

PRINCIPIOS BASICOS DE OCURRENCIA DE LAS HELADAS Y SU CONTROL

Rodrigo Artunduaga Salas. I.A., M.S.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION	1
1. PRINCIPIOS BASICOS DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO Y HELADAS	1
1.1. DEFINICION DE HELADA	1
1.2. CLASES DE HELADAS	1
1.2.1. Por Advección	1
1.2.2. Por Evaporación	1
1.2.3. Por Radiación	2
1.2.3.1. Helada Blanca	4
1.2.3.2. Helada Negra	4
2. PROCESO FISICO	4
2.1. PROCESO DE ENFRIAMIENTO	4
2.1.1. Transmisión del Calor por Conducción	6
2.1.2. Transmisión del Calor por Convección	6
2.1.3. Transmisión del Calor por Advección	6
2.1.4. Transmisión del Calor por Radiación	7
2.2. DISTRIBUCION DE LA RADIACION	7
2.3. INTERCAMBIO BASICO DE ENERGIA	7
2.4. LAS NUBES Y SU EFECTO FILTRANTE	7
2.5. FORMACION DE UNA INVERSION TERMICA	8
3. FACTORES QUE FAVORECEN LAS BAJAS TEMPERATURAS	13
3.1. EPOCA DEL AÑO	13
3.2. ESCASA NUBOSIDAD	13
3.3. AUSENCIA DE VIENTO	14
3.4. SUELO SECO	14
3.5. BAJA TEMPERATURA VESPERTINA	14
4. MECANISMOS DE LA HELADA EN LAS PLANTAS	14
4.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DAÑO POR HELADAS EN LAS PLANTAS	16
4.1.1. Temperatura y Tiempo de Exposición	16
4.1.2. Velocidad de Congelación y Descongelación de los Tejidos	16
4.1.3. Agua de Reserva de la Planta	16
4.1.4. Nutrición Mineral	16
4.1.5. Aclimatación	16
4.1.6. Edad de la Planta	16

4.2. MECANISMOS DE RESISTENCIA A HELADAS	18
4.2.1. Potencial Osmótico	18
4.2.2. Composición Química	18
4.2.3. Influencia del Ambiente	19
4.3. PREVISION DE HELADAS	19
4.3.1. Isotermas	19
4.3.2. Correlación de Funciones Meteorológicas	19
5. METODOS DE PROTECCION CONTRA LAS HELADAS	22
5.1. METODOS INDIRECTOS	23
5.1.1. Elección de la Zona de Cultivo	23
5.1.2. Elección de Epoca de Cultivo	23
5.1.3. Prácticas Agrícolas	23
5.1.3.1. Cuidados Requeridos por el Terreno	23
5.1.3.2. Cuidados que Requieren las Plantas	23
5.1.3.3. Empleo de Reguladores del Ciclo Vegetativo	23
5.1.3.4. Reglas Generales de los Métodos Indirectos	24
5.2. METÓDOS DIRECTOS	25
5.2.1. Cubiertas	25
5.2.2. Nieblas Artificiales	25
5.2.3. Ventiladores	26
5.2.4. Aspersión	26
5.2.4.1. Abastecimiento de Agua	26
5.2.4.2. Instalaciones	27
5.2.5. Caldeadores	28
5.2.5.1. Tipo de Caldeadores	29
5.2.5.2. Número de Caldeadores por Unidad de Superficie	29
5.2.6. Empleo de Colectores Solares	31
5.2.7. Recolección Adelantada de la Cosecha	31
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
6.1. CONCLUSIONES	31
6.2. RECOMENDACIONES	31
7. RESUMEN	32
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	33

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Municipios del departamento de Cundinamarca donde ocurren heladas con mayor frecuencia	VI
2. Municipios del departamento de Boyacá donde ocurren heladas con mayor frecuencia	VII
3. Heladas provocadas por corrientes de aire frío (advección)	2
4. Heladas causadas por pérdida de calor del suelo (radiación)	3
5. Mecanismo meteorológico del cambio de energía entre el suelo y la atmósfera	3
6. Helada blanca. Nótese el color blanco causado por los cristales de hielo depositados sobre la planta	5
7. Helada negra	5
8. Diagrama representativo de dos métodos de transferencia de calor (conducción y convección)	6
9. Efecto de filtro ejercido por las nubes para evitar pérdida excesiva de calor	9
10. Formación de una inversión térmica	9
11. Temperaturas mínimas en diciembre de 1976	10
12. Temperaturas mínimas en enero de 1977	11
13. Temperaturas mínimas observadas en la Estación Meteorológica Tibaitatá durante 1978	12
14. Temperaturas detectadas en el termómetro seco y en el termómetro húmedo y posibilidad de ocurrencia de helada	22
15. El aire frío y su tendencia de flujo en terrenos ondulados	24
16. Método mediante el cual se mezclan las capas frías de aire situadas a nivel del suelo con las capas superiores, relativamente más calientes	27

17.	Efecto de chimenea o pérdida de calor cuando se utilizan quemadores que producen una llama muy grande	28
18.	Quemador con llama pequeña y su óptimo efecto en el control de la helada	30
19.	Efecto individual de un quemador bien diseñado que difunde calor y no quema a las plantas cercanas	30

LISTA DE TABLAS

1.	Datos meteorológicos mensuales medios entre 1955 y 1978. Centro Tibaitatá, Mosquera	13
2.	Resistencia de algunos cultivos a la helada en diferentes fases de desarrollo	17

INTRODUCCION

El problema de las heladas, con su efecto negativo sobre las plantas cultivadas por el hombre, es tan antiguo como la agricultura misma. Plinio el viejo, en el año 77 d.c., aconsejaba a los viticultores encender hogueras como una defensa contra las heladas, pues consideraba que el humo atenúa su efecto.

En los altiplanos de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, este fenómeno generalmente se presenta desde la segunda quincena de diciembre y se extiende, eventualmente, hasta la primera quincena de marzo, coincidiendo con el período seco en estas regiones; también se puede presentar, aunque con menor frecuencia, durante la segunda época seca del año (julio - agosto). Sin embargo, en algunos lugares del sur del departamento de Nariño puede ocurrir en cualquier época del año.

La helada se define científicamente como la ocurrencia a 2 metros sobre el suelo, o sea al nivel reglamentario al cual se instalan las casetas de medición meteorológica, de una temperatura igual o menor a 0°C.

Artunduaga (4) reporta una disminución en la producción por efecto de las heladas en los cultivos de papa, arveja, frijol, cebada, trigo y maíz, en los altiplanos de Cundinamarca y Boyacá, cercana a las 70.154 toneladas (499 millones de pesos); en cuanto a la disminución en la producción de leche por efecto de las heladas en los pastos, los daños se acercan a \$500 millones de pesos (datos tomados en 1.255 fincas localizadas en 324 veredas en ambos departamentos).

La evaluación del daño causado por las heladas puede indicar la repercusión económica de este fenómeno meteorológico en la producción agropecuaria en los departamentos citados (Figuras 1 y 2).

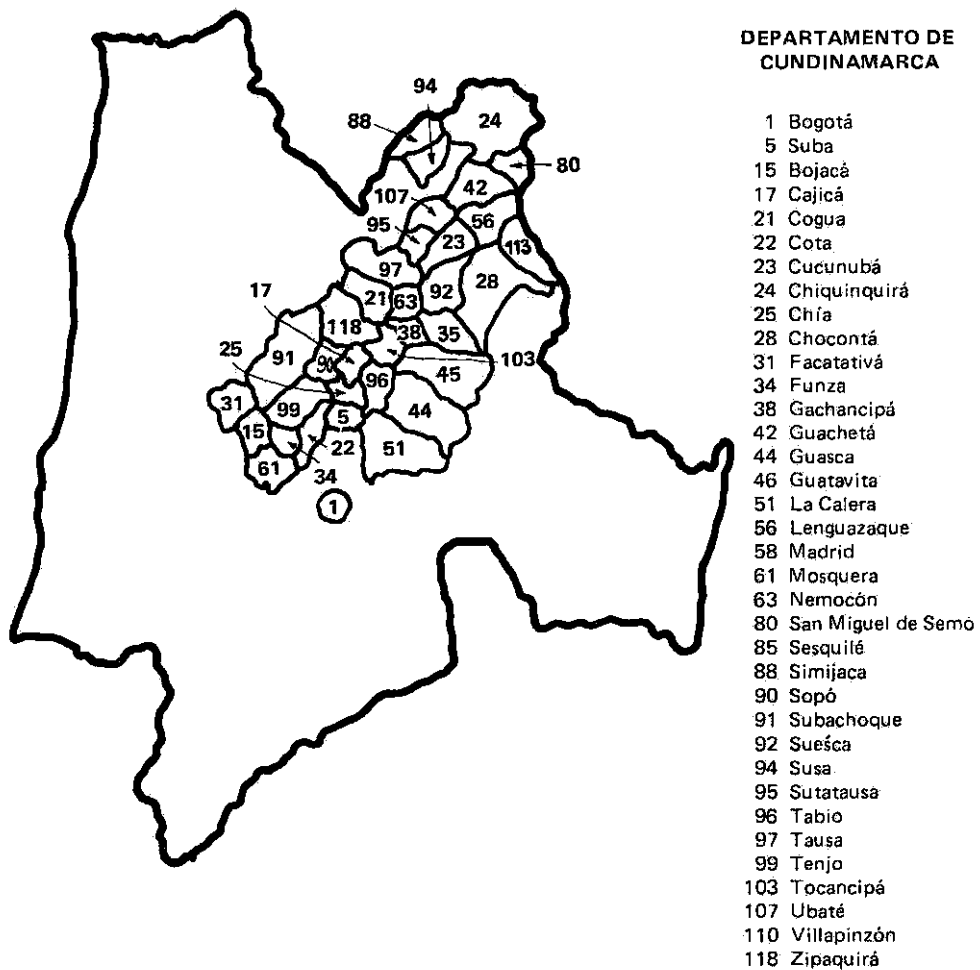


FIGURA 1. Municipios del departamento de Cundinamarca donde ocurren heladas con mayor frecuencia.

1. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO Y HELADAS

1.1. DEFINICIÓN DE HELADA.

Muchas veces los términos helada y escarcha son considerados sinónimos; pero mientras la escarcha se define como un depósito de hielo de apariencia cristalina que tiene generalmente forma de escamas, agujas, plumas o abanicos y cuyo proceso de formación es similar al del rocío, con la diferencia de que la temperatura del objeto sobre el que ésta se deposita es inferior al punto de congelación, el concepto de helada es más amplio y se refiere a las condiciones existentes cuando la temperatura del objeto libremente expuesto desciende al punto de congelación o por debajo de él, sin tener en cuenta si se forman o no cristales de hielo.

Algunos autores diferencian entre la helada como fenómeno físico tangible (escarcha o terreno cubierto de hielo) y el aire helado producto de las temperaturas inferiores al punto de congelación, reportadas en la caseta meteorológica. En este trabajo se habla de helada para significar tanto la escarcha, como la temperatura del aire inferior al punto de congelación.

Como se indicó en la introducción, la helada puede ser definida como la ocurrencia de una temperatura igual o menor a 0°C , a 2 metros de altura sobre el suelo, nivel reglamentario al cual se instalan las casetas de medición meteorológica.

1.2. CLASES DE HELADAS.

1.2.1. Por Advección.

Este tipo de helada se presenta cuando una región es invadida por una masa de aire cuya temperatura es inferior a 0°C . Los vegetales se enfrían por contacto y pueden sufrir daños de mayor o menor cuantía según la naturaleza y estado fisiológico en que se encuentren. Las masas de aire frío pueden estar acompañadas de viento y precipitaciones, que generalmente son de nieve. Este tipo de heladas puede presentarse en las proximidades de regiones polares y subpolares y en la trayectoria de corrientes frías; el último caso es frecuente en el Brasil (Figura 3).

1.2.2. Por Evaporación.

Si la humedad relativa del aire desciende después de una precipitación, la película de agua que reciben los vegetales se evapora rápidamente; el agua toma de las plantas el calor de vaporización que necesita para pasar del estado líquido al gaseoso, ocasionando un descenso notable en la temperatura de éstas (un centímetro cúbico de agua necesita 600 calorías para evaporarse). Por lo tanto, la intensidad de este tipo de heladas depende de la cantidad de agua que se evapore, de la temperatura del aire y de la humedad relativa. Al producirse una corriente de aire se aumenta la evaporación y simultáneamente se aumenta el número de calorías sustraídas a los vegetales.

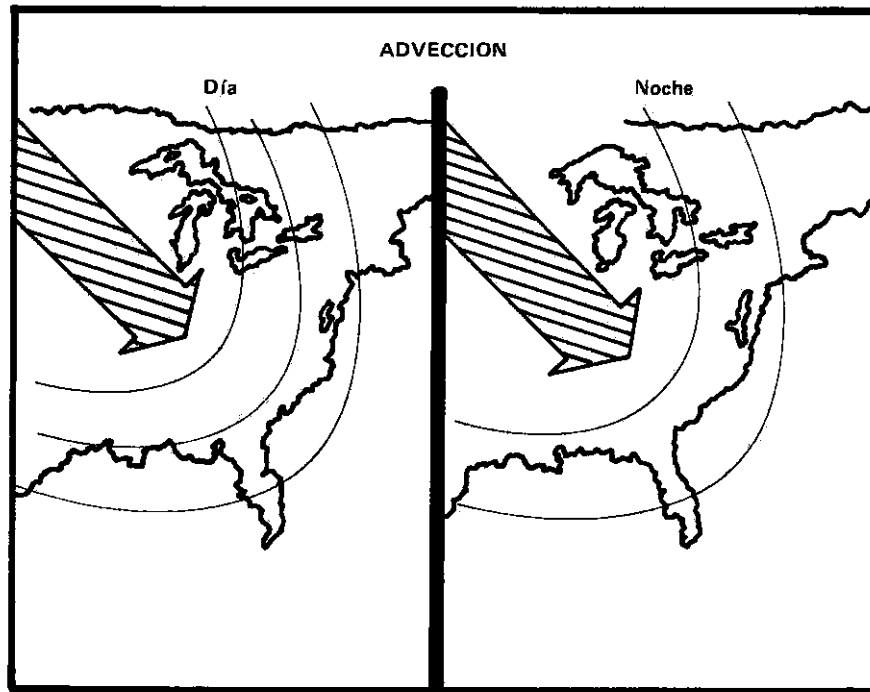


FIGURA 3. Heladas provocadas por corrientes de aire frío (advección).

1.2.3. Por Radiación.

Este es el tipo de helada que ocurre generalmente en el país; sucede cuando una masa de aire seco y frío se estanca sobre una región durante una o más noches; de día puede haber fuerte radiación con temperaturas de 15°C , mientras que por la noche el cielo despejado y el escaso contenido de humedad del aire permiten una rápida pérdida de calor por radiación. La temperatura desciende rápidamente a principios o a mediados de la noche y puede llegar al punto de congelación o menos varias horas antes de la salida del sol (Figura 4).

El descenso de la temperatura durante la noche es el resultado del fenómeno de radiación; la superficie terrestre y la de los vegetales emiten constantemente energía calorífica bajo la forma de radiaciones de onda larga (infrarrojas), recibiendo al mismo tiempo radiaciones tanto atmosféricas como solares, que componen en mayor o menor proporción las pérdidas de calor, tal como lo muestra la Figura 5.

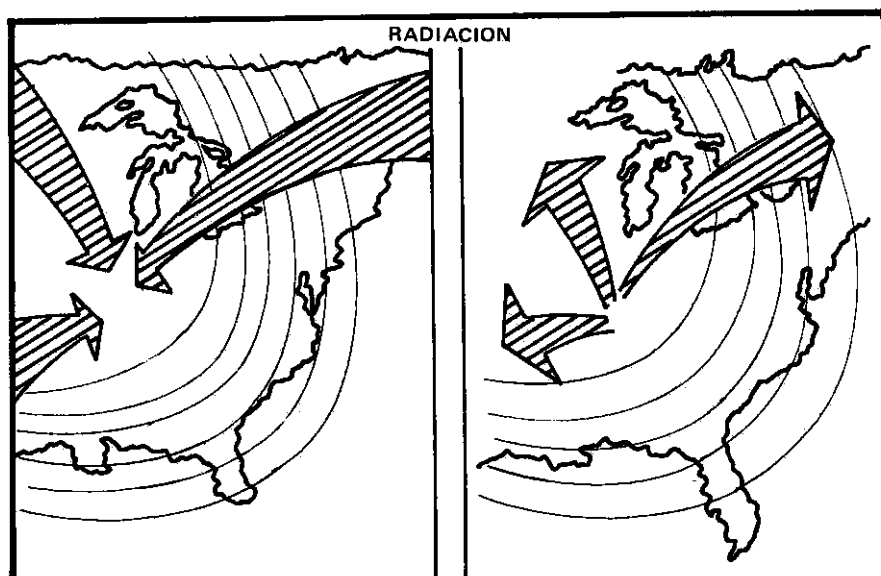


FIGURA 4. Heladas causadas por pérdida de calor del suelo (radiación).

