-905 Lisboa, Portugal

Traducción: **Josep M. Villar-Mir**

Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria
Universidad de Lleida, Cataluña, España.

10

SERIE SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES [MONITOREO Y EVALUACIÓN]
MEDIO AMBIENTE CAMBIO CLIMÁTICO BIOENERGÍA

Las conclusiones que se presentan en esta publicación se consideran las más convenientes en el momento de su edición. Las conclusiones pueden modificarse en vista de mayores conocimientos obtenidos en posteriores etapas del proyecto.

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

ISBN 978-92-5-306504-2

Todos los derechos reservados. La FAO fomenta la reproducción y difusión parcial o total del material contenido en este producto informativo. Su uso para fines no comerciales se autorizará de forma gratuita previa solicitud. La reproducción para la reventa u otros fines comerciales, incluidos fines educativos, podría estar sujeta a pago de derechos o tarifas.

Las solicitudes de autorización para reproducir o difundir material de cuyos derechos de autor sea titular la FAO y toda consulta relativa a derechos y licencias deberán dirigirse

por correo electrónico a:
copyright@fao.org

o por escrito al:
Jefe de la
Subdivisión de Políticas y Apoyo en Materia de Publicaciones
Oficina de Intercambio de Conocimientos
Investigación y Extensión, FAO
Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia.

© FAO 2010

PRÓLOGO

La agrometeorología trata de las interacciones entre los factores meteorológicos e hidrológicos con la agricultura en el sentido más amplio, incluyendo la horticultura, la ganadería y la producción forestal. Su objetivo es estudiar y definir dichas interacciones, y luego aplicar el conocimiento de la atmósfera para el uso práctico en la agricultura.

A pesar de los impresionantes avances tecnológicos en el campo de la agricultura en las últimas décadas, la producción agrícola continúa dependiendo de la meteorología y del clima. Es una realidad que la variabilidad climática jugará un papel aún más grande que en el pasado, porque no habrá suficiente provisión de alimentos para abastecer a toda la población mundial atendiendo a la tasa actual de crecimiento, a no ser que mejore la tecnología en agricultura, que los recursos naturales se usen con más eficiencia y que los que tomen decisiones tengan información actualizada de las principales circunstancias que afectan a los cultivos.

El principal papel de la agrometeorología moderna es asegurar que los investigadores, planificadores, y agricultores dispongan de datos, herramientas y del conocimiento necesario para enfrentarse a los problemas de la producción agrícola provocados por las variaciones meteorológicas y climáticas. Este libro es una contribución importante en esta dirección y sigue la filosofía de la División de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bioenergía (Environment, Climate Change and Bioenergy Division) de proporcionar herramientas útiles para ayudar a la comunidad agrícola; ilustra que las interacciones entre agricultores y meteorólogos pueden ser muy provechosas si sus respectivas disciplinas entienden las necesidades y limitaciones de cada uno.

La economía juega una parte importante en cualquier actividad productiva como lo es la agricultura. En este libro, varios métodos de protección contra las heladas y sus riesgos asociados son analizados desde un punto de vista económico. Los Servicios Agrometeorológicos Nacionales y los Servicios de Extensión se beneficiarán claramente de la utilización de aplicaciones informáticas sencillas que sirven para aconsejar a los clientes para que reduzcan las pérdidas y establezcan los beneficios. Los consejos sobre la protección contra las heladas pueden constituir una valiosa fuente de ingresos para los Servicios Agrometeorológicos Nacionales en países en vías de desarrollo.



