



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
INIA

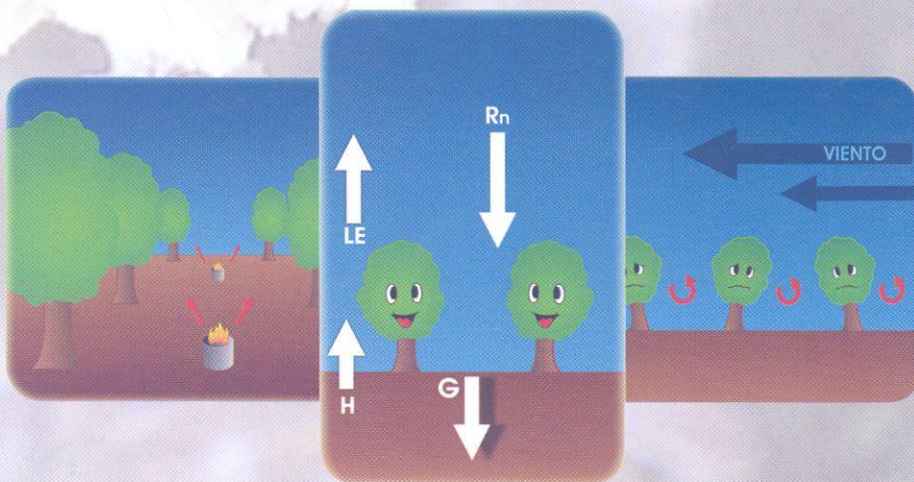
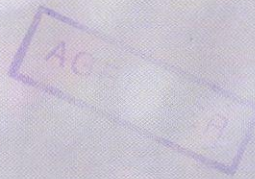


GOBIERNO REGIONAL
REGIÓN DE COQUIMBO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

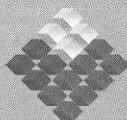
EFECTOS DE LAS HELADAS EN LA AGRICULTURA

LEONCIO MARTÍNEZ BARRERA
ANTONIO IBACACHE GONZÁLEZ
LEONARDO ROJAS PARRA



ISSN 0717-4829

BOLETÍN INIA - Nº 165



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
INIA

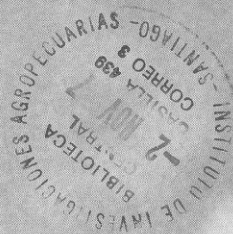


GOBIERNO REGIONAL
REGION DE COQUIMBO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

EFECTOS DE LAS HELADAS EN LA AGRICULTURA

LEONCIO MARTÍNEZ BARRERA
ANTONIO IBACACHE GONZÁLEZ
LEONARDO ROJAS PARRA



ISSN 0717-4829

BOLETÍN INIA - Nº 165

Autores:

Leoncio Martínez Barrera, Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph. D.
Antonio Ibacache González, Ing. Agrónomo, M.Sc.
Leonardo Rojas Parra, Ing. Agrónomo

Director Responsable:

Carlos Quiroz Escobar, Ingeniero Agrónomo M.Sc., Ph.D.

Editores:

Angélica Salvatierra González, Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Constanza Jana Ayala, Ingeniero Agrónomo, Mag. Cs., Dr.
Raúl Meneses Rojas, Ingeniero Agrónomo M.Sc., Ph.D.

Ilustraciones:

Esteban Seura Araya

Boletín INIA N° 165.

Este boletín fue editado por el Centro Regional de Investigación Intihuasi, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura, con el apoyo del Gobierno Regional de Coquimbo.

Cita bibliográfica correcta:

Martínez, L., A. Ibacache y L. Rojas. 2007. Las Heladas en la Agricultura 68 p.
Boletín INIA N°165. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Intihuasi, La Serena Chile.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y el autor.

Diseño, diagramación e impresión:

Trama Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares: 1000

La Serena, Chile, 2007

1. Introducción	7
2. Definiciones	13
2.1. Mecanismos de transferencia de energía	13
2.1.2. Conducción	14
2.1.3. Radiación	15
2.1.4. Calor latente	15
2.1.5. Convención	15
2.1.6. Advección	16
2.2. Punto de Rocío	16
2.3. Tipos de heladas	20
2.3.1. Heladas por advección	20
2.3.2. Heladas por radiación	20
3. Fisiología del daño por heladas	25
3.1. Las heladas y su efecto sobre la producción de especies frutales.	25
3.1.1. Especie y variedad	26
3.1.2. Edad de las Plantas	27
3.1.3. Estado fenológico	27
3.1.4. Ubicación del huerto	27
3.2. Incidencia de heladas en especies frutales	29
3.2.1. Papayos	29
3.2.2. Chirimoyos	29
3.2.3. Paltos	30
3.2.4. Olivos	32
3.2.5. Cítricos	33
3.2.6. Vides	34
4. Efecto de las heladas sobre cultivos y hortalizas	39
4.1. Situación de los cultivos anuales en el Norte Chico	39
4.2. Efecto de las heladas en las hortalizas.	41
4.3. Sensibilidad de las hortalizas a las heladas.	43
4.3.1. Especies que no toleran heladas	43
4.3.2. Especies que toleran heladas débiles	43
4.3.3. Especies que se dañan cerca de la madurez	44
4.3.4. Especies que toleran heladas	44
4.4. Uso de invernaderos, túneles y mulch.	44
4.5. Cultivos con mayor riesgo en Coquimbo y posibilidades de manejo	44
4.5.1. Especies de verano en invernaderos	45
a. Tomate para cosecha de primavera	45
b. Ají y pimiento para cosecha de primavera	45

c. Pepino para cosecha tardía	45
d. Tomate para cosecha tardía	45
e. Plantaciones de invierno de pepino o poroto verde	45
4.5.2. Especies de verano al aire libre	45
a. Cultivos tardíos para cosecha de invierno	45
b. Cultivos primores de primavera	46
4.5.3. Especies de invierno	46
a. Papa	46
b. Alcachofa argentina	46
c. Lechuga, apio, brócoli, coliflor y repollo.	46
d. Habas y arvejas	46
e. Betarraga, zanahoria, acelga, espinaca.	46
5. Métodos de control de heladas	49
5.1. Métodos pasivos	49
5.1.1. Selección del lugar a cultivar	49
5.1.2. Selección de especies	50
5.1.3. Movimiento natural del aire frío	50
5.1.4. Manejo de la fertilización	50
5.1.5. Uso de cobertores	50
5.1.6. Manejo de la humedad del suelo	51
5.2. Métodos activos	51
5.2.1. Uso de calefactores	51
a. Calefactores fijos	52
b. Calefactores móviles	53
c. Misceláneos	54
5.3. Uso de ventiladores	55
5.3.1. Uso de ventiladores de eje horizontal	55
5.3.2. Uso de ventiladores de eje vertical	56
5.3.3. Uso de helicópteros.	56
5.4. Uso de aspersores	57
6. Prácticas agronómicas posteriores al daño por heladas	61
7. Referencia Bibliográficas	64
ANEXOS	
Anexo I. Valores de punto de rocío (Td) a diferentes valores de temperatura ambiente (°C) y humedad relativa	66
Anexo II. Tabla Psicrométrica para el cálculo de la Humedad Relativa	67
Anexo III. Ecuación para determinar Punto de Rocío	68



Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

En el sector rural, cuando la temperatura del aire por la noche baja mas allá de los cero grados centígrados, se dice “va a caer una helada”, indicando que las bajas temperaturas podrían “quemar” o dañar los cultivos.

El grado de daño a los cultivos depende de la intensidad de las bajas temperaturas, pues no es lo mismo alcanzar una temperatura mínima de -1°C o de -4°C . También influye el tiempo de duración de temperaturas inferiores a 0°C . Cuando la helada se prolonga por varias horas, produce un efecto dañino más intenso que si sólo durara una hora o menos.

Durante la segunda semana de Julio de 2007, se produjo en gran parte de la zona centro norte del país un período de bajas temperaturas o heladas que comprometió gravemente la producción de hortalizas de hojas y frutos, papas y especies frutales sub tropicales como papayos, chirimoyos, limoneros y paltos, provocando serios daños al sector agrícola. La Figura 1 presenta las temperaturas del aire registradas en la estación meteorológica localizada en la parcela Experimental Pan de Azúcar, INIA-Intihuasi, comuna de Coquimbo, durante la segunda semana de Julio.

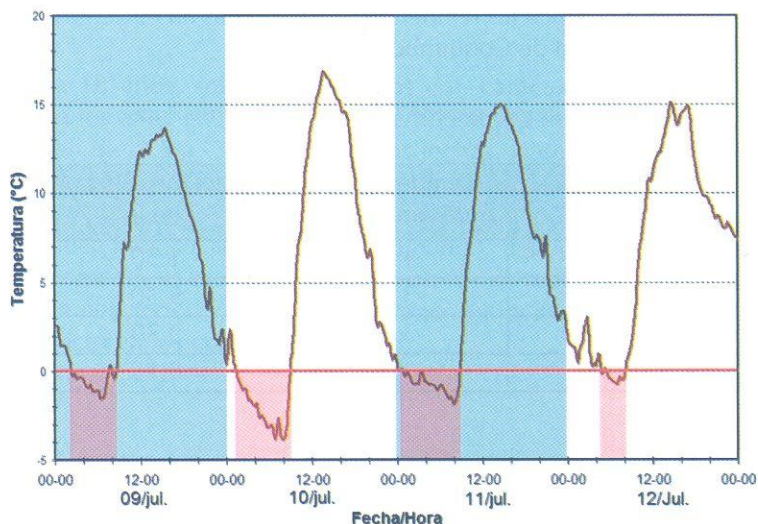


Figura 1. Temperaturas en días de ocurrencia de heladas, Parcela Experimental Pan de Azúcar, INIA Intihuasi, comuna de Coquimbo.

En la Figura 1, se puede observar que la evolución de la temperatura del aire, que define la intensidad y duración de la helada, no fue la misma en los cuatro días.

Detalles de las temperaturas mínimas alcanzadas así como la duración del tiempo que esta permaneció bajo cero grados centígrados, aparece en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Temperaturas mínimas y duración de la helada en Parcela Experimental Pan de Azúcar, INIA-Intihuasi, comuna de Coquimbo, Julio, 2007.

Fecha	Temperatura Mínima, °C	Hora de Inicio	Hora de Término	Duración Helada Nº de h
09-Julio	-1,5	02:15	07:15	5,00
10-Julio	-3,9	01:30	08:45	7,15
11-Julio	-1,9	01:00	08:45	7,45
12-Julio	-07	04:45	08:00	3,15

En el Cuadro 1, se observa que en dos días consecutivos, la temperatura del aire fue de -1,9 °C y -3,9 °C, con una duración del tiempo bajo 0°C superior a 7 horas. Aunque los valores sólo reflejan lo ocurrido en una zona específica de la zona cultivada de la Región de Coquimbo, las condiciones atmosféricas que provocaron el fenómeno climático fueron de gran cobertura y afectó también a la Región de Atacama. El Cuadro 2 indica las temperaturas registradas en el Centro Experimental Choapa en Illapel, Región de Coquimbo.

Cuadro 2. Temperaturas registradas en INIA Choapa, comuna de Illapel.

Fecha	Temperatura Mínima, °C	Duración Helada Nº de h
09-Julio	-1,2	1,30
10-Julio	-3,3	9,30
11-Julio	-3,3	9,30
12-Julio	-2,2	8,15

La magnitud de la helada puede experimentar diversos grados de intensidad dependiendo de las condiciones topográficas del lugar, del tipo de cultivo, del grado de humedad y laboreo del suelo.

La principal zona del cultivo de especies hortícolas con carácter de primor, en las Regiones de Atacama y Coquimbo, se localiza en áreas donde la ocurrencia de fenómenos que provocan heladas no se dan con frecuencia. El Cuadro 3 presenta la frecuencia de ocurrencia de temperaturas bajo 0°C en la Parcela Experimen-

tal Pan de Azúcar, INIA-Intihuasi, comuna de Coquimbo, desde el año 1990 en adelante.

Cuadro 3. Años con registros de temperaturas bajo 0°C en la Parcela Experimental Pan de Azúcar, INIA-Intihuasi, comuna de Coquimbo.

Año	Nº Días con Heladas	Temperatura Mínima Absoluta, °C
1990	1	-0,8
1991	1	-1,0
1992	1	-0,2
1993	1	-0,3
1994	2	-1,0
1995	7	-2,0
1999	4	-3,4
2004	1	-0,6
2007 ⁽¹⁾	6	-3,9

(1): Información hasta el 15 de Julio, 2007

En los últimos 18 años, solo dos episodios con carácter “catastrófico” han sido observados, en los años 1999 y 2007 con temperaturas de aire medidas a 1,5 m de altura del orden de -3,5 a -3,9 °C. En ambas fechas, la ocurrencia de bajas temperaturas fue durante 4 días consecutivos.

Para comprender mejor este fenómeno climático, esta publicación abordará las causas del fenómeno, el efecto en los cultivos, los métodos de prevención pasivos y activos existentes, todo lo cual, permitirá a los agricultores adoptar medidas para mitigar el impacto en los cultivos.



Capítulo 2

DEFINICIONES

2. DEFINICIONES

2.1. Mecanismos de Transferencia de Energía.

Para comprender el fenómeno de las heladas y los métodos que existen para controlarlas, es necesario conocer los mecanismos de transmisión de energía que ocurren en la naturaleza. La Figura 2 muestra un esquema simplificado del balance de energía de un cultivo en un día soleado (A), una noche con bajo contenido de humedad del aire (B) y una noche con alto contenido de humedad del aire (C).

Durante el transcurso del año existen diferencias en el balance energético. Aunque este balance presenta variación de acuerdo a la estación, es indudable que las mayores variaciones se producen durante el día y la noche.

Durante el día, la energía radiante (R_n) alcanza la superficie terrestre aumentando la temperatura del suelo y del aire. Una fracción de la energía se transmite hacia la capa de suelo de hasta 0,5 m de profundidad (G), otra se utiliza en calentar el aire (H) y evaporar agua (LE), (Figura 2A).