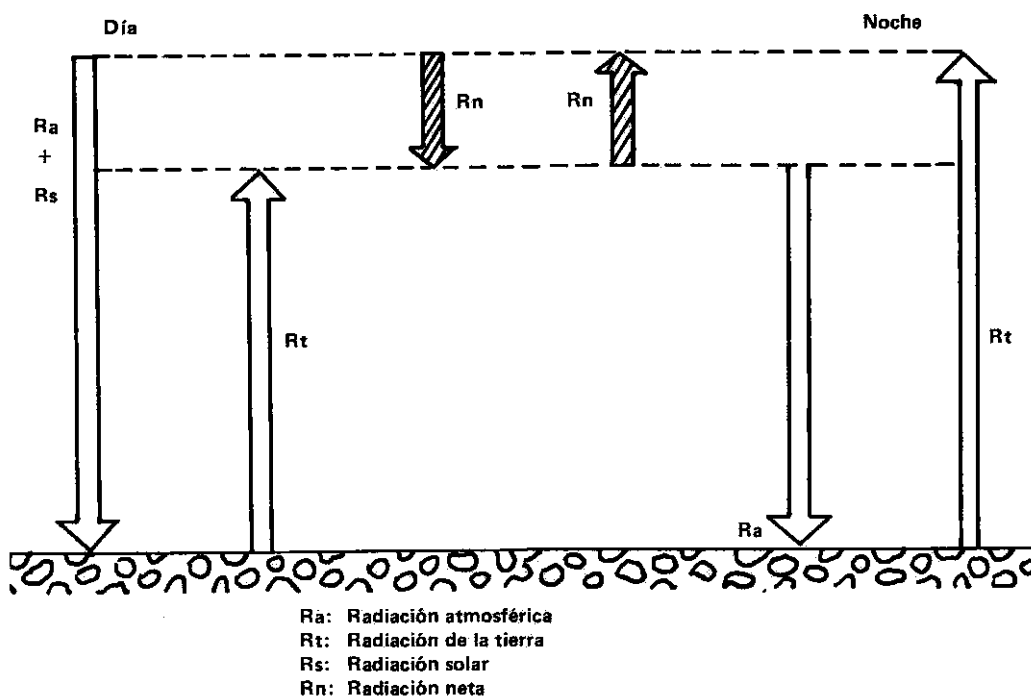


FIGURA 5. Mecanismo meteorológico de cambio de energía entre el suelo y la atmósfera.

La suma de la radiación atmosférica (R_a) más la radiación solar (R_s) es el total de radiación que llega a la tierra; la tierra emite la radiación propia de la temperatura que tenga (R_t); la temperatura sigue en aumento de calentamiento mientras la diferencia $R_a + R_s - R_t$ sea mayor a cero durante el período diurno. La radiación neta (R_n) resulta de restar la energía que se pierde de la que se recibe; así, la R_n varía según el momento del día o de la noche en que se considere y las condiciones atmosféricas existentes en el momento. La R_n se dirige a la tierra durante el día y de noche hacia el espacio, dando lugar al enfriamiento nocturno.

Las noches despejadas con viento en calma y baja humedad atmosférica son favorables para una pérdida de calor en la noche. Por el contrario, si la humedad relativa es alta y el cielo está nublado, una parte significativa de la radiación terrestre es regresada por las nubes y la pérdida de calor es menor, por lo que disminuye el riesgo de heladas.

El calor que se almacena durante el día en el suelo se puede utilizar mejor para compensar la pérdida en la superficie si las capas más superficiales de la tierra reúnen buenas condiciones para su conducción. Un suelo apelmazado y húmedo conduce mejor el calor que uno seco; entonces el flujo de calor se dirige hacia el interior de la superficie por conducción y a la atmósfera por convección. Por la noche la superficie del suelo, dados los fenómenos de radiación, tiene la temperatura más baja, pues los flujos de calor resultantes tienen sentido inverso a los que tienen durante el día.

Dentro del proceso de enfriamiento por radiación se distinguen dos tipos de heladas.

1.2.3.1. Helada blanca. Ocurre cuando el aire está húmedo; usualmente se forman cristales de hielo en forma de escamas, agujas, plumas o abanico sobre la superficie de las plantas u otros objetos afectados. Los cristales se forman a partir de gotas de rocío congeladas. Este tipo de heladas es el más común en nuestro medio (Figura 6).

1.2.3.2. Helada negra. Ocurre cuando el aire es muy seco y el agua alcanza la temperatura de congelamiento antes de que se haya formado el rocío. En este caso no hay formación de cristales de hielo sobre la superficie de los objetos, pero se congela el agua intercelular y la temperatura es menor que cuando hay helada blanca, pues las heladas negras se manifiestan cuando la temperatura es lo suficientemente baja para necrosar y oscurecer los tejidos vegetales; por eso existe el concepto de que las heladas negras son más perjudiciales que las heladas blancas (Figura 7).

2. PROCESO FISICO

2.1. PROCESO DE ENFRIAMIENTO.

El frío, que es una condición relativa, es causado por la falta de recepción de calor o por la reducción o pérdida de calor de un objeto o un sistema. No se añade frío, sino que por el contrario se quita calor. El calor puede ser transmitido a un objeto o a un sistema por los siguientes procesos.



FIGURA 6. Helada blanca. Nótese el color blanco causado por los cristales de hielo depositados sobre la planta.



FIGURA 7. Helada negra.

2.1.1. Transmisión del Calor por Conducción.

La energía se transmite en el interior y a lo largo de un conductor por medio de partículas internas o de actividad molecular, sin que exista ningún movimiento exterior del sistema conductor. Como el aire es un mal conductor se calienta o se enfría en muy poca cantidad por el proceso de conducción.

Un ejemplo de este proceso es el calor que viaja a lo largo de una barra metálica cuando ésta se calienta en un extremo (Figura 8).

2.1.2. Transmisión del Calor por Convección.

En meteorología se limita el empleo de la palabra convección a los casos de movimiento vertical de la energía. La convección ocurre cuando la tierra, que gana energía por radiación solar durante el día, emite radiaciones que calientan el aire que está cerca y éste se eleva. Este proceso se puede observar cuando un recipiente con agua se calienta en un extremo inferior; el calor hace que el agua se vuelva menos densa y trate de elevarse (Figura 8).

2.1.3. Transmisión del Calor por Advección.

Implica un movimiento de la energía en sentido horizontal.

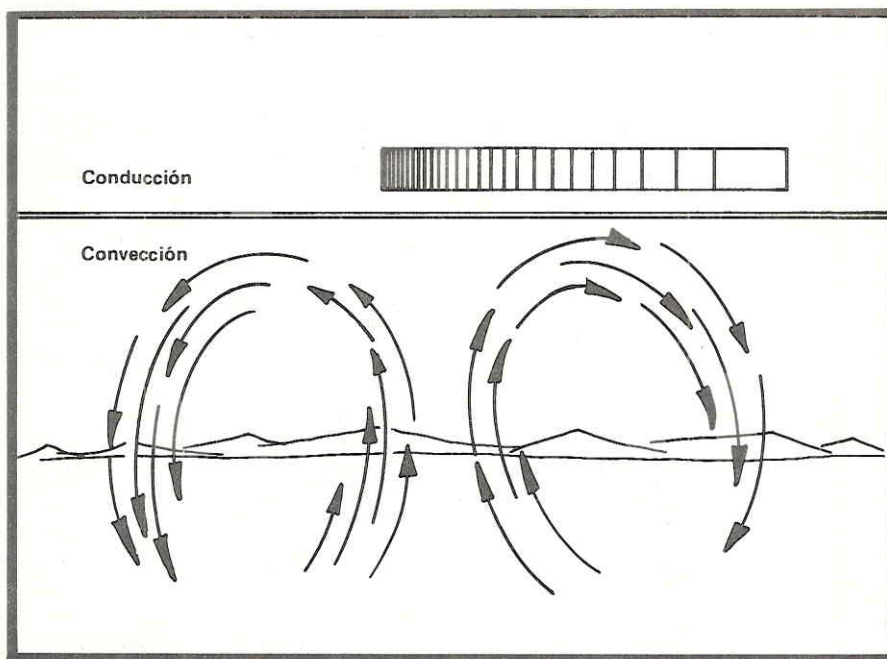


FIGURA 8. Diagrama representativo de dos métodos de transferencia de calor (conducción y convección).

2.1.4. Transmisión del Calor por Radiación.

Es la transmisión de energía a través del espacio libre, sin necesidad de un medio de transporte. El enfriamiento nocturno se debe, un gran número de veces, a la pérdida de calor por radiación.

2.2. DISTRIBUCION DE LA RADIACION.

Un 9% de la radiación solar es devuelta al espacio al llegar al tope de la atmósfera (que tiene cerca de 1000 Km de espesor); un 23% se refleja por las nubes y partículas en suspensión y la atmósfera misma absorbe un 19%. Al llegar a la superficie de la tierra un 2% se refleja y los 47% restantes son absorbidos por la tierra (24% directamente como radiación de onda corta y 23% como radiación difusa de onda larga). Así, del total de la energía que llega al tope de la atmósfera (2 cal/cm^2), un 34% se pierde y la tierra solamente absorbe $1,3 \text{ cal/cm}^2$.

2.3. INTERCAMBIO BASICO DE ENERGIA.

Una parte de la energía que proviene del sol llega a la superficie de la tierra y penetra como energía calorífica en el suelo; otra parte de esta energía vuelve al espacio por el proceso de radiación. La energía que permanece determina un aumento de la temperatura del suelo; a medida que la temperatura del suelo aumenta y se torna más elevada que la del aire que está en contacto con el suelo, la energía calorífica fluye por conducción, del suelo más caliente al aire relativamente frío. El aire que está en contacto con el suelo se torna más caliente, sube y es substituido por aire más frío, el cual a su vez sufre un calentamiento y asciende. De esto resulta una circulación convectiva; así, durante el día el flujo de energía se hace del sol directamente al suelo y de éste por conducción hacia el aire, donde es mezclado por convección.

Como durante la noche cesa la incidencia de la radiación solar el flujo de energía se hace en sentido inverso y la radiación hacia el espacio, proveniente de la tierra, continúa. A medida que la energía calorífica del suelo se pierde en el espacio, la superficie de la tierra se enfría y se vuelve más fría que el aire que está en contacto con ella. Esta situación provoca la formación de un flujo de energía calorífica que parte del aire más caliente y se transfiere por conducción hacia el suelo relativamente más frío, pero la radiación hace que éste se pierda enseguida hacia el espacio.