Peter Holmgren

Director

División de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bioenergía
Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

RESUMEN

Este libro describe los aspectos físicos y biológicos de las heladas, el daño que ocasionan, los métodos de protección activos y pasivos así como la evaluación económica de las técnicas de protección activa. Se utiliza el balance de energía durante la noche para demostrar cómo hay que utilizar los métodos de protección para reducir la posibilidad de daño por helada. El libro proporciona programas y métodos sencillos que ayudan a predecir cómo evolucionará la temperatura y que ayudan a determinar el momento de actuar con métodos activos. También se presentan aquellos aspectos de la fisiología de las plantas que se relacionan con el daño por helada así como las temperaturas críticas para un conjunto muy amplio de cultivos y plantas ornamentales. Finalmente se incluye un programa de análisis económico, con ejemplos, para facilitar a los usuarios la evaluación de la eficacia en los costes de varios métodos activos.

A pesar de que el libro contiene una considerable cantidad de información técnica, está escrito, pensando más en los agricultores que en los científicos, como una guía práctica de la protección contra las heladas.

Protección contra las Heladas: fundamentos, práctica y economía volumen 1 y 2

Por Richard L Snyder, J. Paulo de Melo-Abreu, Scott Matulich (vol. 2)

Vol. 1: 240 páginas, 60 figuras, 35 tablas

Vol. 2: 72 páginas, 35 figuras, 5 tablas

CD-ROM CD-ROM incluido en el Vol.2

Serie FAO sobre el medio ambiente y la gestión de los recursos naturales, N. 10, FAO, Roma, 2010.

La traducción se ha realizado del libro original en inglés editado en el año 2005.

Palabras clave:

Protección contra la congelación, predicción de temperaturas, modificación meteorológica, ventiladores, estufas, bacterias activas nucleadoras de hielo, drenaje de aire frío, microclima, transferencia de calor.

Esta serie reemplaza las siguientes:

Environment and Energy Series

Remote Sensing Centre Series

Agrometeorology Working Paper

Una lista de los documentos publicados en las series mencionadas y otras informaciones pueden encontrarse en las páginas web:

www.fao.org/climatechange

www.fao.org/bioenergy

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Dr. Michele Bernardi y al Dr. Rene Gomme del Grupo de Agrometeorología de la División de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bioenergía del Departamento de Ordenación de Recursos Naturales y Medio ambiente de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) por su asistencia en la planificación y redacción del libro sobre heladas. Queremos agradecer a nuestros amigos el Dr. Luciano Mateos por animarnos a escribir el libro y a la Dr. Helena Gómez MacPherson y Ángela Scappaticci por su amistad y apoyo durante las visitas a la FAO en Roma. Se agradece a los profesores Donatella Spano y Pietro Deidda del Dipartimento di Economia e Sistemi Arborei por darnos apoyo y facilidades durante parte de la preparación del libro en la Universidad de Sassari, Italia. También queremos dar las gracias al Dr. Kyaw Tha Paw U y al Dr. Michael J. Singer del Department of Land, Air and Water Resources por su apoyo continuado en este esfuerzo.

Los autores agradecen a sus respectivas instituciones, Department of Land, Air and Water Resources – University of California en Davis; Instituto Superior de Agronomía – Technical University of Lisbon; y al Department of Agricultural and Resource Economics – Washington State University. También agradecemos a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y a la Universidad de California por el apoyo financiero al Dr. Zinder durante su tiempo de permiso sabático en Italia. Agradecemos a la Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) y a la Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento por el apoyo financiero del Dr. de Melo-Abreu en la University of California en Davis para trabajar en este libro.

Los autores agradecen al Dr. António Castro Ribeiro por el suministro de datos de su tesis, que nos ayudó a desarrollar el análisis para las máquinas de viento. También agradecemos a Neil O’Connell del Tulare County Cooperative Extension – University of California por suministrar información sobre los costes de la protección contra heladas. Además, queremos agradecer a todas las personas que ha contestado a la encuesta sobre Tecnologías Apropiadas. Para acabar queremos agradecer a los revisores del libro por sus comentarios y sugerencias.

La edición final del lenguaje y estilo en nombre de FAO fue realizado por Thorgeir Lawrence, Reykjavik, y la preparación de la edición fue realizada por Studio Bartoleschi en Roma, Italia.