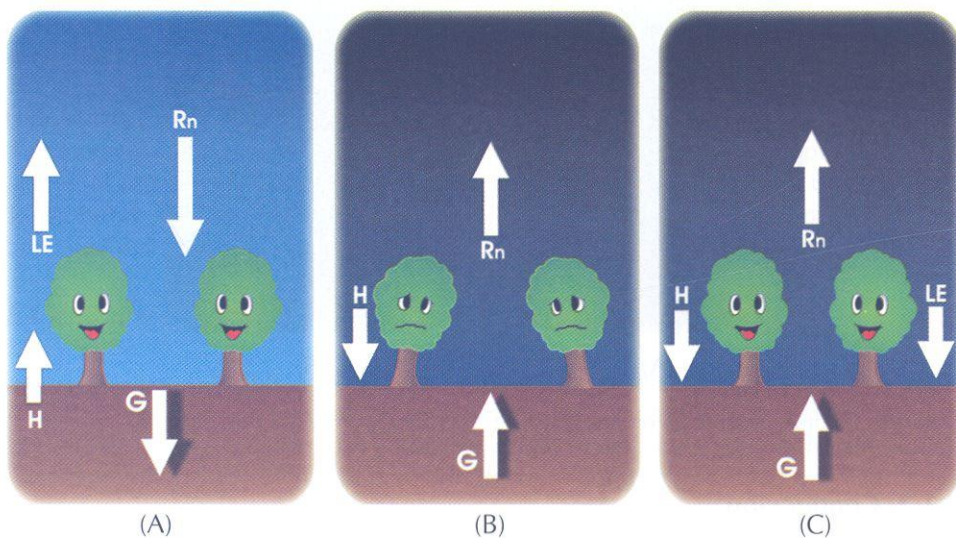


Figura 2. Balance de Energía simplificado de un cultivo en el día (A), en la noche con baja humedad del aire (B) y noche con alta humedad en el aire (C).

Durante la noche, no hay energía proveniente del sol, el suelo gradualmente se enfría y pierde energía hacia el espacio por radiación. La disminución de la tem-

peratura ambiente puede producir condensación del agua, provocando liberación de energía al medio (calor latente), (Figura 2C). Cuando la ganancia de energía por flujo desde el suelo y por la condensación son menores a las pérdidas por radiación desde el suelo, el ambiente se enfría hasta que la energía proveniente desde el sol alcanza la superficie terrestre nuevamente y la calienta, (Figura 2B).

En condiciones de nubosidad, la radiación no fluye al espacio, por consiguiente, el calor se mantiene por más tiempo, la temperatura no es tan baja y no hay ocurrencia de heladas, (Figura 3A). En noches despejadas, el calor se va al espacio (Figura 3B).

El calor, se transmite mediante cinco mecanismos diferentes: Conducción, Radiación, Calor latente, Convección y Advección. Esta energía se mide en una unidad llamada Joule (J) o caloría (cal). 1 caloría es igual a 4,183 Joules.

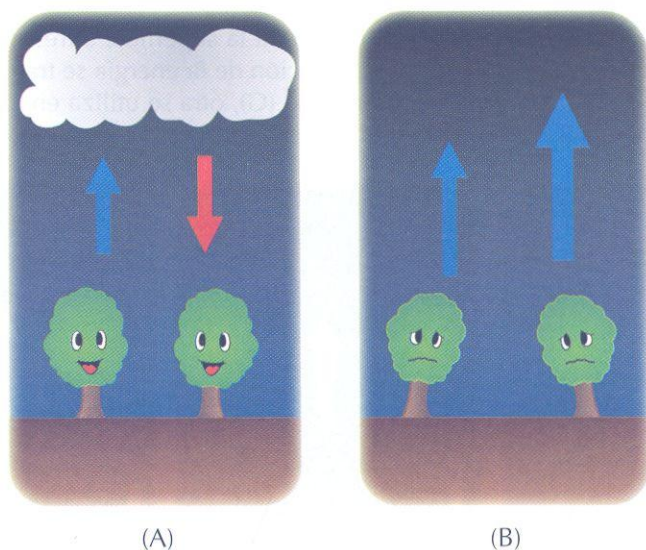


Figura 3. Balance de energía en condición de día nublado (A) y día despejado (B).

2.1.2. Conducción.

El calor se mueve por contacto directo entre moléculas. Un ejemplo es el calentamiento de un extremo de una barra de hierro a fuego directo. La punta puede alcanzar altas temperaturas y adquiere un color rojizo, pero el otro extremo, también experimenta un aumento de temperatura, ya que el calor se mueve desde donde se encuentra más caliente hacia donde está más frío. La velocidad con que se mueve el calor es función de las propiedades del compuesto.

El calor se mueve más rápidamente en una plancha de cobre que en una baldosa. Los tejidos de lana transmiten el calor muy lentamente, poseen baja conductividad térmica y por ello, este material se utiliza para confeccionar vestimentas que protegen de las bajas temperaturas. En el sistema agrícola, el calor se transmite por conducción en el suelo. Por el día, se calienta la superficie y eso implica que hay transmisión de energía hacia la zona de raíces. Por la noche, la superficie se enfría y el flujo de calor se invierte.

La velocidad de movimiento del calor en el suelo es función de los componentes que lo conforman, el grado de porosidad y el contenido de humedad. A mayor humedad, la velocidad de flujo es más alta, ya que disminuyen los espacios porosos llenos de aire. El aire sin movimiento, como el encontrado en los poros del suelo, transmite el calor a menor velocidad.

2.1.3. Radiación.

Es la transmisión de calor entre dos cuerpos que se encuentran separados. El objeto de mayor calor, calienta al que se encuentra más frío, pero no hay un contacto físico entre ellos. Un ejemplo típico es la transferencia de calor entre el sol y la tierra durante el día. Otro ejemplo es el calor de una fogata, en este caso, se percibe calentamiento de la piel en aquellas zonas con exposición hacia el fuego.

Todo cuerpo, con temperatura superior al cero grado absoluto ($-273,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) emite energía en forma de radiación. Por las noches, el suelo pierde energía por radiación ya que el espacio está cercano a cero grados absoluto, y se produce un gradiente de temperatura importante, produciéndose enfriamiento de la tierra por pérdida de calor hacia el espacio exterior.

2.1.4. Calor Latente.

Es la energía química almacenada por las uniones (puentes de hidrogeno) entre moléculas de agua. El agua se presenta en la naturaleza en tres estados físicos: Sólidos (hielo), líquido (agua) y gaseoso (vapor de agua). El paso del agua por los diferentes estados involucra absorción o liberación de calor como se muestra en la Figura 4.

Para que el agua cambie de estado líquido a gas, se requiere adicionar una energía de 2.501 J/g de agua que se evapora. Por el contrario, cuando se produce condensación, el agua libera al medio una cantidad de calor equivalente.

2.1.5. Convección.

Es el movimiento de calor por ascenso vertical de aire caliente. Un ejemplo de ello

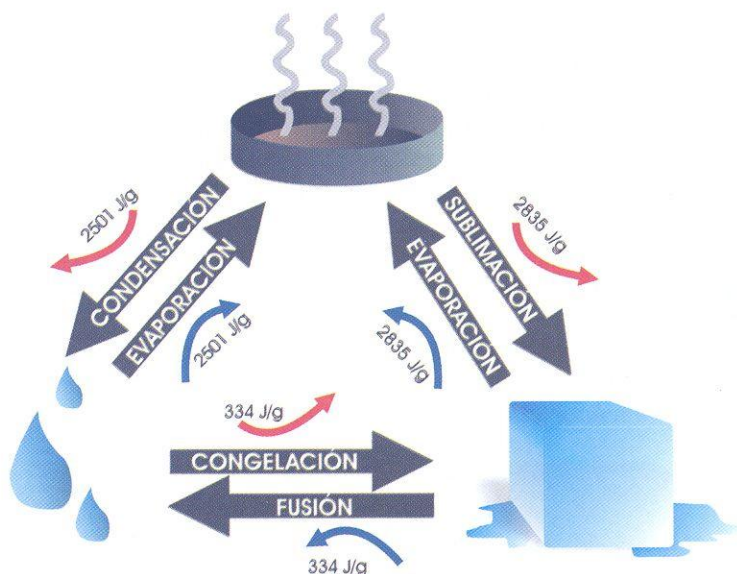


Figura 4. Estados físicos del agua y transferencia de energía. (Fuente: Bartfield et al., 1990).

lo constituye el humo cuando se hace una fogata, éste sube, arrastrado por un chorro de aire caliente. El ejemplo anterior es un proceso violento donde la temperatura del aire ascendente puede ser sobre 100 °C. Este mismo proceso ocurre en forma más lenta cuando el calor proveniente del sol aumenta la temperatura del aire en contacto con el suelo y éste asciende formando torbellinos.

2.1.6. Advección.

Es el transporte de calor por masas de aire en movimiento. Ejemplos es la ocurrencia en verano de frentes cálidos que provocan aumentos de temperatura del aire o la ocurrencia del viento de cordillera en los meses de invierno, (Terral).

Estos cinco mecanismos ocurren en forma simultánea, pero su magnitud cambia en función de la hora del día, la época del año y entre años.

2.2. Punto de Rocío.

La evapotranspiración es el proceso de cambio de estado del agua líquida del suelo y las plantas a estado gaseoso que fluye hacia la atmósfera. Esto se produce por el incremento de la temperatura y permite mantener un ambiente soportable para la vida. La disminución de temperatura produce el proceso contrario, es decir, el va-

por de agua en la atmósfera, cambia a estado líquido, lo que se llama condensación y como consecuencia se produce una liberación de energía. La temperatura del aire que produce 100% de condensación se denomina *Punto de Rocío*.

Cuando la temperatura del aire alcanza el “Punto de Rocío”, se produce condensación sobre suelo y hojas, y la energía liberada, (calor latente liberado, LE) contribuye a que no ocurran temperaturas extremas que pueden afectar a los cultivos.

La Figura 5, presenta información de la temperatura del aire, punto de rocío y velocidad de viento medido en Pan de Azúcar, comuna de Coquimbo, en días previos a la ocurrencia del ciclo de heladas de Julio, en ella se puede observar que la temperatura del aire alcanza Punto de Rocío y la temperatura no alcanza a bajar de 0 °C. En el Anexo III se indica la ecuación que permite calcular la temperatura de Punto de Rocío (Tpr) a partir de la temperatura del aire y % de humedad relativa.

Para que las heladas se produzcan, se requiere que la temperatura del punto de “Punto de Rocío” sea más baja que la temperatura del aire cuando esta alcanza valores inferiores a 0°C. Cuando ocurre lo contrario, se forma rocío y luego “escarcha”. El calor latente liberado al producirse rocío y luego escarcha protege a los cultivos, evitando el daño por bajas temperaturas (Foto 1). Por este motivo una forma de controlar las heladas es mojando el follaje utilizando sistema de aspersión.

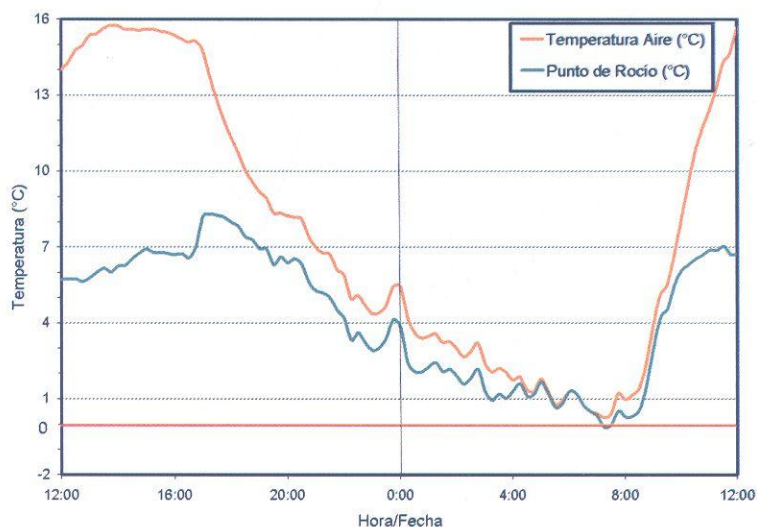


Figura 5. Temperatura de aire y punto de rocío en Parcela Experimental Pan de Azúcar, INIA Intihuasi, comuna de Coquimbo.

Para estimar la probabilidad de ocurrencia de una helada, se requiere medir simultáneamente la temperatura del aire y la humedad relativa. Para medir la temperatura del aire, sólo se requiere de un termómetro ubicado a 1,5 m sobre el suelo. La medición de humedad relativa se realiza con un termo higrógrafo (Foto 2) o psicrómetros (Foto 3). Este último es más sencillo, consiste en dos termómetros, uno de ellos debe tener el bulbo de mercurio húmedo y el otro seco. La diferencia de temperatura de ambos termómetros permite cuantificar la humedad relativa. El Anexo I proporciona los datos para estimar la temperatura de punto de rocío a partir de la temperatura del aire y de la humedad relativa, el Anexo II presenta una tabla para medir humedad relativa utilizando un psicrómetro. El éxito de la evaluación está determinado por mantener en buenas condiciones y calibrados los instrumentos de medida, para asegurar que se está midiendo correctamente.



Foto 1. Hielo sobre brotes de Vid, método de control de helada por aspersión.

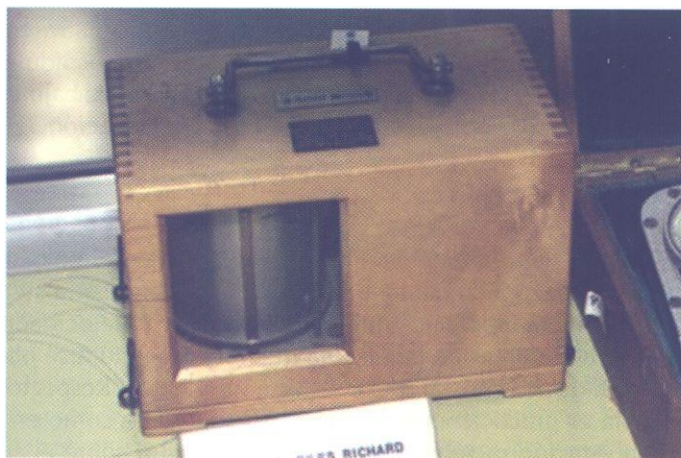


Foto 2. Termo higrógrafo de cabello.