Según Lorente (25) el grado de calentamiento del suelo depende de la forma como los rayos solares inciden sobre la superficie de la tierra. Cuanto más verticalmente los reciba, mayor será la intensidad por cm^2 , e irá disminuyendo, proporcionalmente, a medida que se vayan haciendo más oblicuos. Por tal razón la radiación de la superficie es mayor en los lugares donde ha recibido más calor.

2.4. LAS NUBES Y SU EFECTO FILTRANTE.

Parte de la energía calorífica proveniente del sol queda retenida en la atmósfera que permite una penetración de la energía calorífica y retarda la pérdida de calor. Algunos

componentes de la atmósfera, principalmente el dióxido de carbono y el vapor de agua, son altamente selectivos con relación al paso de radiaciones de diferente longitud de onda. Una radiación constituida por longitudes de onda pequeñas fácilmente atraviesa estos componentes, pero cuando esa energía es absorbida por la superficie de la tierra y es irradiada hacia el espacio en la forma de ondas largas, el dióxido de carbono y el vapor de agua existentes en la atmósfera bloquean la mayor parte de la radiación, absorbiéndola y reflejándola de nuevo hacia la tierra. Como el dióxido de carbono se mantiene constante en la atmósfera, la pérdida de calor depende de la cantidad de vapor de agua existente en la atmósfera (humedad); cuanto menor sea la humedad mayor será la pérdida de energía (Figura 9).

2.5. FORMACION DE UNA INVERSION TERMICA.

La situación normal en la atmósfera (específicamente en la troposfera baja que tiene unos 10 Km de espesor) es que la temperatura disminuya con la altura. La disminución media (gradiente normal) es de unos 6°C cada 1000 m. Cuando el descenso de temperatura excede de esta cantidad, por ejemplo, cuando el aire se calienta desde abajo, la capa de aire se vuelve inestable y el aire caliente tiende a subir. Ocurre lo mismo durante las noches frías con radiación. El aire cerca del suelo se enfría por contacto con las superficies radiantes (materiales con temperatura mayor de 0°K) y se va formando gradualmente una capa de aire frío. El aire de abajo está más frío que el de arriba, lo que constituye una inversión de la situación normal y se dice que existe una "inversión térmica" (Figura 10).

Esta situación es muy estable cuando no hay mezcla de aire por turbulencias. La capa de aire frío tiende a mantenerse quieta o a desplazarse suavemente a lugares más bajos.

En la noche, cuando cesa la radiación incidente, el suelo pierde calor por radiación y se torna más frío que el aire que está en contacto con él. El flujo de calor se dirige desde el aire más caliente hacia el suelo, que irradia el calor para el espacio. El suelo actúa como una esponja y se impregna con el calor extraído del aire que se encuentra en contacto con él; pero como el aire es mal conductor, el calor extraído por conducción queda limitado a los primeros treinta metros de atmósfera, aun cuando el aire más frío se encuentre en contacto con el suelo; por esto las temperaturas presentan un aumento a partir del nivel del suelo y hasta los 60 ó 90 m de altura (Figuras 11, 12 y 13).

En un estudio efectuado por la División de Ingeniería Agrícola del ICA, en el cual se anotaron las temperaturas media, máxima y mínima absoluta mensual durante los años 1955 y 1978 se encuentra que existe una tendencia a temperaturas más bajas en el mes de enero (Tabla 1).

LAS NUBES Y SU EFECTO FILTRANTE

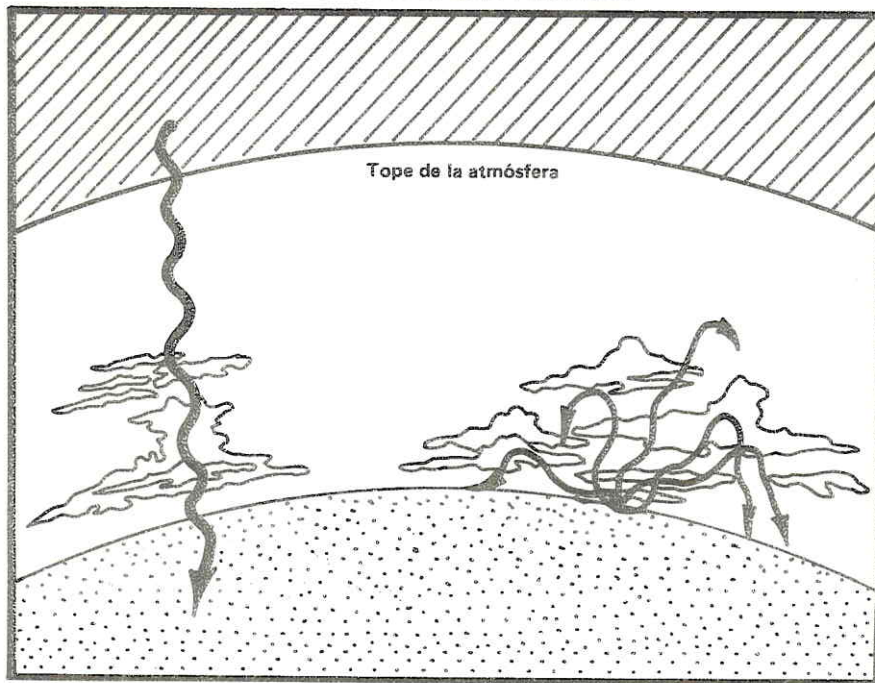


FIGURA 9. Efecto de filtro ejercido por las nubes para evitar pérdida excesiva de calor.

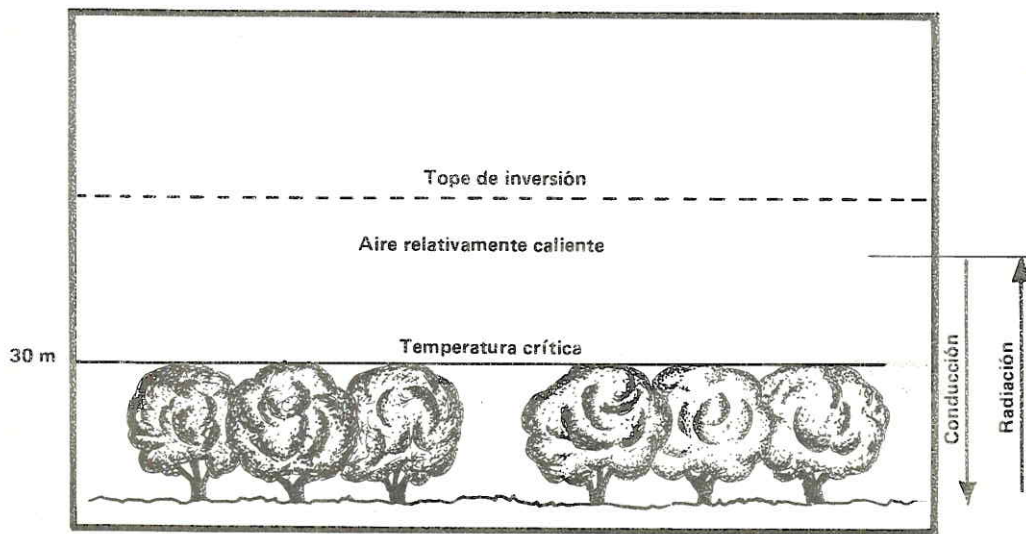


FIGURA 10. Formación de una inversión térmica.