Los esfuerzos de coordinación para la edición en español hay que agradecerse a Dr. Claudia Hiepe de la División de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bioenergía de FAO. El profesor Josep M Villar-Mir de la Universidad de Lleida (Cataluña, España) quiere agradecer las sugerencias y comentarios de José Paulo de Melo e Abreu, y de los ingenieros agrícolas Laia Villar y Sergi Valls en la edición final del texto en español.

CONTENIDOS

iii	Prólogo
iv	Resumen
v	Agradecimientos
x	Acrónimos utilizados en el texto
xi	Listado de los principales símbolos
xiv	Resumen ejecutivo
1	1 – INTRODUCCIÓN
1	Generalidades
2	Definiciones de congelación y de helada
4	Las heladas de radiación
8	Las heladas de advección
9	Clasificación de los métodos de protección
9	Evaluación geográfica del daño por helada a los cultivos
12	Importancia económica del daño por heladas
13	Historia de la protección contra heladas
19	2 – LOS MÉTODOS RECOMENDADOS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS HELADAS
19	Introducción
19	La sensibilidad de los cultivos y las Temperaturas críticas
20	La protección pasiva
21	La selección del emplazamiento y manejo
22	El drenaje de aire frío
23	La selección de plantas
23	La cobertura con árboles
24	La gestión de la nutrición de las plantas
24	El manejo de plagas
24	Una poda adecuada
25	Cobertura de las plantas
25	Evitar el laboreo del suelo
25	El riego
26	Eliminación de las cubiertas de hierba
26	Las coberturas de los suelos
27	Pintar los troncos y envolturas
27	El control bacteriano
28	La protección activa
28	Las estufas
31	Los ventiladores
32	Los helicópteros
33	Los aspersores
34	<i>Aspersores convencionales por encima de las plantas</i>
37	<i>Aspersores dirigidos sobre las plantas</i>
38	<i>Aspersores sobre cultivos protegidos</i>
38	<i>Aspersores convencionales por debajo de los árboles</i>
39	<i>Los micro-aspersores bajo las plantas</i>

39	<i>El riego localizado por goteo</i>
40	<i>Aspersores por debajo las plantas con agua calentada</i>
40	El riego de superficie
40	<i>El riego por inundación</i>
41	<i>El riego por surcos</i>
41	Aislamiento con espumas
42	Métodos combinados
42	<i>Aspersores por debajo de la cubierta y ventiladores</i>
42	<i>Riego por superficie y ventiladores</i>
43	<i>Combinación de estufas y de ventiladores</i>
43	<i>Aspersores y estufas</i>
43	Predicción y seguimiento
44	Probabilidad y riesgo
44	Evaluación económica de los métodos de protección
44	Tecnologías más convenientes
45	3 – MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA
45	Masa y energía en el aire
47	El balance de energía
47	Convención de signos
52	Humedad y calor latente
58	Calor sensible
61	Conducción – Flujo de calor al suelo
64	Radiación
70	El flujo de calor latente
71	Recursos adicionales sobre el balance de energía
	4 – EL DAÑO PRODUCIDO POR LAS HELADAS:
73	FISIOLOGÍA Y TEMPERATURAS CRÍTICAS
73	Introducción
74	El daño celular
75	La evitación, la tolerancia y el endurecimiento
77	La sensibilidad de las plantas
78	Tipos de daño y temperaturas críticas
81	Cultivos Anuales y bienales
89	Cultivos perennes
89	Los árboles frutales
92	Uva de mesa y uva de vinificación
95	Otros pequeños frutos
95	Los frutos de los cítricos
99	5 – LA PREDICCIÓN DE LAS HELADAS Y SU SEGUIMIENTO
99	El valor de la predicción de las heladas
100	Predicción de las temperaturas mínimas
102	Calibración de pronósticos de la meso-escala a la micro-escala
103	Un modelo sencillo de predicción de la temperatura mínima
107	Un modelo sencillo de predicción de la tendencia de las temperatura
109	Hoja de cálculo "previsión"
110	Hoja de cálculo "BulboHúmedo"
111	Hoja de cálculo "Entrada"