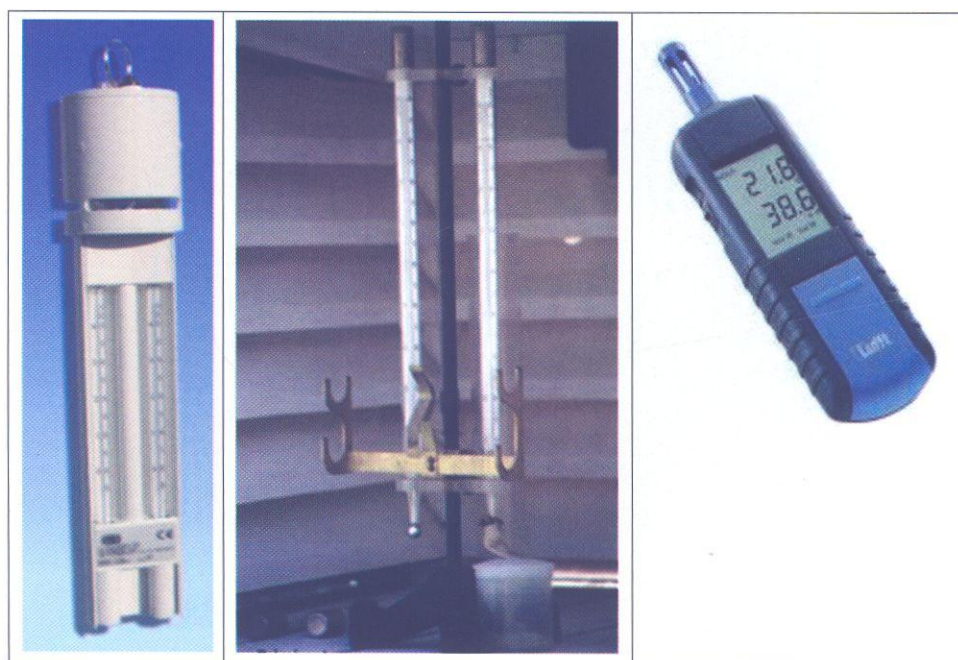


Foto 3. Psicrómetro de aspiración (izquierda) y de caseta meteorológica (centro) y electrónico (derecha).

2.3. Tipos de Heladas.

En la zona central del país, la ocurrencia de temperaturas de aire bajo cero °C, puede tener dos causas: heladas por advección y heladas por radiación.

2.3.1. Heladas por advección.

Se produce por efecto de un frente de aire frío proveniente del polo sur que invade el continente y alcanza la zona central (Figura 6). El fenómeno se da en vastas extensiones, con temperaturas bajas durante todo el día y velocidades de viento superiores a 10 km/h. En áreas de laderas, la menor temperatura se observa en los sectores medios y altos por estar más expuestos a los vientos. Respecto a la temperatura del aire, esta es prácticamente la misma en superficie como en altura. Si el termómetro de la estación meteorológica ubicado a 1,5 m sobre el suelo registra $-1,8^{\circ}\text{C}$, es probable que la temperatura sea la misma en toda la capa de aire en contacto con el suelo y hasta una altura menor a 50 m.

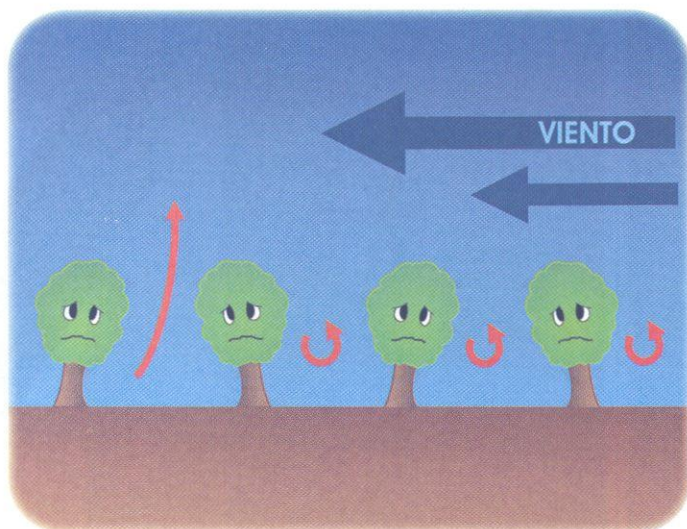


Figura 6. Frente de aire frío produce una helada por advección.

2.3.2. Heladas por radiación.

Ocurren en condiciones de baja humedad del aire, noches despejadas y sin viento. En este caso, el calor del suelo se pierde hacia el espacio en forma de radiación. El

suelo, al perder calor, enfría más rápidamente la capa de aire en contacto con el, que aquellas ubicadas a mayor altura, lo que se conoce como “inversión térmica”. La situación normal, sin inversión térmica, ocurre durante el día y es cuando la máxima temperatura del aire se alcanza en la superficie y disminuye con la altura (Figura 7).

Debido al fenómeno de inversión térmica, la temperatura cercana al suelo y que afectan a los cultivos bajos, es inferior a la registrada en el termómetro en dos o tres grados. El tipo de heladas por radiación es la que ocurre con más frecuencia en el Norte Chico y la ocurrida en el mes de julio del presente año, correspondió a este tipo. La Figura 8 muestra las condiciones de la atmósfera entre las 12:00h del día del 9 y 10 de Julio, 2007. Se observa que la madrugada del 10 de Julio, la velocidad del viento fue inferior a 0.5 m/s (1,8 km/h) y la temperatura de Punto de Rocío fue inferior a la temperatura del aire, bajo estas circunstancias, no se produjo abundante rocío sobre las hojas. Cerca de medianoche, se observa un leve aumento de la temperatura del aire, producto de un aumento leve de la velocidad del viento, lo que provoca mezclas de aires de diferentes temperaturas.

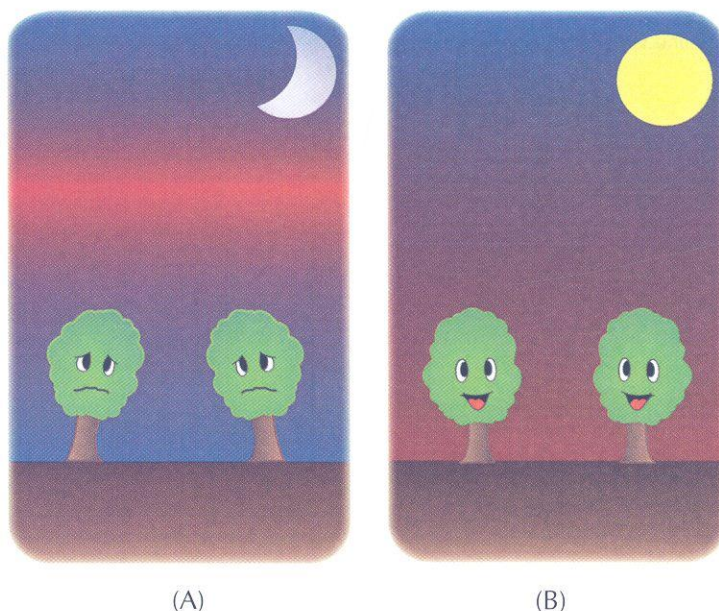


Figura 7. Inversión térmica durante la noche (A). En el día, no hay inversión térmica (B).

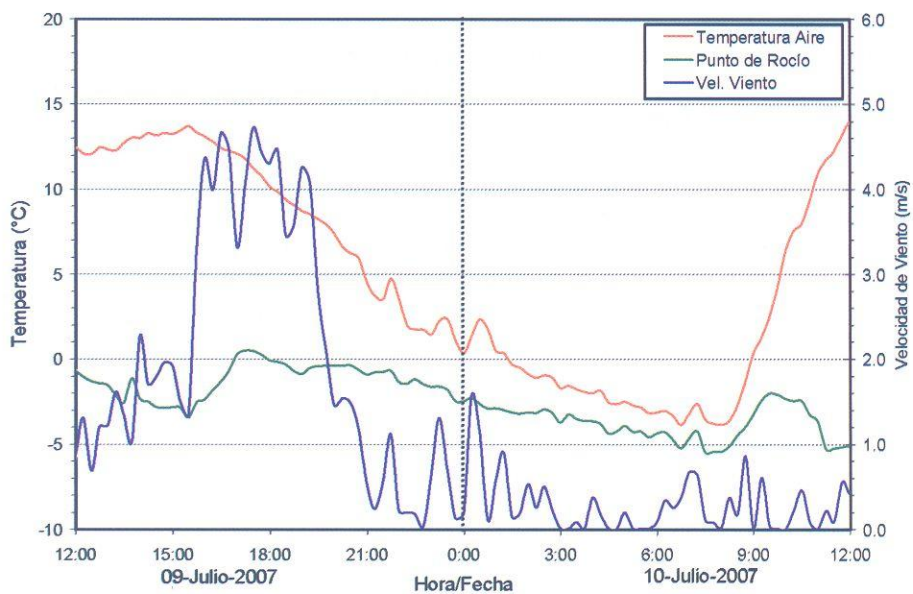


Figura 8. Temperatura, Punto de Rocío y Velocidad de Viento en Parcela Experimental Pan de Azúcar, INIA Intihuasi, comuna de Coquimbo.



Capítulo 3

FISIOLOGÍA DEL DAÑO POR HELADAS

3. FISIOLÓGÍA DEL DAÑO POR HELADAS

El daño por bajas temperaturas puede ocurrir en todas las plantas, pero los mecanismos y tipos de daños varían considerablemente. Algunas especies de origen tropical experimentan daño fisiológico cuando son sometidas a temperaturas inferiores a 12°C. En este caso, con temperaturas sobre 0°C el daño es conocido como “enfriamiento”. El daño por congelamiento se produce en las plantas debido a la formación de hielo. Las especies y variedades exhiben diferentes grados de daño para una misma temperatura y estado fenológico, y su adaptación a temperaturas frías se conoce como resistencia y o tolerancia. Durante períodos de tiempo frío las plantas tienden a resistir el daño por congelamiento y ellas pierden la resistencia luego de un período de temperaturas cálidas. Lo más probable es que la resistencia esté relacionada con un incremento en el contenido de solutos en los tejidos de las plantas. En períodos de clima cálido las plantas crecen activamente, lo cual reduce la concentración de solutos y como consecuencia las plantas son menos resistentes.

El daño por heladas ocurre cuando se forma hielo en el interior de los tejidos y destruye las células de las plantas. El daño directo es debido a los cristales de hielo que se forma en el protoplasma de las células (congelamiento intracelular), mientras que el daño indirecto ocurre cuando el hielo se forma en el espacio extracelular (congelamiento extracelular). En ambos casos el daño celular puede afectar a la planta completa o parte de ella, lo cual reduce el rendimiento y o la calidad del producto.

La evidencia establece que las células son destruidas gradualmente como resultado del crecimiento de la masa de hielo extracelular. Considerando que la presión de saturación de vapor es más baja sobre el hielo que sobre el agua líquida, el agua en el interior de las células pasará, en forma de vapor, a través de las membranas celulares semipermeables y se depositará sobre los cristales de hielo presentes fuera de las células. En plantas dañadas los cristales de hielo extracelulares son mucho más grandes que las células muertas que los rodean, las cuales han colapsado debido a la deshidratación. Por lo tanto, la principal causa del daño por heladas en las plantas es la formación de cristales de hielo extracelulares que provocan un estrés hídrico severo a las células que los rodean.

3.1. Las heladas y su efecto sobre la producción de especies frutales.

Cuando la temperatura ambiental desciende por debajo de los 0°C (helada), la condición ambiental llega a ser crítica no sólo para el desarrollo de los procesos fisiológicos de los árboles frutales sino también para la integridad de los tejidos que pueden ser dañados severamente por congelación.

Las heladas se clasifican, según la época en que se produzcan, invernales, primaverales o tardías. En el primer caso el frío afecta a las especies frutales de hoja perenne (papayo, palto, cítricos) y en el segundo caso a las mismas especies y a los árboles de hoja caduca (duraznero, damasco, nogal, vid) que han iniciado su desarrollo vegetativo.

En el Norte Chico (Regiones de Atacama y Coquimbo) el mayor daño es provocado por las heladas invernales que pueden dañar drásticamente las plantaciones de las principales especies de hoja perennes cultivadas en la zona. De acuerdo con el Catastro Frutícola CIREN-ODEPA del año 2005, las especies frutales de hoja perenne que ocupan la mayor superficie plantada son palto, cítricos, olivo, chirimoyo y papayo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Superficie con especies frutales de hoja perenne en el Norte Chico.

Especie	Superficie por Región, ha		Superficie total, ha
	Atacama	Coquimbo	
Palto	257	3.932	4.189
Olivo	2.404	1.232	3.636
Mandarino	134	1.493	1.627
Limonero	123	1.241	1.364
Naranja	108	618	726
Chirimoyo	10	452	462
Papayo	-	169	169

Desde el punto de vista de los árboles la severidad del daño por heladas en los tejidos vegetales depende de varios factores, entre los que se destacan:

3.1.1. Especie y variedad.

De las especies de hoja perenne presentes en el norte chico, el papayo es la más sensible a las heladas debido a su condición de planta herbácea con alto contenido de agua en sus tejidos. Le sigue en orden de sensibilidad el chirimoyo, palto, olivo, limonero, naranja y mandarino. Esta última especie es la que tiene la mayor resistencia a las heladas. En general, temperaturas de $-0,5^{\circ}\text{C}$ a -2°C provocan serios daños en flores, frutos y brotes, dependiendo de la duración de la helada. Respecto de la tolerancia varietal, en el palto la variedad Hass es mucho más sensible que la variedad Negra de La Cruz al daño por frío.