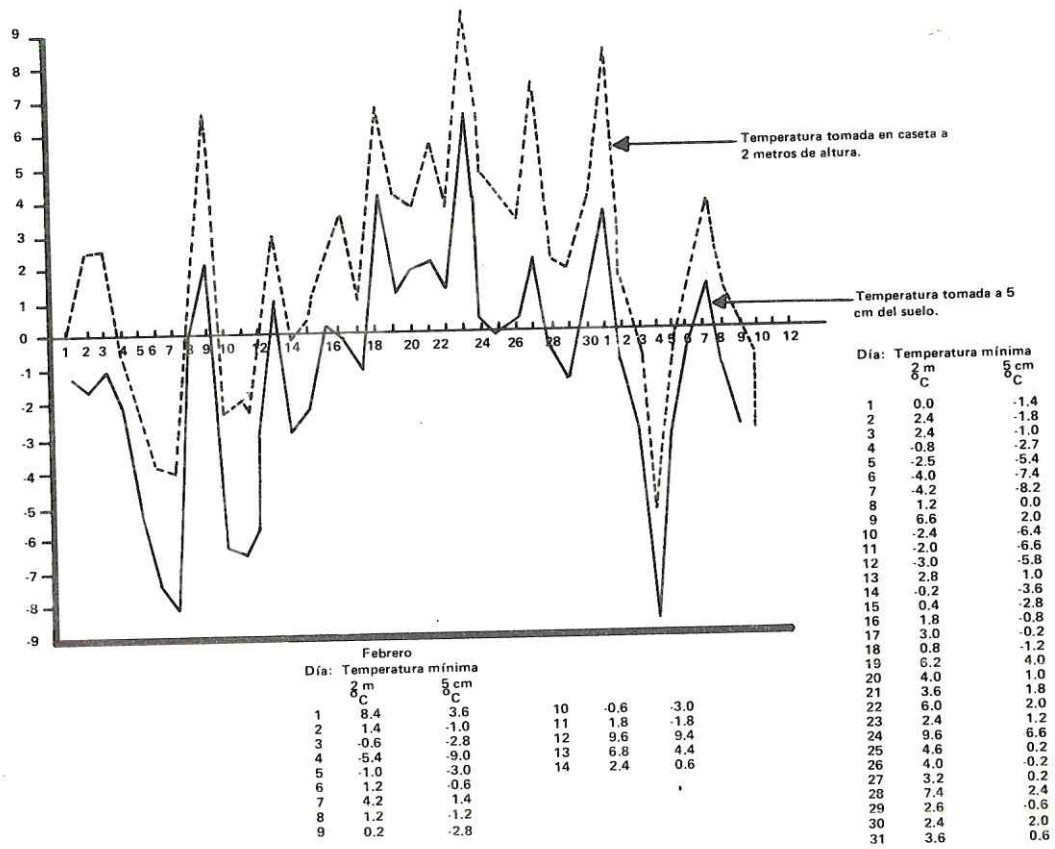
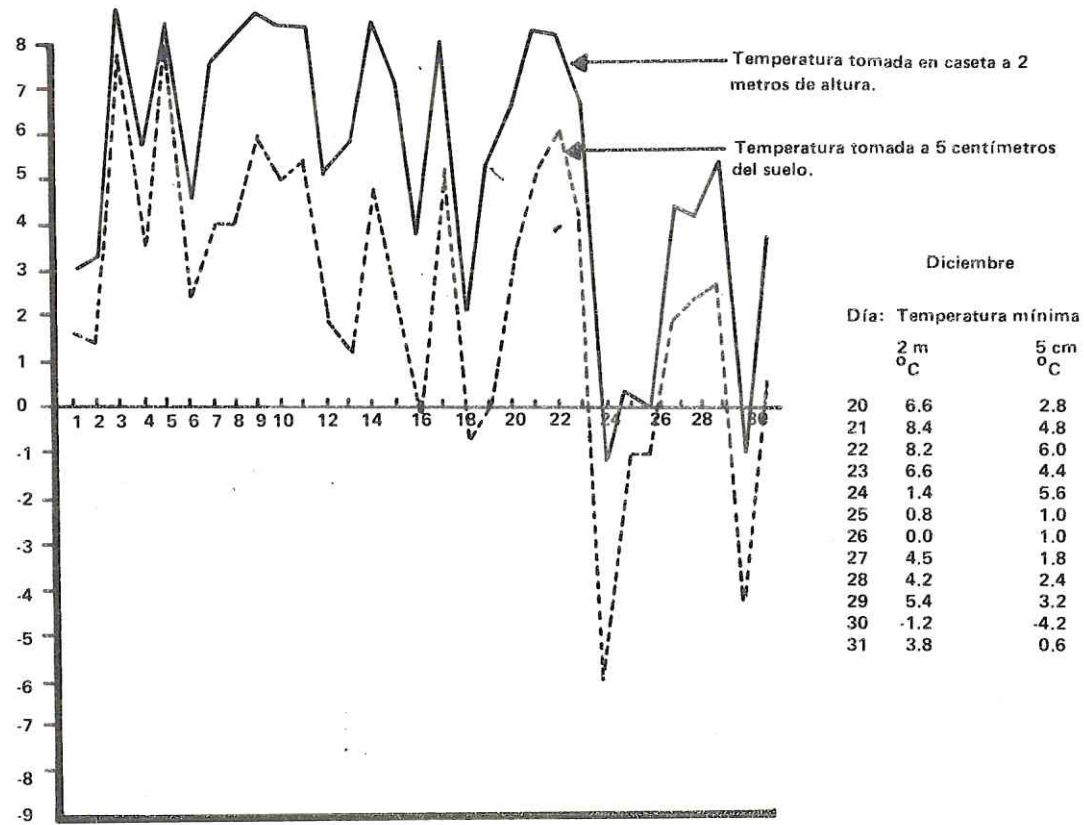


FIGURA 11. Temperaturas mínimas en diciembre de 1.976.



11 FIGURA 12. Temperaturas mínimas en enero de 1.977.

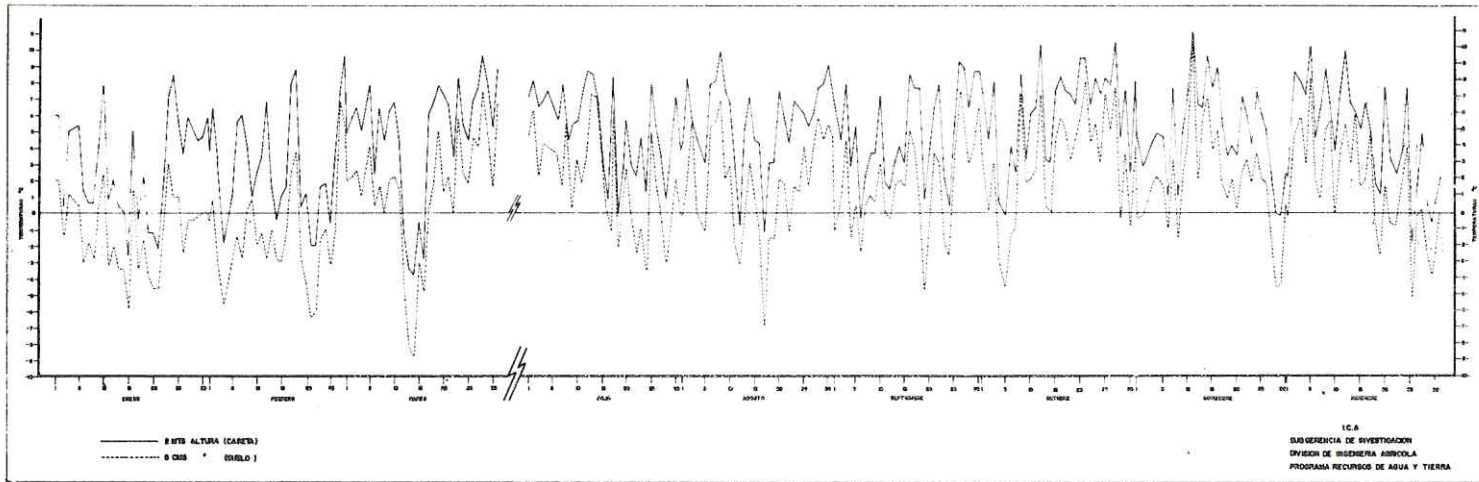


FIGURA 13. Temperaturas mínimas observadas en la Estación Meteorológica Tibaitatá durante 1.978.

TABLA 1. Datos meteorológicos mensuales medios entre 1955 y 1978. Centro Tibaitatá, Mosquera. Según la División de Ingeniería Agrícola, ICA.

Temperatura °C								
Mes	Media	Máxima	Mínima	Oscilación	Máxima absoluta	Año	Mínima absoluta	Año
I	12,4	20,0	4,3	15,7	23,8	1958	-6,0	1955
II	12,7	19,2	5,2	14,0	24,6	1958	-3,3	1973
III	13,2	19,9	6,4	13,5	27,0	1958	-3,4	1978
IV	13,3	19,2	7,5	11,7	24,0	1962	-1,5	1965
V	13,4	19,0	7,7	11,3	23,6	1967	-0,5	1962
VI	12,8	18,4	7,1	11,3	23,0	1962	-0,8	1974
VII	12,8	18,3	6,5	11,8	24,0	1963	-2,5	1962
VIII	12,7	18,5	6,0	12,5	24,0	1962	-2,6	1977
IX	12,7	18,9	5,7	13,2	23,8	1964	-1,5	1964
X	13,0	19,0	6,7	12,7	23,8	1958	-0,2	1978
XI	13,1	18,4	6,7	11,7	23,4	1964	-1,2	1976
XII	12,1	19,6	5,5	14,1	24,0	VA*	-4,2	1974

* VA: Varios años.

3. FACTORES QUE FAVORECEN LAS BAJAS TEMPERATURAS

3.1. EPOCA DEL AÑO.

Como se ha descrito anteriormente, en los altiplanos de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño las heladas se presentan con mayor frecuencia en las épocas secas del año, desde la segunda quincena de diciembre hasta fines de febrero y en los meses de julio y agosto.

3.2. ESCASA NUBOSIDAD.

En la atmósfera siempre existe una determinada cantidad de vapor de agua. Cuanto más caliente se encuentre el aire, mayor es la cantidad de vapor que puede mantener en suspensión y más probable la formación de nubes; en cambio el aire seco y transparente facilita la radiación de calor del suelo hacia el espacio y en consecuencia la helada.

3.3. AUSENCIA DE VIENTO.

Como se anotó anteriormente, en la noche las capas inferiores de la atmósfera son las más frías y un viento moderado que las mezcle entre sí, haciendo descender las superiores (más calientes) y elevando las inferiores (más frías) trae consigo una defensa contra la helada.