- 111 Prognosticar la tendencia de temperaturas del aire
- 112 Prognosticar la tendencia en la temperatura del bulbo húmedo
- 114 Decidir cuándo poner en marcha los aspersores
- 117 Actualización con las observaciones de las temperaturas actuales
- 119 Documentación de la aplicación FTrend.xls
- 120 Alarmas y seguimiento meteorológico durante una noche de helada

123 6 – MÉTODOS DE PROTECCIÓN PASIVOS

- 123 La selección del emplazamiento y su gestión**
 - 129 Drenaje de aire frío
 - 132 Pendiente y orientación
 - 132 Tipo de suelo y contenido de agua
- 137 Selección de plantas**
- 138 Árboles que dan cobertura**
- 139 Manejo de la nutrición de las plantas**
- 140 Poda adecuada**
- 141 Enfriar para retrasar la floración**
- 142 Productos químicos para retrasar la floración**
- 142 Las cubiertas de plantas**
- 145 Evitar el laboreo del suelo**
- 146 El riego**
- 146 Eliminar las cubiertas de los cultivos**
- 149 Cubiertas del suelo**
 - 149 Cubiertas del suelo plásticas
 - 150 Cubiertas orgánicas
- 151 Pintar los troncos**
- 151 Envolturas de toncos**
- 153 Control de bacterias**
- 156 Tratamiento de semillas con productos químicos**

157 7 – MÉTODOS DE PROTECCIÓN ACTIVOS

- 158 Las estufas**
 - 158 Teoría del funcionamiento
 - 163 Efectos del humo
 - 164 Requerimientos de las estufas
 - 165 Colocación de las estufas y manejo
 - 166 Estufas de combustible líquido
 - 169 Estufas de propano y de gas natural
 - 169 Estufas de combustible sólido
 - 170 Estufas portátiles
- 171 Ventiladores**
 - 171 Ventiladores convencionales
 - 173 *Teoría del funcionamiento*
 - 175 *Puesta en marcha y parada*
 - 176 Ventiladores de flujo vertical
 - 177 Helicópteros
- 178 Aspersores**
 - 179 Conceptos Básicos
 - 180 Aspersores por encima de las plantas
 - 181 Aspersores de rotación convencionales
 - 182 *Puesta en marcha y parada*
 - 188 *Requerimientos de caudales de aplicación*

192	Aspersores de caudal variable
192	Aspersores de bajo volumen (dirigidos)
194	Aspersión sobre cubiertas
194	Aspersores por debajo de las plantas
195	<i>Aspersores de rotación convencionales</i>
196	<i>Micro-aspersores</i>
197	<i>Riego de bajo volumen (por goteo)</i>
198	<i>Agua calentada</i>
199	Riego de superficie
200	Inundación
200	Riego por surcos
202	Aislamiento con espumas
202	Los nebulizadores
204	Los métodos combinados
204	Los ventiladores y aspersores por debajo de la planta
205	Los ventiladores y el riego por superficie
205	Los ventiladores y las estufas
206	Los aspersores y las estufas
207	8 – TECNOLOGÍAS ADECUADAS
207	Introducción
208	Métodos de protección habituales
209	Métodos pasivos
210	Métodos activos
211	Resumen de las tecnologías adecuadas
216	Respuestas a la encuesta sobre protección contra las heladas
216	Argentina (NE de Buenos Aires)
216	Grecia
216	Jordania
217	México (Chihuahua)
217	Zimbabwe
219	REFERENCIAS
231	ANEXO 1 – PREFIJOS Y FACTORES DE CONVERSIÓN
231	Prefijos
232	Factores de conversión
232	Temperatura
232	Presión (presión del aire, presión de vapor)
232	Velocidad del viento
232	Radiación
233	Propiedades físicas
233	Propiedades del agua
233	Propiedades de los gases a $P_b = 101,3$ kPa de presión barométrica
233	Emitancia del cuerpo negro ($W m^{-2}$) como una función de la temperatura por debajo de cero ($^{\circ}C$)
235	ANEXO 2 – CONSTANTES
237	ANEXO 3 – CÁLCULOS DE LA HUMEDAD