3.1.2. Edad de las plantas.

Las plantas nuevas, por poseer tejidos tiernos, son más sensibles a las heladas que las plantas adultas (Foto 4). Además, el daño puede comprometer a la planta completa y de esta forma provocar la muerte de ella. Contrariamente, en las plantas adultas suele quemarse sólo la periferia del árbol, de tal modo que el árbol es capaz de rebrotar vigorosamente a partir de yemas ubicadas en los brotes de la zona interior del árbol.



Foto 4. Daño por heladas en árboles jóvenes de palto.

3.1.3. Estado fenológico.

Los árboles cuyos brotes están creciendo activamente son más sensibles al daño por heladas. De allí la importancia de evitar la fertilización nitrogenada tardía en otoño, especialmente en plantas nuevas, para evitar que los brotes se desarrollen durante el período invernal.

3.1.4. Ubicación del huerto.

La plantación en laderas (Foto 5) disminuye significativamente el riesgo de daño por heladas, pues el aire frío es más pesado y tiende a localizarse en los sectores bajos.

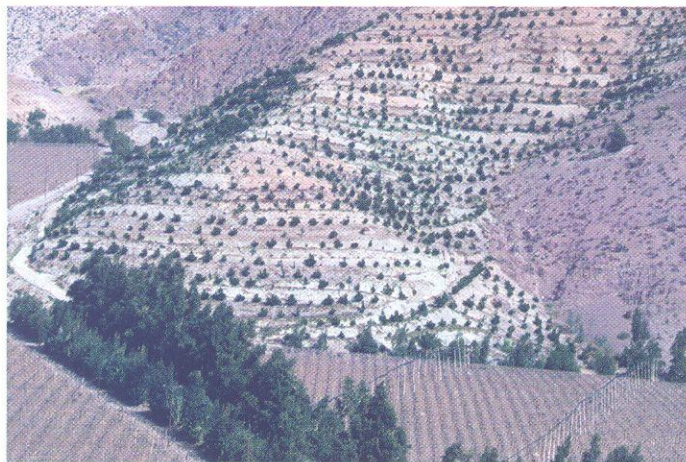


Foto 5. Plantación de paltos en ladera en el Valle del Elqui.

Dependiendo de la intensidad y duración de las heladas el daño en los árboles puede alcanzar diferente magnitud, desde la muerte del árbol hasta la quemadura leve de las hojas de la periferia. Sin embargo, se debe tener presente que el frío severo produce la pérdida de la producción (frutos) de la temporada y además compromete la producción de la temporada siguiente, al destruir los nuevos brotes potencialmente productores de frutos (Foto 6).

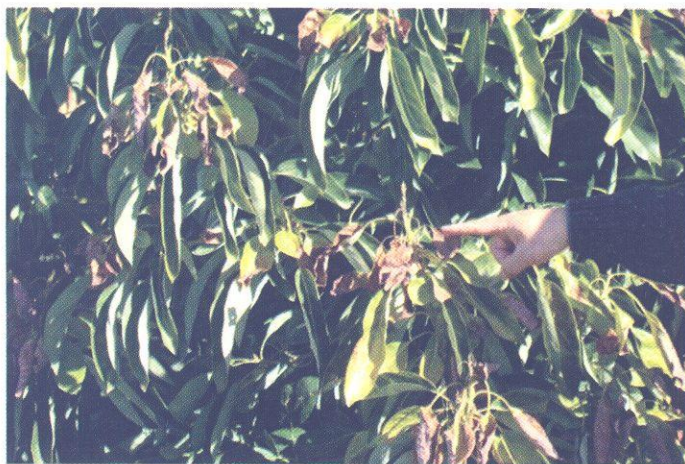


Foto 6. Ápices de brotes nuevos quemados en paltos.

3.2. Incidencia de heladas en especies frutales.

3.2.1. Papayos.

El papayo es un árbol tropical poco tolerante a climas fríos. Temperaturas de $-0,5^{\circ}\text{C}$ a $-1,0^{\circ}\text{C}$ pueden causar serios daños en frutos y tejidos vegetativos (Foto 7). La observación de campo indica que los árboles hembra son algo menos resistentes al frío que los árboles machos. La experiencia con otras especies indica que esta respuesta diferente se debe a que una alta carga de frutos en el árbol generalmente reduce su resistencia a las bajas temperaturas. Es probable que los frutos agoten el suministro de carbohidratos necesarios para otorgar mayor resistencia al árbol.



Foto 7. Daño por helada en plantas de papayo.

3.2.2. Chirimoyos.

Durante el período invernal, tanto los frutos como los brotes del chirimoyo están creciendo activamente; por lo tanto, son altamente susceptibles al daño por heladas. Se ha observado que la resistencia de esta especie frutal es similar a la variedad de palto Hass, es decir, alrededor de $-1,1^{\circ}\text{C}$. Síntomas de decoloración externa (piel) e interna (pulpa) pueden ser observadas en frutos expuestos por cortos períodos a temperaturas de $-1,6^{\circ}\text{C}$ (Foto 8). Temperaturas de $-3,3^{\circ}\text{C}$ pueden causar un daño generalizado en los árboles (Foto 9). Los árboles jóvenes son más sensibles, pudiendo ser dañados por temperaturas de $-1,0^{\circ}\text{C}$.



Foto 8. Fruto de chirimoyo dañado por heladas.

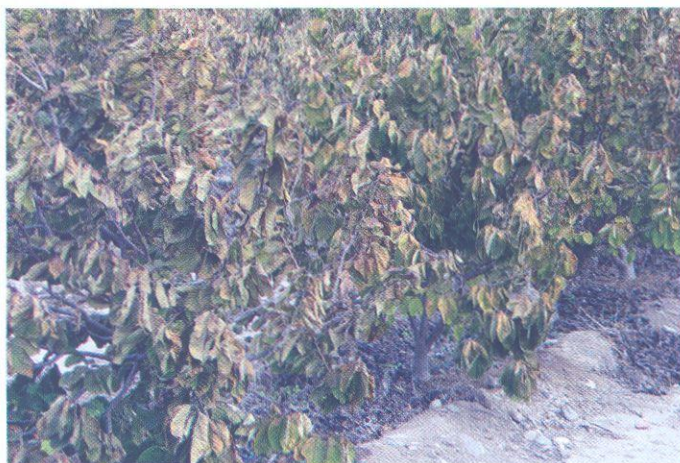


Foto 9. Daño en árbol de chirimoyo.

3.2.3. Paltos.

El palto es originario de las regiones tropicales, por lo tanto, cuanto más se aleja de su zona de origen tanto más su biología sufre alteraciones o trastornos. En los climas subtropicales la mayor limitación suelen constituir las heladas. El palto se divide en tres razas, con diversos orígenes geográficos, lo que supone que las caídas térmicas por debajo de 0°C , son toleradas de distinta forma según las características genéticas. De las tres razas, mexicana, antillana y guatemalteca, en Chile existen

comercialmente sólo las dos primeras. Estas presentan diferente resistencia a heladas, las mexicanas (p. ej. Bacon) son las más resistentes pudiendo tolerar heladas próximas a -5°C , mientras que a dicha temperatura las variedades de origen guatemalteco (p. ej. Hass) son severamente dañadas.

De acuerdo con observaciones realizadas en distintas partes del mundo como consecuencia de heladas ocasionales o de ensayos experimentales, se puede aceptar como indicativa la siguiente escala de tolerancia térmica para las variedades más conocidas, Cuadro 5.

Cuadro 5. Temperaturas indicativas de resistencia a heladas de palto.

Variedad de palto	Temperatura, $^{\circ}\text{C}$
Hass	1,0
Fuerte	-2,0
Zutano	-3,5
Bacon	4,5
Negra de La Cruz	-5,0

Caídas térmicas hasta $-2,0^{\circ}\text{C}$ suelen dañar las hojas y las partes leñosas jóvenes de los árboles. Los frutos pueden ser afectados por heladas de dos formas: de manera directa provocando la muerte de ellos (Foto 10) y de manera indirecta causando la caída de ellos por necrosis del tejido vascular del pedúnculo (Foto 11).

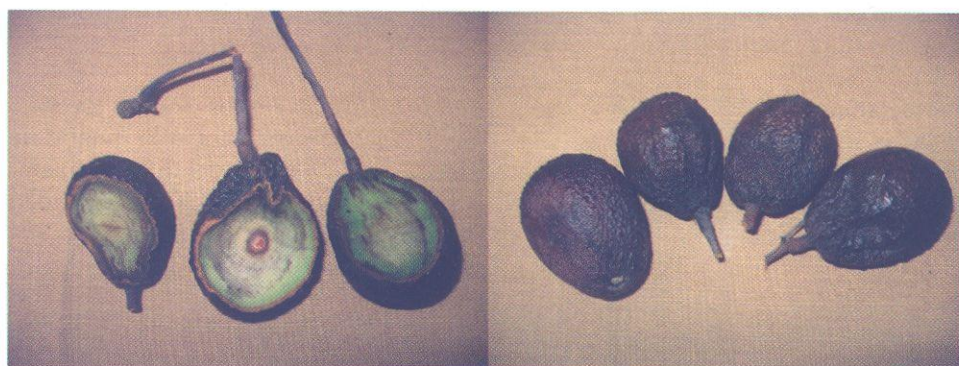
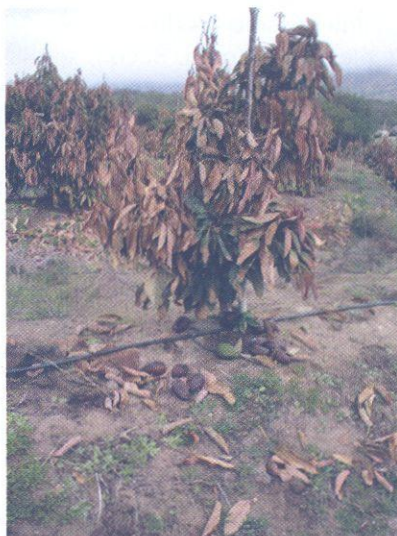


Foto 10. Daño en frutos de palto.



(A)



(B)

Foto 11. Daño en pedúnculo (A) y posterior caída de frutos (B).

3.2.4. Olivos.

El cultivo del olivo se realiza preferentemente en zonas con clima mediterráneo caracterizado por inviernos suaves y veranos largos con temperaturas cálidas y baja humedad ambiental. Los brotes de los árboles sufren un proceso de endurecimiento causado por las temperaturas frías progresivas del otoño, lo que les hace resistentes a temperaturas inferiores a 0°C durante el período invernal.

Temperaturas de 0°C a -5°C provocan pequeñas heridas en brotes y ramas jóvenes. Heladas severas de -5°C a -10°C pueden tener como consecuencia la muerte de brotes y ramas. Durante el período de crecimiento y maduración del fruto, temperaturas inferiores a 0°C lo dañan (Foto 12), disminuyendo la producción y la calidad del aceite obtenido.



Foto 12. Daño de heladas en frutos de olivos.

3.2.5. Cítricos.

En general, los cítricos (limonero, naranjo, mandarino, pomelo) pueden soportar temperaturas inferiores a -2°C sin sufrir daños importantes (Foto 13), siempre que la helada no sea de larga duración. Si ella se prolonga por más de 2 horas, los frutos pueden ser dañados en forma irreversible.



Foto 13. Árbol de naranjo afectado por helada.

El árbol de limonero es el más sensible al frío, seguido del pomelo y el naranjo. Los mandarinos son los más resistentes. Los daños en el fruto afectan la piel y la pulpa. En la piel aparecen áreas blandas y acuosas sobre las que se desarrollan hongos. Las alteraciones en la pulpa se observan luego de algunos días, después de la helada y son más graves en los frutos pobres en azúcares, como limones y pomelos, en los que las vesículas se desecan rápidamente. En frutos de naranjo el daño por heladas puede ocurrir dentro del fruto sin que se observen síntomas externos.

De acuerdo con la información de literatura la escala de daños en naranjo por acción de las heladas es la siguiente, Cuadro 6.

Cuadro 6. Temperaturas límites y daños causados en naranjo por efecto de heladas.

Temperatura limite, °C	Daño causado
0 a -2	flores y daños leves en hojas y frutos
2 a -3	severos en frutos y hojas
-3 a -9	estructura del árbol
menos de -9	posible muerte del árbol

3.2.6. Vides.

En el Norte Chico la uva de mesa ocupa la mayor superficie plantada entre las especies frutales, con 17.434 ha según el Catastro Frutícola CIREN-ODEPA de 2005. Con el propósito de estimular la brotación temprana y uniforme de las yemas, es de uso generalizado en los parronales el producto cianamida hidrogenada. Como resultado de la aplicación, la brotación de las yemas suele ocurrir hacia fines de julio o inicio de agosto, dependiendo de la variedad y/o zona de producción. Por esto, es importante considerar las heladas invernales tardías que pueden provocar pérdidas significativas de la producción por necrosis de los brotes (Foto 14).

En las vides, las heladas pueden destruir el brote completo (tallo, hojas, flores y frutos). La yema compuesta tiene tres puntos de crecimiento. La yema central o primaria es la única que normalmente crece; sin embargo, si el brote es destruido se desarrolla la yema secundaria e incluso la terciaria. Lamentablemente, las yemas secundarias son de baja fructificación, presentando sus brotes menos racimos y menos bayas. Los brotes de las yemas terciarias no tienen racimos.