3.4. SUELO SECO.

Las tierras sueltas o las que contienen mucha materia orgánica, sobre todo si están secas, poseen baja capacidad calorífica. Almacenan muy poco calor durante el día y lo transmiten a las superficies radiantes muy lentamente, por lo cual se enfrían más en las noches de radiación, que tierras más apretadas y duras.

Por esta razón, un cultivo situado en un terreno húmedo, desnudo y compacto es menos vulnerable a las heladas, que las plantas de un terreno seco y suelto o de un terreno recién sembrado o abonado con estiércol.

3.5. BAJA TEMPERATURA VESPERTINA.

Un factor estrechamente relacionado con la temperatura mínima de un lugar es la temperatura existente a la puesta del sol, como resultado de las condiciones atmosféricas precedentes. Si la temperatura a la puesta del sol es alta, un descenso grande durante la noche no será muy dañino. Por el contrario si es relativamente baja al empezar la noche, el daño causado por la disminución gradual de la temperatura puede ser severo en las primeras horas de la mañana siguiente.

4. MECANISMOS DE LA HELADA EN LAS PLANTAS

No hay unanimidad de criterios en cuanto al concepto del daño de la helada en las plantas. Hay plantas de hojas persistentes que resisten temperaturas muy bajas; otras en cambio sucumben en pocos minutos, en cuanto la temperatura desciende por debajo de 0°C, e incluso con temperaturas de 2°C se chamuscan los botones, hojas y flores al evaporarse el agua de escarcha a la salida del sol, pues el calor de evaporación necesario le es robado a la planta, provocando un brusco descenso de la temperatura sobre los tejidos de ramas y hojas.

Al descender la temperatura, mientras más pura sea el agua se congelará más rápidamente; es decir, en la medida en que la concentración de solutos o de coloides sea mayor se necesitan temperaturas más bajas para congelarla. Por esto, el agua de los espacios intercelulares se congela más fácilmente que el agua intracelular. Al congelarse el agua intercelular ocurre difusión del agua de la célula hacia afuera, para mantener su equilibrio en estado líquido; pero si el agua que sale también se congela se establece un movimiento continuo hacia afuera, causando deshidratación del protoplasma. Como es lógico suponer, la concentración de solutos y coloides del protoplasma será cada vez mayor y su punto de congelación, cada vez menor; puede haber descensos de temperatura por debajo del punto de congelación del protoplasma sin que éste se congele o sobreenfriamiento debido a que es necesaria la presencia de cristales inductores que faciliten la cristalización.

Si la velocidad a la cual desciende la temperatura es lenta y permite el movimiento del agua hacia afuera del protoplasma se alcanzan temperaturas bastante bajas sin que ocurra congelación intracelular. Mientras mayor sea la cantidad de agua del protoplasma, mayor será la posibilidad de formación de hielo intracelular. Por esto, con descensos rápidos de temperatura que no faciliten la difusión del agua al exterior de la célula, las posibilidades de congelamiento intracelular son mayores.

Durante mucho tiempo se creyó que la muerte de la planta era causada por el aumento de volumen del agua congelada el cual produciría rompimiento de las membranas celulares, pero en muchas ocasiones no se observa aumento de volumen de los tejidos al ocurrir el congelamiento.

Indudablemente, la formación de cristales en los tejidos vegetales causa un daño mecánico (congelación intracelular), que parece estar determinado por la formación de hielo intracelular y por el crecimiento subsecuente del hielo durante la descongelación. Los cristales de hielo pequeños o no esféricos tienden a ser convertidos en cristales esféricos grandes (recristalización), sin que se requiera para este proceso el paso al estado líquido; la recristalización puede ocurrir a temperaturas en las cuales toda el agua está congelada.

Las células que no se congelan intracelularmente pueden sufrir varios tipos de alteraciones.

Levitt (20) al estudiar los efectos del enfriamiento de tejidos foliares de dos especies encontró un descenso en el contenido de sulfidrilos (-SH) y un aumento de disulfuros (S-S); con esta observación dió base a su hipótesis de que el daño por congelamiento se debe al rompimiento de enlaces protoplasmáticos, lo cual causa desdoblamiento y desnaturalización de proteínas, y a la formación de enlaces disulfuro entre moléculas de proteínas.

Otras alteraciones pueden ser reducción del contenido del agua celular; aumento en la concentración de solutos y su consecuente precipitación; plasmólisis; cambios en el pH, que ocasionan modificación de la actividad enzimática, lo cual interfiere con el metabolismo normal, y si son muy drásticos pueden ocasionar precipitación de proteínas; reducción de la separación espacial de macromoléculas; alteración de las propiedades de las membranas y daño mecánico, especialmente cuando los espacios intercelulares son muy pequeños. Todo lo anterior puede manifestarse macroscópicamente como necrosis del tejido.

Ultimamente el Departamento de Patología Vegetal de la Universidad de Wisconsin está trabajando con las bacterias *Pseudomonas syringae* y *Erwinia herbicola*, que tienen un núcleo criostático, lo cual les permite presentar actividad nuclear con temperaturas de congelación del agua y parece que como un mecanismo de defensa congelan su núcleo y se mantienen latentes en temperaturas menores a -2°C . Probablemente este mecanismo de su núcleo congelado aumenta la sensibilidad de las plantas al frío. En experimentos efectuados en esta Universidad se encontró que plantas de maíz libres de tales bacterias tenían una temperatura de congelación letal media cercana a -9°C , pero en plantas en donde se encontraban, la temperatura letal media era de -2°C . Los resultados descritos los llevaron a lanzar la hipótesis de que las bacterias parecen aumentar la sensibilidad de las plantas al frío.

Esta hipótesis, de ser comprobada, podría explicar la presencia de sólo algunas zonas afectadas por el frío en cultivos que tienen la misma topografía y en donde no se ha encontrado una explicación física convincente.

4.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DAÑO POR HELADAS EN LAS PLANTAS.

4.1.1. Temperatura y Tiempo de Exposición.

La temperatura a la cual se congela el jugo celular en una planta de papa está entre $-2,5$ y $-2,7^{\circ}\text{C}$; sin embargo, para que una planta sufra daño letal no siempre es necesario que haya congelamiento de las células. Hay plantas que mueren al exponerlas a temperaturas por encima del punto de congelación.

No obstante, se ha comprobado que el daño aumenta con el tiempo de exposición.

4.1.2. Velocidad de Congelación y Descongelación de los Tejidos.

El congelamiento y la descongelación lentas causan menos daños a los tejidos que un cambio relativamente rápido de la temperatura.

4.1.3. Agua de Reserva de la Planta.

Está directamente relacionada con la humedad de suelo; las plantas son más tolerantes a las heladas bajo condiciones secas que bajo condiciones húmedas.

Si la célula tiene más agua de reserva en sus tejidos (espacios intercelulares) hay más volumen de agua para congelarse y causar daño.

4.1.4. Nutrición Mineral.

Altas dosis de N y P aumentan el vigor y desarrollo de la planta, pero la predisponen a un mayor daño por congelamiento. En cambio, altas dosis de potasio hacen a la planta más tolerante al efecto de las bajas temperaturas.

Alvarado (1) encontró que fertilizaciones de 300 kg/Ha de cloruro de potasio disminuyeron la susceptibilidad de la papa a las heladas; dosis mayores resultaron fitotóxicas.

4.1.5. Aclimatación.

Está demostrado que la respuesta de los tejidos de una planta al congelamiento natural o artificial depende en parte de la temperatura a la cual haya estado creciendo antes del congelamiento.

4.1.6. Edad de la Planta.

Según Chandler (11) en plantas maduras la resistencia al frío es mayor debido a una mayor presión osmótica, menos agua y más rigidez de las células. En cambio meristemas y yemas son más suculentos y sus tejidos tienen mayor reserva de agua (Tabla 2).

TABLA 2. Resistencia de algunos cultivos a la helada en diferentes fases de desarrollo. Tomada de Chandler (11).

Tipo de relación	Temperatura dañina a la planta en las fases de:		
	Germinación °C	Floración °C	Fructificación °C
<u>Alta resistencia</u>			
Trigo	-9	-1	-2
Avena	-9	-1	-2
Cebada	-7	-2	-2
Arveja	-7	-2	-3
Lenteja	-2	-2	-2
Cilantro	-8	-2	-2
<u>Resistentes</u>			
Fríjol	-5	-2	-3
Zanahoria	-6	—	—
Nabo	-6	—	—
<u>Resistencia media</u>			
Repollo	-5	-2	-6
<u>Baja resistencia</u>			
Maíz	-2	-1	-2
Pasto Sudán	-2	-1	-2
Sorgo	-2	-1	-2
Papa	-2	-1	-2
<u>Ninguna resistencia</u>			
Algodón	-1	-1	-2
Melón	0,5	0,5	-1
Arroz	0,5	0,9	0,5
Maní	0,9	—	—
Tomate	0	0	0
Tabaco	0	0	0

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A HELADAS

4.2. MECANISMOS DE RESISTENCIA A HELADAS

La rapidez con que se forme hielo en el protoplasto es un parámetro de susceptibilidad o resistencia a las heladas. Aunque muchas plantas leñosas de las regiones templadas pueden sobrevivir a temperaturas hasta de -196°C , la mayoría de las especies herbáceas mueren al congelarse el líquido protoplasmático y hay plantas que sufren daño al ser expuestas a temperaturas por encima del punto de congelación de sus tejidos.