ACRÓNIMOS UTILIZADOS EN EL TEXTO

DOY	Día del año
INA	Bacteria activa en la nucleación de hielo
NINA	Bacteria inactiva en la nucleación de hielo
P&I	Principal e interés
RMSE	Raíz del error cuadrado medio
NWS	Servicio Meteorológico Nacional de los EE.UU.

NOTA:

Todos los valores monetarios son en dólares de los Estados Unidos a no ser que se especifique de otra manera (el símbolo es \$).

LISTADO DE LOS PRINCIPALES SÍMBOLOS

Alfabeto Romano

Símbolo	Unidad	Definición
b'		Factor de calibración de la predicción de la temperatura mínima por raíz cuadrada
C		Certeza de que se producirá un evento (i.e. $C = 1 - R$)
C_V	$J m^{-3} °C^{-1}$	Capacidad de calor volumétrica del suelo
\bar{E}	kPa	Presión del vapor de agua o presión del vapor de agua real
E	$kg m^{-2} s^{-1}$	Densidad del flujo de masa de vapor de agua
E'	$W m^{-2}$	Energía a partir de la radiación
e_a	kPa	Presión de vapor a saturación a la temperatura T_a
e_d	kPa	Presión del vapor a saturación a la temperatura del punto de rocío T_d (observa que $e_d = e$)
e_f	kPa	Presión del vapor a saturación a la temperatura del bulbo helado T_f
e_i	kPa	Presión del vapor a saturación a la temperatura del punto de formación de hielo T_i (observa que $e_i = e$)
E_L	m	Elevación relativa al nivel medio del mar
E_o	$MJ l^{-1}$, $MJ kg^{-1}$	Producción de energía
E_R	$W m^{-2}$	Requerimiento de energía
e_s	kPa	Presión de vapor a saturación sobre una superficie plana de agua líquida o de hielo a la temperatura T
e_w	kPa	Presión de vapor a saturación a la temperatura del bulbo húmedo T_w
F	—	Función que tiene en cuenta el efecto de la nubosidad en la radiación hacia abajo de onda larga
F_C	$l h^{-1}$, $kg h^{-1}$	Tasa de consumo de combustible
G	$W m^{-2}$	Densidad de flujo de calor al suelo
G_1	$W m^{-2}$	Densidad de flujo de calor en la superficie del suelo (i.e. $G_1 = G$)
G_2	$W m^{-2}$	Densidad de flujo de calor al suelo medido con un plato de flujo térmico a una profundidad determinada en el suelo
G_{sc}	$W m^{-2}$	Constante solar. $G_{sc} = 1\,367 W m^{-2}$
H	—	Número de horas desde las dos horas después de la puesta del Sol hasta la salida del Sol
H	$W m^{-2}$	Densidad de flujo de calor sensible
H_H	—	Estufas por hectárea
K_b	$W m^{-1} °C^{-1}$	Conductividad térmica
K_s	$W m^{-1} °C^{-1}$	Conductividad térmica del suelo
L	$J kg^{-1}$	Calor latente de vaporización