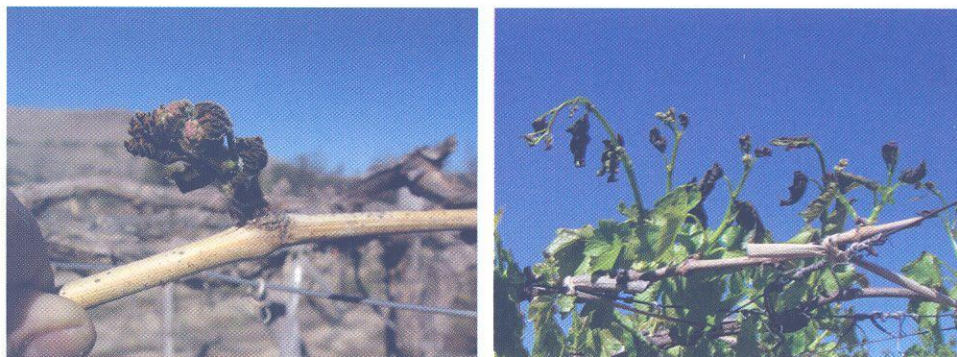


Foto 14. Quemadura de brotes de vid de mesa.

Los brotes y racimos pueden ser dañados con temperaturas inferiores a $-0,5^{\circ}\text{C}$. Temperaturas de -3°C o inferiores por pocas horas provocarán la muerte de brotes, racimos florales e incluso de yemas que están parcialmente abiertas.

La reducción de la producción causada por una helada severa dependerá de la cantidad de yemas que han iniciado el crecimiento al momento de la helada y del hábito de fructificación de la variedad. Las primeras yemas en brotar son aquellas de la zona apical (punta) de los cargadores. Las yemas basales y del sector medio de los cargadores brotan más tarde (Foto 15). Así, una helada temprana afectará una baja proporción de yemas en crecimiento, causando menos daño que una helada tardía que afectará más yemas en crecimiento activo.

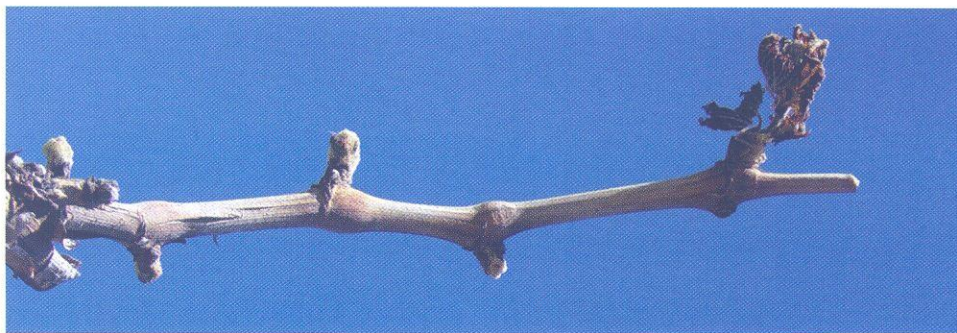


Foto 15. Yema apical dañada y yemas basales aparentemente sanas.



Capítulo 4

EFFECTO DE LAS HELADAS SOBRE CULTIVOS Y HORTALIZAS

4. EFECTO DE LAS HELADAS SOBRE CULTIVOS Y HORTALIZAS.

4.1. Situación de los cultivos anuales en el Norte Chico.

En el Norte Chico (Regiones de Atacama y Coquimbo) los cultivos con mayor presencia en superficie e importancia económica son las hortalizas en su conjunto y la papa, mientras que los cereales de invierno, tales como trigo, avena y cebada, que no son sensibles a las heladas, se cultivan en menor medida, principalmente con un propósito de rotación de cultivos.

Las hortalizas se definen como “plantas herbáceas o semileñosas que dan un producto de consumo humano, perecedero o de corta postcosecha”, dentro de lo cual se incluye a especies como papa temprana, habas, arvejas para vaina, poroto verde, poroto granado y maíz para choclo.

La única información oficial sobre superficies, disponible a la fecha, corresponde al VI Censo Nacional Agropecuario de 1997, cuyo resumen se muestra en el Cuadro 7.

Se estima que algunas especies han disminuido su superficie, como es el caso de papa y pimiento, mientras que otras han aumentado considerablemente (lechuga, apio y alcachofa).

Cuadro 7. Resumen de superficie de hortalizas y papa en la Región de Coquimbo, de acuerdo con el VI Censo Nacional Agropecuario 1997.

Especies	Superficie, ha
Papa	7.048
Pimiento	1.830
Alcachofa	1.178
Poroto verde, apio, tomate, choclo	500 - 1.000
Arveja verde, pepino dulce, zapallito italiano, haba, zapallo temprano y guarda	200 - 500
Zanahoria, repollo, lechuga, poroto granado, ají	100 - 200
Coliflor, melón, pepino ensalada, comino, puerro, cilantro	50 - 100
Betarraga, sandía, cebolla temprana, acelga, repollito brussels, tomate industrial, cebolla guarda	10 - 50
Brócoli, rábano, espárrago, perjol, espinaca, otras	< 10
Total hortalizas y papa	16.002

Lo que no ha cambiado, sino más bien se ha acentuado, es la orientación preferente a la producción fuera de estación, tanto de especies de invierno como de verano, por lo que, durante el período invernal se puede encontrar gran diversidad de especies presentes y en diferentes estados fenológicos, como se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Principales especies presentes en zonas de cultivo de la Región de Coquimbo durante el período de riesgo de heladas (junio a agosto).

Especies o grupo	Propósito	Zonas	Estados fenológicos o de cultivo
Almácigos de invierno	Cultivos de invierno y tempranos de primavera	Todas	Germinación, plántulas
Alcachofa argentina	Procesamiento y consumo fresco	Con influencia costera	Vegetativo y en plena producción
Alcachofa Francesa	Consumo fresco	Con influencia costera	Vegetativo y primeras cosechas (agosto)
Apio	Período amplio de cosecha	Con influencia costera	En desarrollo y cosecha
Arveja y haba	Primor de invierno	Con influencia costera	En desarrollo y cosecha
Brócoli, coliflor y repollo	Período amplio de cosecha	Con influencia costera	Todos los estados
Lechuga	Producción todo el año	Con influencia costera	Todos los estados
Maíz choclo	Para temprano y tarde	Todas	Cosechas tardías (junio), siembras tempranas (julio/ago)
Papa	Primor de invierno	Con influencia costera	En desarrollo y cosecha
Pepino dulce	Para tarde	Con influencia costera	En cosecha de invierno
Poroto verde	Para temprano y tarde	Todas	Cosechas tardías (junio), siembras tempranas (julio/ago)
Pimiento (morrón)	Para tarde	Todas (mayor parte en zona costera)	Cosechas tardías (junio-ago),
Tomate aire libre	Para tarde	Todas (mayor parte en zona interior)	Cosechas tardías (junio-ago),
Tomate invernadero	Primor	Todas (mayor parte en zona interior)	Plantas cercanas a cosecha o ya en producción
Zanahoria y betarraga	Período amplio de cosecha	Con influencia costera	Todos los estados

Otras aire libre temprano (zapallo temprano, zapallo italiano, sandía melón)	Primor	Todas (mayor parte en zona interior)	Plantas en establecimiento
Otras invernadero (pepino, ají, pimiento, poroto verde)	Para temprano y tarde	Todas (mayor parte en zona interior)	Cosechas tardías (junio), siembras tempranas (julio/ago)

4.2. Efecto de las heladas en las hortalizas.

Las hortalizas son un conjunto altamente heterogéneo de vegetales de diferentes familias botánicas, con diversos órganos de consumo, tales como raíces, tubérculos, bulbos, tallos, hojas, inflorescencias, frutos, semillas inmaduras y de diferentes hábitos de crecimiento: arbustivas, erectas, postradas y guiadoras. Junto con esto, existen especies de crecimiento en estación cálida (primavera-verano) y otras con adaptación a estación fría (otoño-invierno), por todo lo cual presentan diferente sensibilidad ante las heladas.

Los principales daños son los siguientes:

- Muerte o daño de plántulas recién germinadas. Puede afectar seriamente a siembras directas y a almácigos.
- Quemadura de follaje. Es la sintomatología más visible y puede ir desde un daño parcial en hojas más expuestas hasta muerte total de la planta.
- Aborto floral. De especial importancia en habas y arvejas que se encuentran en floración.
- Muerte total o parcial de frutos en formación.
- Alteración de calidad en productos aparentemente no dañados. Ejemplo, fibrosidad en tallos de apio, pardeamiento de cabezuelas de alcachofa, consistencia corchosa y deshidratada de frutos de tomate.
- Detención del crecimiento o de la maduración de frutos.

4.3. Sensibilidad de las hortalizas a las heladas.

Las hortalizas suelen clasificarse como “de invierno” (de estación fría) y “de verano” (estación cálida), de acuerdo con sus requerimientos de temperatura para un óptimo desarrollo.



Foto 16. Quemadura de follaje de tomate en invernadero a punto de cosechar.

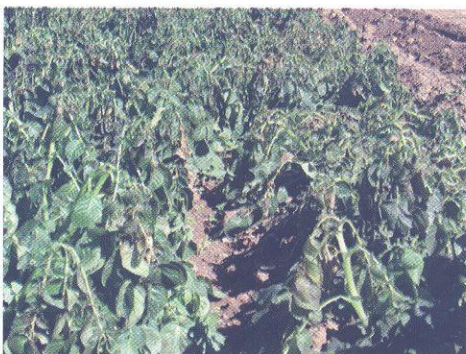


Foto 17. Plantas de papa quemadas.



Foto 18. Cabezuelas de alcachofa con daño total.

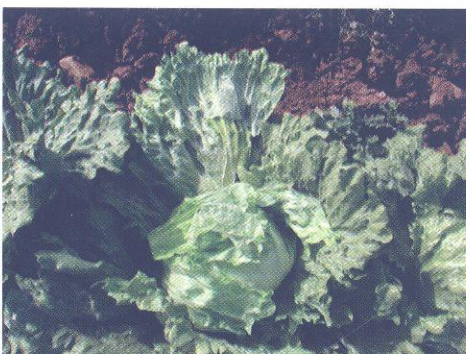


Foto 19. Planta de lechuga repollada crespa (tipo "escarola") con daño en hojas exteriores.



Foto 20. Flores de haba quemadas.

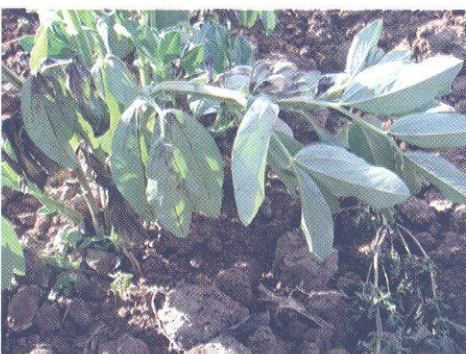


Foto 21. Plantas de haba dobladas por el peso del hielo.

En general, las especies de verano se dañan por heladas, aunque existen diferencias en el grado de sensibilidad, siendo algunas, como el tomate, capaces de tolerar hasta -2°C por un corto tiempo, mientras que otras como pepino dulce, sandía y melón no son capaces de tolerar 0°C .

- Las especies de invierno, presentan diferencias en su sensibilidad ante heladas. Estas especies presentan un desarrollo óptimo con temperaturas frescas, bajo 20°C (óptimas entre 15 a 18°C) y no se dan bien con calor. Sin embargo, se perjudican o crecen muy lento con temperaturas bajas (menos de 10°C) y muchas de ellas se dañan por heladas. Un caso ilustrativo de esto es la papa, que aparece en las clasificaciones como especie de estación fría, pero es muy sensible a las heladas.

El hecho que muchas especies de invierno como apio, lechuga o brassicas (repollo, coliflor) se realicen en mayor escala en la costa de Coquimbo para obtener cosechas invernales o tempranas de primavera, se debe a que dichas especies no prosperan de igual forma en las condiciones de invierno del valle central.

4.3.1. Especies que no toleran heladas.

Las principales especies de este grupo son: albahaca, ají, berenjena, camote, maíz, melón, papa, pepino, pepino dulce, pimiento, poroto verde y granado, sandía, tomate, zapallo, zapallito italiano.

En la zona central son cultivos mayoritariamente para cosecha de pleno verano y su establecimiento se realiza pasando el peligro de heladas. El interés en Coquimbo está en los cultivos tardíos (cosechas de abril a julio) y tempranos (cosechas de agosto a diciembre). En algunos casos, como tomate, ají, pimiento pepino y poroto verde se utilizan invernaderos para la producción temprana. Por esta razón, una helada entre junio y agosto en esta zona puede encontrar cultivos en plena cosecha, en pleno crecimiento o recién establecidos.

4.3.2. Especies que toleran heladas débiles.

En general se consideran tolerantes a heladas y de hecho fueron las especies menos afectadas con el fenómeno de julio de 2007. Las principales especies son acelga, betarraga, espinaca, brócoli, rábano, repollo, repollito de Bruselas, zanahoria,

La mayoría de estas especies se realizan todo el año en Coquimbo y se pueden encontrar en diversos estados de desarrollo en el campo en el período más frío.

4.3.3. Especies que se dañan cerca de madurez.

También tienen un grado de tolerancia a las heladas, pero se dañan más fácilmente cuando se encuentran en un estado de desarrollo cercano a la cosecha. Este daño, habitualmente afecta a la calidad del producto cosechado, pero en algunos casos puede perderse la producción. Las principales especies son alcachofa, apio, arveja, coliflor, haba, lechuga

4.3.4. Especies que toleran heladas.

Este grupo corresponde a las aliáceas: ajo, cebollas, cebollines, chalota y puerro. De este grupo de cultivos, en la Región de Coquimbo, se encuentran con alguna superficie sólo el puerro y las cebollas tempraneras.

4.4. Uso de invernaderos, túneles y mulch.

Los llamados invernaderos en Chile, son estructuras de soporte con un material de cubierta que posee algún grado de “efecto invernadero” con lo cual, en presencia de luz de día provocan alza de la temperatura interior, lo que favorece el crecimiento de las plantas.

No obstante, en cuanto llega la noche se enfrían rápidamente puesto que tanto las estructuras como los materiales de cubierta no poseen propiedades adiabáticas ni antirradiativas que impidan la pérdida de calor.