La comprensión de los mecanismos de la resistencia de las plantas al frío es muy compleja. El estudio de las fases fisiológicas de la tolerancia al frío ha llevado a programas de mejoramiento, principalmente en especies leñosas y en hortalizas y desde 1946, en papa.

Aun cuando los mecanismos de las plantas para resistir al frío no están bien establecidos hay sugerencias.

4.2.1. Potencial Osmótico.

En condiciones normales es poco probable que se forme hielo dentro del protoplasma; se forma en los espacios intercelulares y a medida que se forma va saliendo agua del protoplasma, con el consiguiente aumento del potencial osmótico dentro del protoplasma.

Levitt (20) considera que las plantas resistentes poseen una membrana más permeable al agua; ésta permite que el agua del protoplasma salga más rápidamente al congelarse que la de los espacios intercelulares, de tal manera que el jugo protoplasmático aumenta su concentración osmótica y no hay formación de hielo intracelular.

Confirmando esta teoría se ha comprobado que la presión osmótica del jugo celular es mayor en especies resistentes de papa (*Solanum acaule*), que en susceptibles como *Solanum tuberosum* (Alvarado, 2).

4.2.2. Composición Química.

Se ha encontrado correlación entre la resistencia de las plantas al frío y algunas sustancias específicas. Se ha encontrado que la resistencia al frío en plantas es mayor con el aumento en proteínas S-H y otras sustancias disulfídicas no protéicas (Levitt, 20).

El efecto de resistencia podría ser la reducción de proteínas S-S en S-H. Olien (28) extrajo polisacáridos de xilosa y arabinosa de la pared celular de células de cebada y encontró que los extraídos de variedades resistentes producían cristales imperfectos dentro de los tejidos.

En 1969 Irving encontró una sustancia similar a la gibberelina en plantas de día largo (no resistentes) y más tarde encontró que las sustancias estimuladoras de resistencia eran similares al ácido absísico.

En términos generales se ha establecido que la resistencia se relaciona inversamente con la succulencia del tejido. De esta manera las gibberelinas inducen o inhiben la resistencia, y

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

los compuestos que retardan el crecimiento, como el ácido absísico, permiten la inducción de resistencia bajo condiciones en las que normalmente no aparecería.

También se ha asociado la resistencia con la activación de algunas enzimas que de alguna manera evitan la formación de enlaces disulfuro al prevenir la oxidación de grupos sulfidrílo.

4.2.3. Influencia del Ambiente.

Se ha observado inducción de resistencia por condiciones que reducen el crecimiento vegetal activo, tales como temperaturas bajas por encima del punto de congelación y fotoperíodos cortos.

Irving (16) demostró en *Acer negundo* y otras especies que los fotoperíodos cortos inducían resistencia al frío y que días largos anulan el efecto inducido por días cortos.

4.3. PREVISION DE HELADAS .

Actualmente los servicios meteorológicos pronostican bajas temperaturas para períodos cortos (12 horas), gracias al empleo de esquemas sinópticos experimentales provenientes de la concentración de datos meteorológicos eficaces; igualmente se han logrado predicciones para determinadas localidades, facilitando al sector agropecuario desarrollar con suficiente tiempo los trabajos necesarios para proteger los cultivos.

Sólo los pronósticos a corto plazo pueden formularse con base científica reconocida y son aceptados por todos los especialistas en la materia, pues pueden formularse con considerable exactitud y grandes posibilidades de verificación.

El HIMAT (Instituto de Meteorología, Hidrología y Adecuación de Tierras) tiene como objetivo predecir las heladas en las áreas susceptibles de la Sabana, mediante métodos que tienen en cuenta los valores medios y extremos de las variables meteorológicas y sus secuencias de ocurrencia, distribución geográfica, duración e intensidad.

Las técnicas y procedimientos seguidos son los siguientes:

4.3.1. Isotermas.

La temperatura del aire varía mucho de un lugar a otro. Para estudiar esta variación se hace uso de los mapas isotérmicos establecidos, uniendo por curvas llamadas isotermas los puntos de igual temperatura.

4.3.2. Correlación de Funciones Meteorológicas.

Se tienen en cuenta parámetros meteorológicos observados de antemano a determinadas horas y afectados por una constante.

Es una fórmula apropiada para suelos con características poco variables (praderas). Su aplicación se restringe exclusivamente a zonas en las cuales se dispone de estudios previos correspondientes a cada una de las constantes, con un tiempo considerable que les dé confiabilidad.

$$4.3.2.1. \quad T = T_o \cdot \frac{2R_n}{\sqrt{TD} \cdot \sqrt{K}} \cdot \sqrt{t}$$

T =	Temperatura de la superficie del suelo.
T _o =	Temperatura de la superficie a la puesta del sol.
R _n =	Radiación neta efectiva a la puesta del sol (g/cal/seg).
D =	Densidad del suelo.
C =	Calor específico del suelo.
K =	Coefficiente de difusión térmica.
t =	Tiempo transcurrido en segundos.

Otra fórmula adecuada es:

$$4.3.2.2. \quad T_m = \frac{T_s \text{ max} - T_d \text{ mx}}{2}$$

T _m =	Temperatura mínima que se espera.
T _d max =	Temperatura punto de rocío máximo.
T _s max =	Temperatura máxima del termómetro seco.

$$4.3.2.3. \quad T_m = \frac{T_h \text{ max} + T_d \text{ max}}{2}$$

T _h max =	Temperatura máxima del termómetro húmedo.
----------------------	---

4.3.2.4. T _m =	T _d 19 - (m + D) · H 19
T _d 19 =	Temperatura punto de rocío a las 19 horas.
H 19 =	Humedad a las 19 horas.
m =	Pendiente media.
D =	Desviación.
C =	Coefficiente de corrección.

$$4.3.2.5. \quad T_m = T_d 19 - \bar{m} (H 19) \pm C$$

4.3.2.6. Estudio de la diferencia T 19 - T_m.

4.3.2.7. Estudio de la función T_m - T_d 19 - F (H 19).

4.3.2.8. Estas dos fórmulas son las más adecuadas para determinar heladas en los altiplanos del departamento de Boyacá.

$$\begin{aligned}
T_m &= T_{19} - 7,6 \pm 2^{\circ}\text{C}. \\
T_m &= T_d_{19} + (y \pm 2^{\circ}\text{C}). \\
Y &= \text{Temperatura m\u00ednima por predecir.} \\
Y &= \frac{1443}{X^{1,27}} \\
X &= \text{Tensi\u00f3n media de vapor.}
\end{aligned}$$

Para el pron\u00f3stico local de heladas, los agricultores pueden utilizar las observaciones del Psicr\u00f3metro que consta de un juego de dos term\u00f3metros iguales; uno de ellos, seco, sirve para obtener la temperatura del aire; el otro, h\u00famedo, cuyo dep\u00f3sito va recubierto de una muselina mojada, determina el grado de humedad del ambiente. El term\u00f3metro h\u00famedo proporciona por tanto, salvo en el caso en que la atm\u00f3sfera est\u00e9 saturada, una indicaci\u00f3n m\u00e1s baja de la temperatura que el term\u00f3metro seco. La diferencia de temperaturas entre el seco y el h\u00famedo permite determinar el estado higrom\u00e9trico (humedad del aire) y el valor de la temperatura del punto de roc\u00edo.

El fundamento es f\u00e1cil: cuando el aire est\u00e1 seco, el agua que empapa la muselina del term\u00f3metro h\u00famedo se evapora, y como para ello necesita calor, se lo roba a su dep\u00f3sito ocasionando que su temperatura sea m\u00e1s baja que la del seco. Naturalmente, la cantidad de agua evaporada depende de la humedad del ambiente: si est\u00e1 h\u00famedo, aparecer\u00e1 saturado de vapor y no podr\u00e1 admitir m\u00e1s de \u00e9ste; por el contrario, si est\u00e1 muy seco, la evaporaci\u00f3n habr\u00e1 de ser muy activa y la diferencia de lecturas entre los dos term\u00f3metros, bastante acusada.

El peligro de helada comienza cuando el aire contiene menos de cinco gramos de vapor de agua por metro c\u00fabico de aire (cantidad que satura el aire a 0°C). Si el contenido de vapor es mayor, antes de llegar a los 0° se forma niebla o roc\u00edo y como este proceso desprende calor protege el suelo y las plantas contra el enfriamiento por irradiaci\u00f3n. Bas\u00e1ndose en esta regla se ha construido la Figura 14, tomando dos ejes que representan la temperatura del term\u00f3metro seco y h\u00famedo. Por debajo de la l\u00ednea PQ se acent\u00faa el riesgo de helada.

Otra regla interesante es aqu\u00e9lla que fija que "la temperatura m\u00ednima que se alcanzar\u00e1 por la noche es, aproximadamente, la del punto de roc\u00edo a la ca\u00edda de la tarde: (13)". As\u00ed, puede pronosticarse al anochecer la posibilidad de que por la noche haya helada o no: si el punto de roc\u00edo deducido de la lectura del psicr\u00f3metro al atardecer (un cuarto de hora antes de la puesta del sol) es superior a 0° no se debe temer helada; si es inferior existen grandes posibilidades de que hiele.