LE	$W\ m^{-2}$	Densidad de flujo de calor latente
p	—	$p = 86\ 400$ s por día
P	—	Probabilidad de que un evento ocurra en un año dado
P_b	kPa	Presión barométrica
R	—	Riesgo o probabilidad de que un evento ocurra durante un número conocido de años
R_l	$^{\circ}C$	Residual $R_l = T_n - T_p$
R_l'	$^{\circ}C$	Predicción del residual R_l utilizando T_d en el momento t_0
R_A	$mm\ h^{-1}$	Tasa de aplicación de los aspersores
R_{Ld}	$W\ m^{-2}$	Radiación de onda larga positiva hacia arriba (terrestre)
R_{Ln}	$W\ m^{-2}$	Radiación neta de onda larga ($R_{Ln} = R_{Ld} + R_{Lu}$)
R_{Lu}	$W\ m^{-2}$	Radiación de onda larga positiva hacia abajo (terrestre)
$RMSE$		$RMSE = [\Sigma(Y-X)^2/n]^{0.5}$ donde n es el número de pares de variables aleatorias Y y X
R_n	$W\ m^{-2}$	Radiación neta
R_o	$^{\circ}C$	Intervalo de temperaturas de la superficie del suelo
R_{Sd}	$W\ m^{-2}$	Radiación de onda corta positiva hacia abajo (solar)
R_{Sn}	$W\ m^{-2}$	Irradiancia de onda corta neta (solar) ($R_{Sn} = R_{Sd} + R_{Su}$)
R_{So}	$W\ m^{-2}$	Radiación de onda corta (solar) hacia abajo desde el cielo despejado
R_{St}	$W\ m^{-2}$	Radiación de onda corta (solar) negativa hacia arriba
R_z	$^{\circ}C$	Intervalo de temperaturas del suelo a la profundidad z
T	$^{\circ}C$	Temperatura
t	—	Tiempo
T_{10}		Temperatura crítica a la cual se espera un 10% de daño
T_{90}		Temperatura crítica a la cual se espera un 90% de daño
T_a	$^{\circ}C$	Temperatura del aire
T_C	—	Temperatura crítica o temperatura crítica de daño – la temperatura a la cual se espera un nivel de daño particular
T_{cf}	$^{\circ}C$	Temperatura de la cubierta exterior de los frutos de los cítricos
T_d	$^{\circ}C$	Temperatura del punto de rocío
T_e	$^{\circ}C$	Temperatura equivalente (la temperatura que alcanza una parcela de aire si todo el calor latente es convertido adiabáticamente a calor sensible)
T_f	$^{\circ}C$	Temperatura del bulbo helado
t_f	—	Tiempo final de un intervalo de muestreo
T_i	$^{\circ}C$	Temperatura del punto de formación de hielo
t_i	—	Tiempo inicial de un intervalo de muestreo
T_i	$^{\circ}C$	Temperatura a la i^{ava} hora siguiente a t_0
T_K	K	Temperatura absoluta en grados kelvin ($273,15\ K = 0^{\circ}C$)
T_n	$^{\circ}C$	Temperatura mínima observada a la salida del Sol

t_0	—	Tiempo inicial para la aplicación FFST.xls (i.e. dos horas después de la puesta de Sol)
T_0	°C	Temperatura en el momento t_0
T_p	°C	Temperatura mínima pronosticada a partir de la temperatura del aire y del punto de rocío en t_0
t_p	—	Tiempo de salida del Sol para la temperatura mínima pronosticada (T_p)
$T_p \square$	°C	Temperatura mínima pronosticada utilizando T_0 en el momento t_0
T_{sf}	°C	Temperatura del suelo al final del intervalo de muestreo
T_{si}	°C	Temperatura del suelo al inicio del intervalo de muestreo
T_f	°C	Temperatura del bulbo húmedo
V_m	—	Fracción volumétrica de minerales en el suelo
V_o	—	Fracción volumétrica de la materia orgánica en el suelo
z	m	Profundidad por debajo o altura por encima de la superficie (e.g. en metros)