Por lo tanto, los invernaderos de polietileno común, sin sistemas de calefacción, no protegen de heladas. Aún más, suele ocurrir la llamada “inversión térmica”, en que la temperatura interior del invernadero desciende más que en el exterior. Este fenómeno es reportado como habitual en Almería, España. El caso de los túneles es exactamente igual.

En el caso del mulch, los plásticos transparentes y semitransparentes producen un efecto invernadero, donde el suelo húmedo bajo el mulch recibe la radiación, eleva su temperatura y transmite calor hacia capas más profundas. En la noche, ocurre el flujo inverso y el suelo entrega calor al aire en contacto con él. Este proceso puede brindar protección suficiente para salvar de heladas a plantas pequeñas, cercanas al suelo y que producen poco sombreado, pero no así a plantas de mayor desarrollo.

4.5. Cultivos con mayor riesgo en Coquimbo y posibilidades de manejo.

Los cultivos de hortalizas expuestos a las heladas invernales en la Región de Coquimbo son los siguientes

4.5.1. Especies de verano en invernaderos.

- a. **Tomate para cosecha de primavera.** Los agricultores programan sus plantaciones para concentrar cosecha entre septiembre y noviembre, por lo cual entre junio y agosto pueden encontrarse en inicio de cosecha o muy próximos a ella. La bibliografía reporta primeros daños a $-0,5^{\circ}\text{C}$ y muerte de la planta a -2°C . Con heladas menos intensas pueden salvarse los racimos basales, aunque los frutos pueden resultar con consistencia interior corchosa, es decir deshidratados. Con heladas intensas se puede perder toda la producción. Cuando la base de la planta no se ha dañado seriamente es posible cortar a ras de piso para promover una brotación desde yemas basales y formar nuevas plantas para una producción de primavera.
- b. **Ají y pimiento para cosecha de primavera.** El caso es muy similar al del tomate, con el agravante de que las plantas son más sensibles y se queman con temperaturas levemente bajo 0°C .
- c. **Pepino para cosecha tardía.** El pepino muere con -1°C , pero además, no se cultiva para pleno invierno en Coquimbo porque sufre daño por frío, aunque no hiele. Por tal razón se planta a principios de marzo para cosechar durante mayo y junio, tratando de prolongar la cosecha hasta julio. En este caso, la pérdida correspondería a los últimos frutos por cosechar.
- d. **Tomate para cosecha tardía.** Plantaciones de enero para cosechar entre abril y julio. La pérdida corresponde a frutos de los últimos racimos.
- e. **Plantaciones de invierno de pepino o poroto verde.** Estas siembras o plantaciones se hacen "a salidas de invierno", es decir de mediados de julio hasta agosto, para producción de primavera. El daño se produce en las plantas pequeñas, las que, en años normales (con heladas poco intensas) logran escapar al daño por el efecto protector que puede realizar el suelo húmedo, sobre todo si está cubierto con mulch de polietileno semitransparente. En este caso, es posible resembrar o replantar si es que se dispone de plantas, lo que implica un atraso en la producción.

4.5.2. Especies de verano al aire libre.

- a. **Cultivos tardíos para cosecha de invierno.** Pimiento, pepino dulce, tomate, zapallo italiano, establecidos en verano para cosechar en otoño-invierno en zonas "sin heladas". Todos estos cultivos se dañan con temperaturas entre 0 y -2°C y se puede perder de 30 a 50 % de la producción, según la fecha de la helada y el avance de la cosecha.

- b. Cultivos primores de primavera.** En este caso, las siembras o trasplantes se realizan entre julio y agosto, en zonas abrigadas y que incrementan sus temperaturas rápidamente al avanzar la estación. Es el caso de melón, sandía, maíz dulce, zapallo italiano, poroto verde y granado. También en zonas costeras, el caso de zapallo temprano, zapallo italiano y maíz. El principal problema es la pérdida de inversión en semillas o almácigos y el atraso en el nuevo establecimiento. En el caso del maíz, las plantas de hasta 4 hojas pueden recuperarse porque el punto de crecimiento se encuentra aún bajo el suelo y normalmente no se daña.

4.5.3. Especies de invierno.

- a. Papa.** Los antecedentes señalan que la papa se daña a partir de $0,8^{\circ}\text{C}$ y que se muere a -2°C . Es conocido de los agricultores que este cultivo es uno de los más sensibles y que todos los años está en riesgo de perderse por las heladas normales de la zona. El efecto de la helada depende del estado de desarrollo de las plantas. Aquellas con brotes nuevos pueden recuperarse a través de una nueva brotación. De igual modo, plantas de más de tres meses ya han formado una cantidad de tubérculos y se puede obtener cosecha, aunque los rendimientos serán inferiores. Con plantas crecidas de menos de tres meses el daño es total y sin posibilidades de recuperación.
- b. Alcachofa argentina.** Esta planta se puede encontrar en fase de crecimiento vegetativo, en formación de capítulos o en plena cosecha. El daño en las cabezuelas ocurre a partir de -1°C y comprende desde un desprendimiento de cutícula (piel) hasta la muerte de la cabezuela. El follaje, en cambio, no resulta dañado y mucho menos el rizoma. El cultivo se puede recuperar mediante una nueva brotación para una producción de primavera, para lo cual es conveniente apurar el "destalle" o eliminación de los tallos presentes y aplicar nitrógeno.
- c. Lechuga, apio, brócoli, coliflor y repollo.** Si se encuentran en estado de cosecha puede haber algún deterioro de la calidad del producto, pero normalmente no se va a perder el cultivo. Las plantas pequeñas normalmente no se ven afectadas.
- d. Habas y arvejas.** Estas plantas resisten hasta $-4,0^{\circ}\text{C}$ en estado vegetativo, pero las flores y frutos en formación se dañan con temperaturas a partir de $-0,6^{\circ}\text{C}$. En Coquimbo, se cultivan para producción de pleno invierno, por lo que las pérdidas ocurren por aborto de flores y daño a vainas en formación. En habas también puede existir pérdidas por quiebre de tallos debido al peso del hielo. Se debe considerar si conviene esperar la formación y cuaja de nuevas flores o eliminar el cultivo.
- e. Betarraga, zanahoria, acelga, espinaca.** No deberían presentar daños por las heladas.



Capítulo 5

MÉTODOS DE CONTROL DE HELADAS

5. MÉTODOS DE CONTROL DE HELADAS

Frente a la ocurrencia de heladas, hay dos métodos de trabajo para mitigar el daño económico en los cultivos: Métodos pasivos y métodos activos.

5.1. Métodos pasivos.

5.1.1. Selección del lugar a cultivar.

Las heladas por advección no son de cobertura local y cuando estas ocurren, afectan una superficie significativa del país. Por otra parte, las heladas por radiación tienen un carácter más local, aunque también el área afectada puede ser importante, si ésta ocurre durante los meses de invierno. Las heladas de primavera, de tipo “radiación”, tienen una cobertura circunscrita a lugares específicos.

Hay lugares que tienen una frecuencia de ocurrencia de heladas mayor debido al movimiento del aire frío, pendiente, exposición y tipo de suelo. Típicamente, sectores bajos tienden a acumular aire frío que baja desde zonas de mayor altura (Figura 9). También puede ocurrir, que no existiendo diferencias topográficas notorias, una parte de un sector se ve afectado por heladas con mayor frecuencia, posiblemente por efecto del tipo de suelo, ya que las características de conducción y capacidad de almacenamiento de calor varían entre ellos.

Aquellas zonas con mayor ocurrencia de heladas, no deben ser cultivadas con especies susceptibles a bajas temperaturas. Antes de tomar una decisión de plantar o cultivar en un área determinada, el agricultor debe reunir información a cerca de la

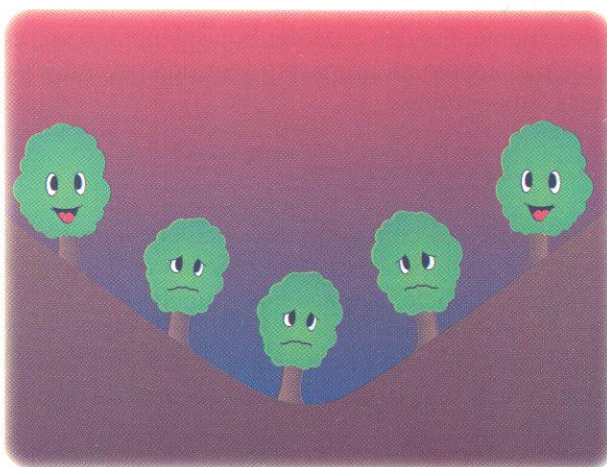


Figura 9. El aire frío se acumula en las zonas bajas.

ocurrencia de bajas temperaturas en esa zona. Una buena fuente son las personas que habitan por largo tiempo en las inmediaciones del lugar, los árboles que existe en el sector y las redes meteorológicas locales que disponen de datos de temperatura, radiación y humedad relativa confiables por varios años. Complementariamente, se puede recurrir a información generada por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), que dispone de mapas de probabilidad de ocurrencia de heladas primaverales, confeccionadas utilizando modelos climáticos en base a fotos satelitales.

5.1.2. Selección de especies.

Como ya se ha indicado existen diferentes grados de susceptibilidad a las heladas entre especies y variedades dentro de límites razonables. Además, algunos patrones radicales confieren ciertos grados de tolerancia a bajas temperaturas

5.1.3. Movimiento natural del aire frío.

El aire frío, como es más denso, tiende a ocupar posiciones más bajas en una zona específica. Una medida posible de implementar es facilitar el movimiento del aire frío hacia zonas más bajas con el objetivo que no ocurran temperaturas que pudiesen provocar daños en los cultivos.

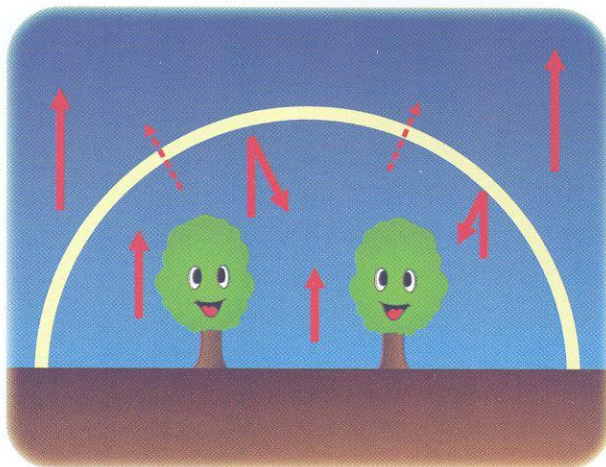
5.1.4. Manejo de la fertilización.

La resistencia a bajas temperaturas se incrementa cuando las plantas acumulan compuestos generados por la fotosíntesis en sus tejidos sensibles. Los programas de fertilización son importantes ya que afectan el vigor de las plantas y la resistencia a plagas y enfermedades. Especies frutales de hoja perenne no fertilizados convenientemente, tienden a perder hojas temprano en otoño, brotan en forma irregular anticipadamente en primavera y se queman muy fácilmente con la ocurrencia de bajas temperaturas.

5.1.5. Uso de cobertores.

La utilización de cobertores de polietileno térmico ayuda a los cultivos a protegerlos de las bajas temperaturas. Esta práctica es utilizada en la producción de hortalizas a través del uso de invernaderos y túneles (Figura 10). El polietileno normal no protege contra heladas ya que es permeable a la pérdida de calor por radiación. El uso de plásticos en la agricultura no asegura éxito pleno en el control de heladas, ya que temperaturas muy bajas producen quemadura de plantas debido a que la resistencia del plástico a la pérdida de calor es limitada.

Figura 10. Uso de cubiertas plásticas térmicas para mejorar la temperatura normalmente no protege de heladas.



5.1.6. Manejo de la humedad del suelo.

En general, la humedad del suelo afecta la capacidad calórica del suelo (capacidad de almacenar calor) y la velocidad de movimiento del calor, término denominado “conductividad térmica”.

Un suelo con bajo contenido de humedad, posee una fracción importante del volumen ocupado con aire. El aire presenta baja capacidad calórica en comparación con el agua. Para mejorar este aspecto, se debe regar para ocupar gran parte del volumen de aire con agua.

Por el día, la radiación del sol calienta el suelo y el calor se mueve por conducción en profundidad. Por la noche, al enfriarse la superficie del suelo, el calor asciende y se pierde hacia el espacio. La cantidad de calor almacenada en el suelo influye en la duración de la helada. No es lo mismo, temperaturas bajo 0°C durante una hora que cinco horas.

5.2. Métodos activos.

5.2.1. Uso de calefactores.

Durante la ocurrencia de una helada, el suelo pierde energía a razón de 50 a 90 J/m². Una forma de compensar la pérdida de calor es quemando algún material en forma controlada. El aporte de calor debe ser efectuado a toda la superficie para lograr los efectos deseados. Los calefactores pueden ser de dos tipos: fijos (Figura 11) y móviles (Figura 12).

Figura 11. Mecheros utilizados en el control de heladas.

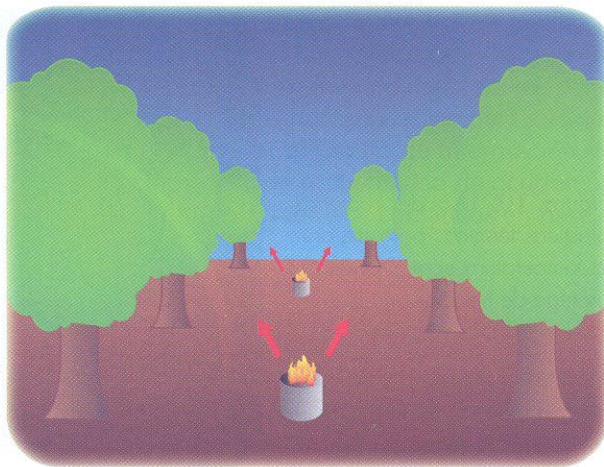
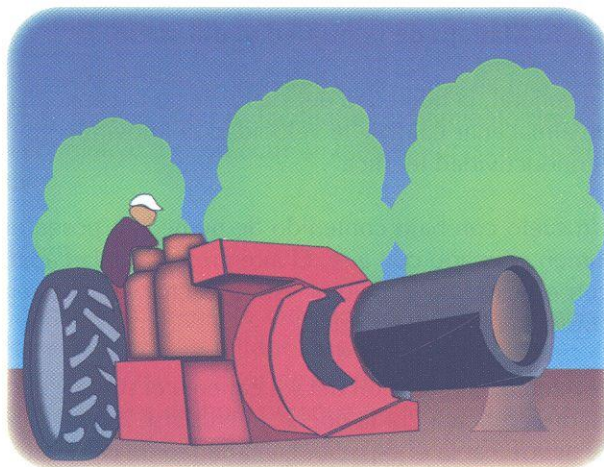


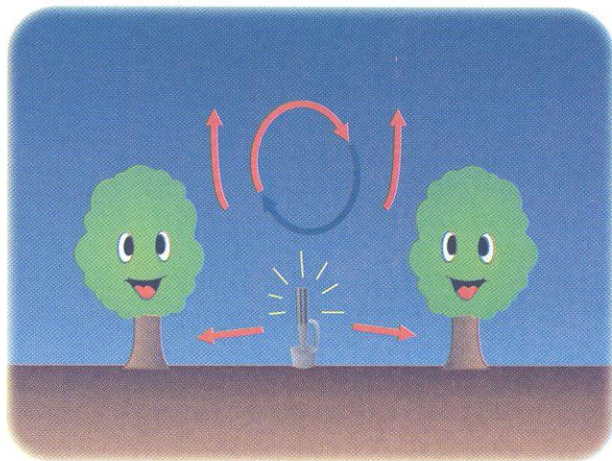
Figura 12. Calefactor móvil.



- a. **Calefactores fijos.** La quema de combustible, de preferencia petróleo, aporta el calor necesario para compensar la pérdida de calor. Del calor originado por el mechero, una parte asciende a niveles superiores de la atmósfera y se pierde, otra parte genera torbellinos que redistribuyen el calor por convección (Figura 13). Aquellas plantas en contacto directo con el mechero, también reciben calor por radiación. Este aspecto es importante al momento de ubicar los calefactores dentro del huerto, de manera que gran parte de las plantas este en contacto directo con ellos.

La cantidad de calefactores por hectárea debe ser del orden de 100 a 125. La quema de combustible debe ser a razón de 2,5 a 3 L/h por cada unidad. Asu-

Figura 13. Flujo de calor en el control de heladas utilizando calefactores.



miendo la utilización de 125 quemadores por ha, consumiendo 2,5 L de petróleo por hora, el requerimiento de combustible es de 312,5 L/h/ha.

Bajo las condiciones de las heladas que producen mayor daño en la Regiones de Atacama y Coquimbo, tienen una duración cercana a 8 h, por lo tanto, el requerimiento de combustible es aproximadamente 2.500 L/ha. Asumiendo que el costo del petróleo es cercano a \$500/L el costo directo en combustible por ha, considerando un tiempo de uso de 8 h es de \$1.250.000/ha/noche.

El agricultor, al utilizar este método de control, debe disponer de la infraestructura necesaria para manipular combustibles a nivel de campo en volúmenes significativos y el personal suficiente para encender los calefactores, cuando la temperatura esté cercana a 0°C y recargar los calefactores con combustible a medida que éste se consuma.

El problema que provoca la utilización de mecheros es la contaminación del aire. En condiciones de heladas por radiación, no hay viento, por lo tanto, el humo tiende a permanecer en el lugar afectado o alrededores por varias horas.

- b. Calefactores móviles.** El calefactor móvil es una unidad de arrastre o integral conectada a un tractor que utiliza gas butano en balones de 45 kg para generar el calor. Para distribuir el calor en toda la superficie que se desea proteger, la unidad debe permanecer en movimiento durante toda la duración de la helada.

El consumo de combustible es de aproximadamente 35 kg/h. La superficie que se puede proteger con este sistema es función de la velocidad de trabajo del tractor, y la duración del calentamiento (15 y 30 minutos). Asumiendo una ve-

locidad del tractor de 10 km/h y que la frecuencia de pasada es 30 minutos, un equipo es capaz de proteger entre 3,0 a 5,0 ha. Para un trabajo continuo durante 8 h, el requerimiento de butano es de 6 balones de 45 kg.

Asumiendo que el kilo de gas licuado en balón de 45 kg es \$850, el costo directo en combustible para un trabajo continuo de 8 horas es \$238.000. Si la superficie a proteger es 5,0 ha, el costo unitario en combustible es \$47,600/ha.

- c. **Misceláneos.** En el uso de fogatas y generación de humo para el control de heladas es necesario tener algunas consideraciones.

Fogatas. El calor adicionado al medio mediante el uso de fogatas (Figura 14) no es eficiente. La fogata calienta el aire a temperaturas entre 600 y 1000°C. El aire caliente asciende rápidamente hasta alcanzar alturas en donde gran parte del calor se pierde definitivamente. Las fogatas producen torbellinos en un radio de influencia no superior a 20m y el área calefaccionada por radiación no es importante en una superficie bajo cultivo.

Humo. El humo producto de la quema de neumáticos, madera o maleza no tiene efectividad en el control de las heladas. A pesar que el humo puede concentrarse en las estratas bajas de la atmósfera y contiene partículas en suspensión de menos de 1 mm de diámetro e impide parcialmente el paso de la luz, deja pasar libremente la radiación electromagnética en la longitud de onda de 10 micras correspondiente a la pérdida de calor por radiación del suelo (Figura 15). Otro problema, es que a la salida del sol, el humo impide el paso de calor hacia el suelo, prolongando por algún tiempo el efecto de la helada.

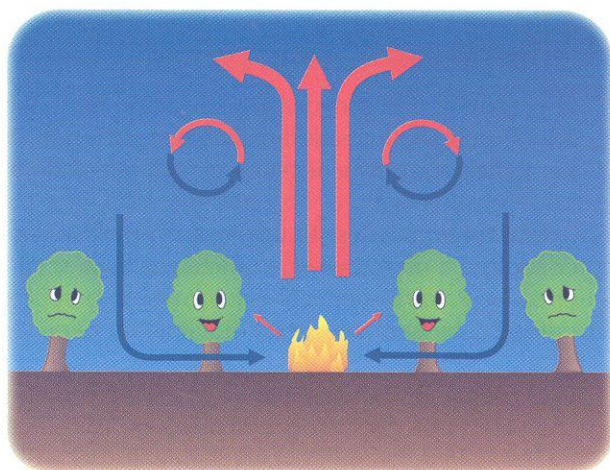
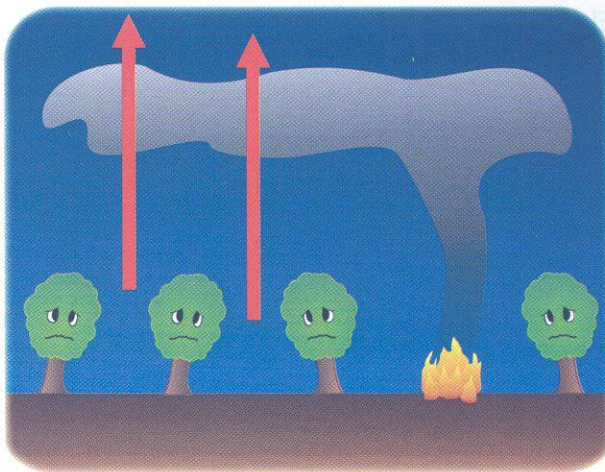


Figura 14. En una fogata, gran parte del calor se va hacia lo alto y no controla de buena forma la helada.

Figura 15. El humo es transparente al paso de calor desde el suelo y no protege contra la helada.



5.3. Uso de ventiladores.

5.3.1. Uso de ventiladores de eje horizontal.

Grande ventiladores de eje horizontal tienen por finalidad mezclar aire que se encuentra entre una altura de 10 a 20 m sobre el suelo y a mayor temperatura por efecto de la inversión térmica.

Los ventiladores de eje vertical consisten en torres de acero de altura entre 10 a 12 m con una hélice de 3 a 6 m de diámetro (Figura 16). La hélice gira a 600 rpm. El eje de la hélice se encuentra levemente inclinado para facilitar el flujo de aire “tibio” hacia la superficie del suelo. La hélice rota en torno a un eje vertical de la torre de una vuelta cada 4 o 5 minutos para proteger toda la zona que rodea al ventilador.

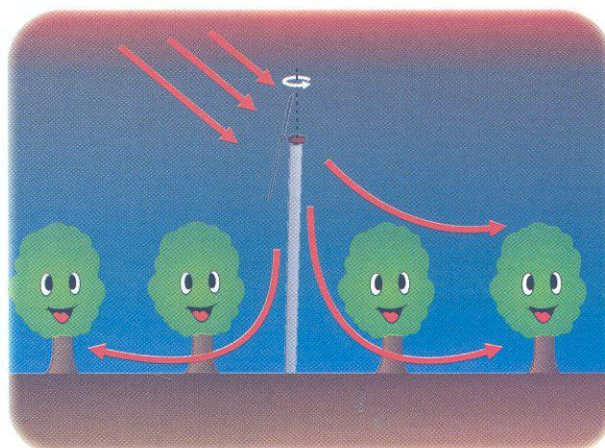


Figura 16. Uso de ventiladores para el control de heladas.

El área de cubrimiento de una torre de viento es aproximadamente entre 4 a 5 ha. Para el funcionamiento de los motores, se requiere alrededor de 75 kw/h. Los motores son de preferencia eléctricos, pero también se pueden hacer funcionar con gas licuado y petróleo. Si el motor consume 75 kw/h y el valor del kw es \$50, el costo directo en energía eléctrica es \$3.750/h. Importante es considerar la tarifa eléctrica contratada en donde se debe cancelar por potencia independientemente si se utiliza o no.

5.3.2. Uso de ventiladores de eje vertical (Sistema SIS)

El sistema SIS (Sumideros invertidos selectivos, Figura 17), fue desarrollado en Uruguay por Rafael Guarga en la década del 90 y consiste en un ventilador con dos aspas de 2,2 m de diámetro que selectivamente impulsa el aire frío que provoca daños a los cultivos hasta una altura aproximada de 100 m, sin alterar la inversión térmica. Dependiendo de las características del terreno, una unidad puede proteger a una superficie entre 5 y 12 ha. El requerimiento de potencia de la unidad es entre 0,8 a 8,1 kw/ha dependiendo de las características del predio y del cultivo. Al utilizar motores diesel, el consumo de combustible es de 12 L/ha/h.

5.3.3. Uso de helicópteros.

El efecto combinado de mover aire tibio ubicado entre 15 a 20 m de altura y aire caliente de 600°C que sale de la turbina del helicóptero contribuye a un aumento de la temperatura del aire en la zona foliar (Figura 18). Cuando la inversión térmica es débil o no existe por la ocurrencia de heladas por advección, el uso del helicóptero no es de utilidad para el control de heladas.

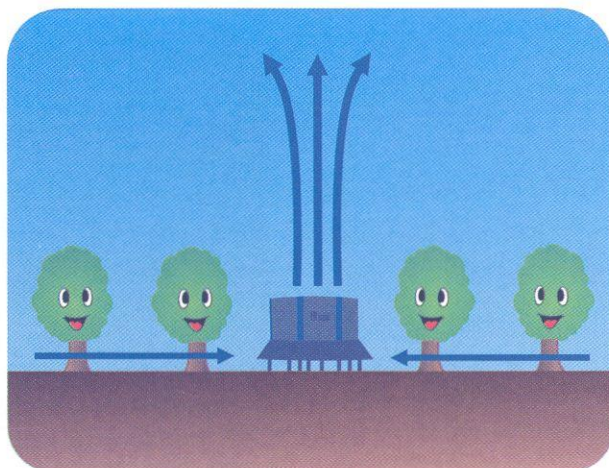
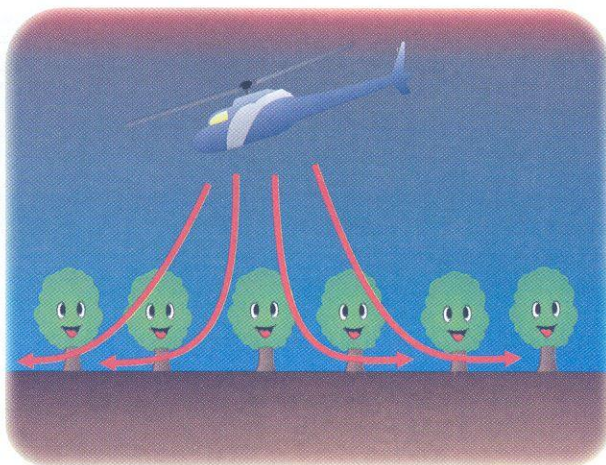


Figura 17. Uso de ventiladores de eje vertical, sistema SIS.

Figura 18. Uso de helicóptero en el control de helada.



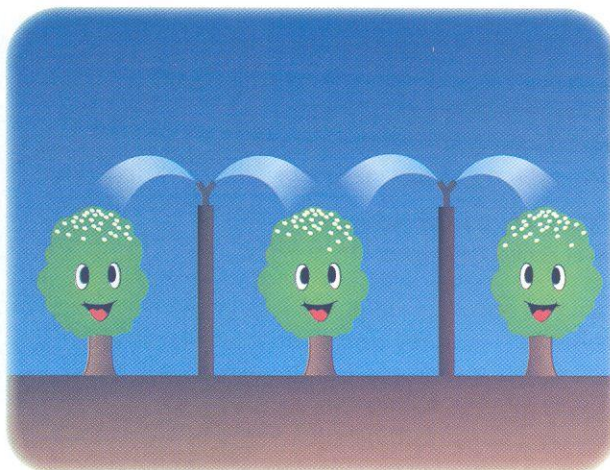
Debido a la escasez de helicópteros para realizar control de heladas y a los elevados costos operacionales, el control de heladas por este método solo se justifica en cultivos de alta rentabilidad. El valor del servicio es superior a \$500.000/ha/temporada, considerando una superficie mínima de 40 ha. En los parronales del valle de Copiapó, Región de Atacama, es frecuente observar helicópteros en el control de heladas de primavera.