Alfabeto Griego

Símbolo	Unidad	Definición
Δ	kPa °C ⁻¹	Pendiente de la curva de la presión de vapor de saturación a la temperatura T
α	—	Albedo (i.e. reflexión de la radiación de onda corta)
ε	—	Emisividad
ε_o	—	Emisividad aparente hacia abajo procedente del cielo
γ	kPa °C ⁻¹	Constante psicrométrica
κ_T	m ² s ⁻¹	Difusividad térmica en el suelo
λ	MJ kg ⁻¹	Calor latente de vaporización
λ_{max}	m	Longitud de onda de máxima emisión de energía (i.e. una función de la temperatura)
μ_d	—	Valor medio de un dato
θ	—	Fracción volumétrica del agua en el suelo
σ	W m ⁻² K ⁻⁴	Constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ Wm ⁻² K ⁻⁴
ρ	mol m ⁻³	Densidad del aire
ρ_d	Mg m ⁻³	Densidad del agua
σ_d	—	Desviación estándar de un dato

Observa que las conversiones de las tasas de aplicación de riego por aspersión son:
 $1 \text{ mm h}^{-1} = 1 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1} = 10^4 \text{ L ha}^{-1} \text{ h}^{-1} = 10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$

RESUMEN EJECUTIVO

Esta publicación revisa los factores físicos, químicos y biológicos involucrados en el daño por heladas a las plantas agrícolas y hortícolas, y presenta los métodos más utilizados de protección contra las heladas. Además, la publicación proporciona las herramientas de análisis por ordenador para ayudar a los agricultores a diseñar y gestionar los métodos de protección contra heladas, investigar el riesgo de las temperaturas de congelación y para analizar los aspectos económicos en relación al riesgo, para poder decidir sobre los costes y beneficios de los diferentes métodos de protección.

Si bien la Organización Meteorológica Mundial (WMO) ha publicado con anterioridad información sobre la protección contra las heladas, ésta es la primera publicación FAO específicamente escrita sobre protección contra heladas, y que amplía enormemente los contenidos. La publicación sintetiza y simplifica información técnica compleja de la literatura para proporcionar directrices claras para reducir las pérdidas ocasionadas por el daño por helada – pérdidas que pueden ser económicamente devastadoras para los agricultores y sus comunidades locales.

La publicación debate sobre las condiciones meteorológicas típicas durante las heladas, y proporciona las herramientas de ordenador para predecir las temperaturas mínimas y la tendencia de las temperaturas durante las noches de heladas de radiación. Además, la publicación presenta información sobre cómo los factores ambientales (condiciones del suelo, presencia de nubes, niebla, cubiertas vegetales, etc.) afectan al balance de energía y cómo estos factores afectan a la tendencia de las temperaturas.

La publicación debate sobre qué ocurre a los tejidos de las plantas cuando se producen las temperaturas de congelación, y presenta información sobre la sensibilidad de las plantas al daño por heladas. Se presentan los factores biológicos que influyen en la congelación (incluyendo el estadio de crecimiento, el contenido de solutos de las células y las bacterias formadoras de núcleos de hielo), y se discuten los métodos de gestión que se pueden utilizar para manipular estos factores (elección de porta injertos y variedades, aplicación de agua, fertilidad del suelo, control de bacterias, etc.).

Los principales métodos de protección pasiva contra heladas (no laboreo, humedecimiento de suelos secos, eliminación de las cubiertas del suelo, etc.) se discuten a fondo para proporcionar a los agricultores los métodos de protección contra heladas más eficaces en costes. Se presenta una discusión de los métodos de protección activos (estufas de combustible líquido y sólido, riego por superficie, aspersores y ventiladores) para indicar cómo trabajan los métodos y cómo hay que gestionarlos, de forma aislada o combinada, para una protección óptima.

En el volumen 2 se presenta una discusión rigurosa de los riesgos y la economía de los distintos métodos de protección, junto a los programas de ordenador necesarios para simplificar los cálculos. El texto y los programas Excel que lo acompañan deberían ayudar a los agricultores y a los consultores a tomar decisiones acertadas frente a las diferentes alternativas de métodos de protección en base a la eficacia en los costes, dependiendo de los riesgos locales de las heladas y otros factores.