Respecto a la superficie que puede cubrir un helicóptero, el rendimiento está en función de la velocidad del vehículo aéreo, de la separación entre pasadas y de la frecuencia que debe pasar sobre el mismo punto para evitar que la temperatura baje a niveles que pueda provocar daños al cultivo. Un valor de referencia es entre 20 a 40 ha, asumiendo que la nave debe pasar por el mismo punto cada 15 a 20 minutos. La altura de vuelo es menor a 15 m, por lo cual, se requiere adoptar medidas de seguridad extremas para el piloto y el personal de apoyo en tierra.

5.4. Uso de aspersores

El uso de aspersores tanto para el mojamiento bajo, como sobre el follaje, ha sido utilizado por muchos años para el control de heladas. Tiene la ventaja que el consumo de energía es bastante más bajo que utilizar calefactores y grandes ventiladores. La desventaja del sistema es que requiere de un sistema de riego especialmente diseñado para el control de heladas y puede significar un alto costo de inversión. Adicionalmente se requiere disponer de agua suficiente para el riego simultáneo de toda la superficie a proteger, (Figura 19).

Figura 19. Uso de aspersores para el control de heladas.



En cuanto a requerimiento de mano de obra, ésta es necesaria para asegurar el buen funcionamiento del equipo durante la helada, y que los aspersores funcionan en forma normal, ya que la acumulación de hielo en ellos, puede impedir la rotación.

En el campo, la temperatura del agua almacenada en acumuladores es del orden de 10 °C. La idea central es que el agua depositada en las hojas se congele, en este escenario, el descenso de temperatura del agua desde 10°C a 0°C libera 41,8 J/g mas 334 J/g por congelamiento. Este calor puede experimentar tres vías: pérdida por radiación, perdida por evaporación del agua y ser transferido a las hojas. En condiciones de bajo viento y tasas de aplicación de agua al mismo ritmo que ésta se congela sobre las hojas, la mayor parte de la energía se transfiere en forma de calor latente que ayuda a evitar el daño por bajas temperaturas al interior de las células.

Los aspersores requeridos para el control de heladas son de baja intensidad de precipitación, alrededor de 2,5 mm/h y una velocidad de giro de una vuelta cada 30 s. En sistemas de riego por aspersión tradicionales, la intensidad de precipitación es de 10 mm/h. En heladas con viento, la intensidad de precipitación debe aumentar en función de la velocidad del viento para compensar la perdida de calor que se produce por evaporación.



Capítulo 6

PRÁCTICAS AGRONÓMICAS POSTERIORES AL DAÑO POR HELADAS

6. PRÁCTICAS AGRONÓMICAS POSTERIORES AL DAÑO POR HELADAS.

Ciertas prácticas culturales pueden reducir el daño por heladas en especies frutales. El daño puede ser prevenido al contar con árboles sanos y manteniendo el suelo libre de vegetación durante el período invernal. Los huertos que se riegan en los días previos a la helada sufren menos daño y se recuperan más rápidamente. El suelo húmedo intercepta y almacena más calor por radiación en la noche, mientras que los árboles sometidos a estrés hídrico son fisiológicamente menos capaces de soportar bajas temperaturas. Además, las deficiencias o toxicidades de nutrientes y las prácticas que reducen la densidad del follaje también agravan el problema.

Ciertas prácticas culturales pueden reducir el daño por heladas en especies frutales, entre ellas destacan:

- a. **Poda.** Luego de una helada severa, se recomienda un período de espera de varias semanas antes de podar la madera muerta. Posteriormente, evaluar el alcance de los daños. Una vez que se ha superado el período de riesgo de heladas, se realiza una poda suave cuyo propósito es remover los brotes y ramas afectadas. El tronco y brotes expuestos de los árboles desfoliados deben ser pintados con pasta fungicida.
- b. **Protección contra la radiación.** Luego de la poda y considerando que uno de los efectos de la helada es la caída severa de hojas, el tronco y brotes quedan expuestos a la quemadura por el sol. Para protegerlos se sugiere pintarlos con una lechada de cal o con pintura látex de color blanco (se puede diluir con agua en partes iguales).
- c. **Fertilización.** El programa de fertilización debe partir una vez que los brotes inicien un crecimiento activo en primavera (brotes de 5 a 10 cm de longitud). Nitrógeno será el nutriente principal. La cantidad a aplicar dependerá de la intensidad del daño de la helada. A mayor daño se aplicará la menor cantidad de nitrógeno. Esto porque las plantas tendrán menos brotes y el requerimiento de alimentos será menor. Además, las aplicaciones deben fraccionarse en el mayor número de veces posible. Los abonos foliares pueden ser una buena ayuda al asperjarlos cuando se haya iniciado la brotación.
- d. **Riegos.** No es conveniente abusar de ellos (la escasa cantidad de hojas no permite la evaporación normal). Iniciarlos junto con el programa de fertilización (siempre que no haya llovido). En general, el uso de agua de riego y fertilizantes debe ser racional para evitar el crecimiento excesivo de los brotes que permanecieron en las plantas afectadas por heladas.

- e. **Plagas.** Se debe cuidar la sanidad de los brotes que crecerán luego de la helada. Interesa que los brotes se desarrollen sin limitaciones particularmente libre de ataque de insectos o enfermedades.

Se concluye que luego de una helada se debe actuar con mucha prudencia. Es juicioso dejar los árboles tranquilos y esperar que pase el período de heladas. Las labores culturales se iniciarán una vez conocida la respuesta de los árboles al efecto de las bajas temperaturas.



Capítulo 6

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS Y ANEXOS

7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Agustí, M. 2000.** Citricultura. 319 p. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España.
- Amoros, M. 1995.** Producción de agrios. 286 p. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Augsburger, H.K.M. 2000.** Frost control in temperate climates through dissipation of cold air. In Aspects of Applied Biology 61. IAMFE/AAB UK 2000: The 11th International Conference and Exhibition on Mechanization of Field Experiments.
- Barranco, D., R. Fernández-Escobar y L. Rallo. 1998.** El cultivo del olivo. 651 p. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Bartfield, B.J., K.B. Perry., J.D. Martsof y C.T. Morrow. 1990.** Modifying the aerial environment. In Management of Farm Irrigation Systems. Ed. E.G. Hoffman, T.A. Howell y K.H. Solomon. ASAE Monograph.
- Calabrese, F. 1992.** El aguacate. 249 p. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Campbell, G.S. and J. Malcolm. 1986.** An Introduction to Environmental Biophysics. 286 p. 2nd Edition. Heidelberg Science Library. Springer-Verlag, USA.
- Coombe, B. and P. Dry. 2003.** Viticulture. Volume 1. Resources. 211p. Winetitles. Adelaide, Australia.
- Giaconi, V. y Escaff, M. 1998.** Cultivo de Hortalizas. 337 p. 15^a ed. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Guarga, R., G. Scaglioe, E. Supino y P. Mastrángelo. 2000.** Evaluation of the SIS, a new Frost protection Method Applied in a Citrus Orchard. International Citrus Congress. Proceedings of the International Society of Citriculture. Orlando, Florida, USA. p. 583-588.
- Krarp, C., KONAR, P. 1997.** Hortalizas de estación cálida. Biología y diversidad cultural. P. Universidad Católica de Chile, Vicerrectoría Académica, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile, 111p. Disponible en http://www.puc.cl/sw_educ/hortalizas/html. Leído el 12 de agosto de 2007.

- Krarup, C., Moreira, I. 1998.** Hortalizas de estación fría. Biología y diversidad cultural. Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicerrectoría Académica, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile. 163p. Disponible en http://www.puc.cl/sw_educ/hort0498. Leído el 12 de agosto de 2007.
- Loussert, R. 1992.** Los agrios. 319 p. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Maroto, J. 1995.** Horticultura Herbácea Especial. 611 p. 4ª ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Merva, G.E. 1995.** Physical Principles of the Plant System. 272 p. ASAE Textbook N° 9. St Joseph, Michigan. USA.
- Odepa, 2007.** Cifras de la agricultura. Disponible en : www.odepa.gob.cl. Leído el 13 de agosto de 2007.
- Sazo, P. 1991.** Caracterización y primera determinación del ciclo fenológico del chirimoyo (*Annona cherimolla* Mill.) cv. Bronceada para la zona de La Palma, Quillota, V Región. Tesis Ingeniero. Agrónomo. 110 p. Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso.
- Serrano, Z. 1979.** Cultivo de hortalizas en invernaderos. 360 p. Editorial Aedos, Barcelona, España.
- Snyder, R., y J.P. de Melo Abreu. 2005.** Frost protection: fundamentals, practice and economics. 72 p. Series N° 10. Vol 2. FAO Environmental and Natural Resources. Roma, Italia.
- Takakura, T. 1993.** Climate under cover. 155 p. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands.
- Walheim, L. and R. Steblins. 1981.** Western fruit berries and nuts. 192 p. HPBooks. Los Angeles, California, USA.
- Westwood, M. 1993.** Temperate-zone pomology. Physiology and culture. 523 p. Timber Press. Portland, Oregon..
- Winkler, A., J. Cook, W. Kliewer and L.I. Lider. 1974.** General Viticulture. 710 p. University of California Press. Davis. California. USA.

ANEXO I.

Valores de Punto de Rocío (Tpr) a diferentes valores de temperatura ambiente (°C) y humedad relativa.

Temp. Aire, °C	Humedad Relativa, %				
	95	90	85	80	75
2,0	1,3	0,5	-0,2	-1,1	-2,0
1,8	1,1	0,3	-0,4	-1,3	-2,1
1,6	0,9	0,1	-0,6	-1,5	-2,3
1,4	0,7	-0,1	-0,8	-1,7	-2,5
1,2	0,5	-0,3	-1,0	-1,9	-2,7
1,0	0,3	-0,5	-1,2	-2,1	-2,9
0,8	0,1	-0,6	-1,4	-2,2	-3,1
0,6	-0,1	-0,8	-1,6	-2,4	-3,3
0,4	-0,3	-1,0	-1,8	-2,6	-3,5
0,2	-0,5	-1,2	-2,0	-2,8	-3,7
0,0	-0,7	-1,4	-2,2	-3,0	-3,9
-0,2	-0,9	-1,6	-2,4	-3,2	-4,1
-0,4	-1,1	-1,8	-2,6	-3,4	-4,3
-0,6	-1,3	-2,0	-2,8	-3,6	-4,5
-0,8	-1,5	-2,2	-3,0	-3,8	-4,7
-1,0	-1,7	-2,4	-3,2	-4,0	-4,9
-1,2	-1,9	-2,6	-3,4	-4,2	-5,0
-1,4	-2,1	-2,8	-3,6	-4,4	-5,2
-1,6	-2,3	-3,0	-3,8	-4,6	-5,4
-1,8	-2,5	-3,2	-4,0	-4,8	-5,6
-2,0	-2,7	-3,4	-4,2	-5,0	-5,8
-2,2	-2,9	-3,6	-4,4	-5,2	-6,0
-2,4	-3,1	-3,8	-4,6	-5,4	-6,2
-2,6	-3,3	-4,0	-4,8	-5,6	-6,4
-2,8	-3,5	-4,2	-5,0	-5,8	-6,6
-3,0	-3,7	-4,4	-5,2	-6,0	-6,8
-3,2	-3,9	-4,6	-5,4	-6,1	-7,0
-3,4	-4,1	-4,8	-5,5	-6,3	-7,2
-3,6	-4,3	-5,0	-5,7	-6,5	-7,4
-3,8	-4,5	-5,2	-5,9	-6,7	-7,6
-4,0	-4,7	-5,4	-6,1	-6,9	-7,8
-4,2	-4,9	-5,6	-6,3	-7,1	-8,0
-4,4	-5,1	-5,8	-6,5	-7,3	-8,1
-4,6	-5,3	-6,0	-6,7	-7,5	-8,3
-4,8	-5,5	-6,2	-6,9	-7,7	-8,5
-5,0	-5,7	-6,4	-7,1	-7,9	-8,7

ANEXO II.

Tabla Psicrométrica para el cálculo de la Humedad Relativa.
(Parcela Experimental Pan de Azúcar, Coquimbo, IV Región
Elevación: 128 m.s.n.m.

Elev: 128 m.s.n.m.	Temperatura Bulbo seco, °C												
	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Temperatura Bulbo Húmedo, °C	-4	100,0	61,3	31,5	8,7								
	-2		100,0	64,9	37,5	0,2							
	0			100,0	67,9	42,7	23,1	7,8					
	2				100,0	70,5	47,2	28,9	14,4	3,2			
	4					100,0	72,8	51,1	33,9	20,2	9,5	1,0	
	6						100,0	74,8	54,5	38,3	25,3	14,9	6,7
	8							100,0	76,5	57,5	42,1	29,7	19,7
	10								100,0	78,0	60,1	45,5	33,7
	12									100,0	79,4	62,4	48,5
	14										100,0	80,5	64,5
	16											100,0	81,6
	18												100,0
	20												100,0

ANEXO III.

Ecuación para determinar Punto de Rocío.

$$T_{pr} = \frac{237,3 \times \left(\frac{\ln(RH / 100)}{17,27} \right) + \frac{T}{237,3 + T}}{1 - \left(\frac{\ln(RH / 100)}{17,27} \right) + \frac{T}{237,3 + T}}$$

Ecuación 1

Donde: T_{pr} = Temperatura de punto de rocío, °C.

RH = Humedad Relativa, %.

T = Temperatura del aire, °C.