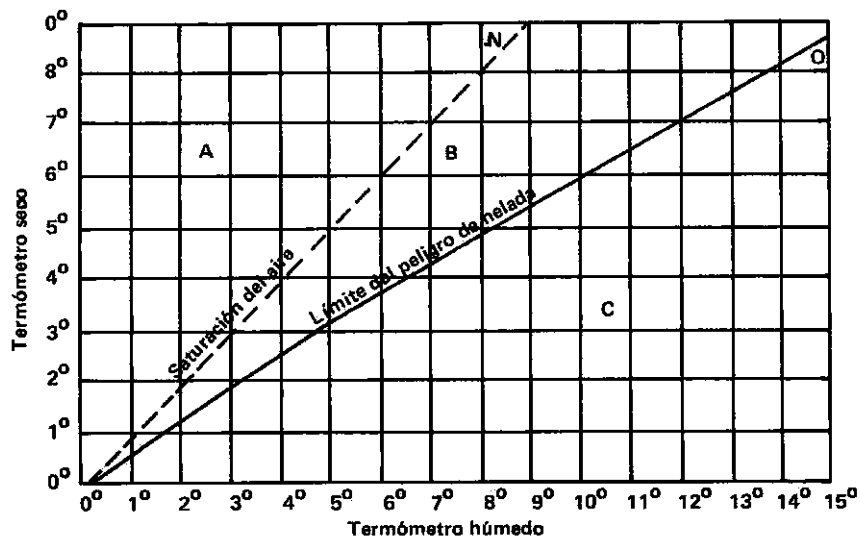


FIGURA 14. Temperaturas detectadas en el termómetro seco y en el termómetro húmedo y posibilidad de ocurrencia de helada.

5. METODOS DE PROTECCION CONTRA LAS HELADAS

Como se dijo anteriormente, el problema de la defensa contra los daños producidos por las heladas proviene de tiempos tan antiguos como los de Plinio el viejo (año 77 d.c.) y probablemente anteriores.

Hammon en 1896, en California, da la relación de posibles medios de defensa.

- Disminución de la radiación de calor.
- Aumento de la humedad del aire para que alcance el punto de rocío.
- Aumento de la cantidad de calor del aire.
- Mezcla del aire frío con la capa de aire superior que está más caliente.

Posteriormente, en 1910, se utilizaban de 50 a 100 cestos de alambre llenos de carbón y con la llama suficiente para asegurar una buena combustión/acre; así se podía elevar la temperatura en 1,7°C, para combatir las heladas de naranjales de California.

5.1. METODOS INDIRECTOS

Estos métodos deben utilizarse mucho antes del peligro inminente de helada, pues más que combatir las heladas, las evitan.

5.1.1. Elección de la Zona de Cultivo.

Es posible evitar los lugares donde haya riesgo de heladas, para esto es necesario saber dónde hay peligro, la frecuencia relativa y la intensidad de las heladas.

5.1.2. Elección de la Época de Cultivo.

El cultivo de plantas anuales debe llevarse a cabo aprovechando la información climatológica disponible para evitar que los cultivos, durante la época crítica de heladas, estén en una fase en la cual puedan ser perjudicados y de tal manera que el fruto madure cuando el peligro de helada sea bajo.

5.1.3. Prácticas Agrícolas.

5.1.3.1. Cuidados Requeridos por el Terreno. Para conseguir la máxima protección, el suelo debe estar húmedo, limpio de hierbas, liso y compacto. El terreno no debe trabajarse en la época crítica bajo ninguna circunstancia y se debe procurar que el aire frío se marche del cultivo y evitar que entre en él.

Es importante cuidar bien no sólo el terreno para el cultivo, sino también los campos próximos, especialmente los situados en un nivel más alto. De otro modo existe el peligro de que la tierra recién cultivada, o seca, o cubierta de césped y situada a un nivel superior al del cultivo actúe como una fuente secundaria de aire frío que descenderá hacia las plantas delicadas durante las noches de heladas (Figura 15).

5.1.3.2. Cuidados que Requieren las Plantas. Si el cultivo es de árboles frutales se debe tratar de podarlos de tal manera que crezcan unos 50 cm adicionales, con lo cual las flores sensibles están por encima del aire frío y se adiciona una protección equivalente a un aumento de 2^oC en la temperatura.

5.1.3.3. Empleo de Reguladores del Ciclo Vegetativo. Estos trabajos son recientes y están encaminados, principalmente, a retrasar la salida de las flores u otras partes sensibles de la planta, hasta que haya pasado o disminuido la helada.

En los primeros experimentos en Australia se utilizó aspersión de petróleo, lo cual retrasó el brote de las yemas de vid hasta 11 días.

En Inglaterra se utilizó hidrácido maleico (750 ppm) en la época de gemación y así se retrasó el desarrollo de las yemas de las frambuesas, reduciendo los daños por heladas, aun cuando esta aplicación causó daño y redujo la cosecha total.

Se ha aplicado ácido giberélico en fresa para estimular el crecimiento de frutos partenocárpicos de fresa dañados por las heladas.

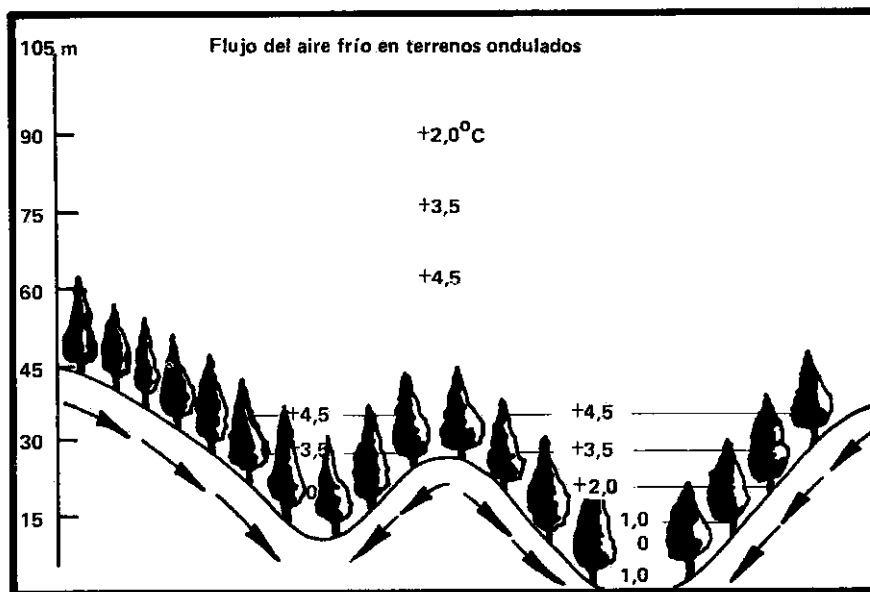


FIGURA 15. El aire frío y su tendencia de flujo en terrenos ondulados.

5.1.3.4. Reglas Generales de los Métodos Indirectos.

- En suelos duros o en sitios donde puedan tener lugar heladas es preferible escoger tipos de plantas más altas para que los capullos o las ramas con frutos queden por encima del aire frío.
- Evitar el fondo de los valles, las cuencas estrechas, etc. en el cultivo de plantas sensibles a las heladas. Las laderas cálidas de los terrenos desiguales y montañosos ofrecen las condiciones más favorables.
- El riesgo de heladas queda siempre reducido en las proximidades de grandes extensiones de agua (lagos, embalses, ríos).
- El peligro de la helada aumenta hacia arriba de un obstáculo mientras que en su parte inmediatamente inferior queda algo reducido.
- Las franjas de árboles que detienen y desvían las corrientes de aire frío descendente deben conservarse cuidadosamente.

- Evitar zanjas y rebajes en el terreno al cultivar plantas sensibles a las heladas.
- Donde haya peligro de helada no deben sembrarse plantas sensibles en parcelas situadas entre las zonas utilizadas para otra clase de cultivo; sobre todo hay que evitar la proximidad inmediata de campos de trébol, prados, sementeras y matojos.
- Abstenerse de laborar el terreno durante la época de fuerte riesgo de helada.
- Por regla general el índice de severidad de las heladas es menor en el costado oriental de las montañas que en el costado occidental.
- Procurar que las plantas sensibles a las heladas estén libres de maleza.

5.2. METODOS DIRECTOS

En esta sección se tratará sobre los procedimientos de defensa contra las heladas que hay que aplicar antes y durante el período en que éstas tienen lugar.

El concepto fundamental de la mayor parte de este método es muy sencillo; las heladas se deben al aire frío; éste puede ser llevado a la zona por viento frío o puede originarse en el lugar por radiación nocturna rápida o puede ser una combinación de estos dos casos. Por lo tanto si la pérdida de calor puede evitarse o reducirse o si puede añadirse el calor suficiente para mantener la temperatura por encima del punto crítico se puede evitar el daño por heladas.

5.2.1. Cubiertas.

Este es el método más sencillo; se utiliza en especial en plantas bajas y específicamente en las ornamentales.

El material utilizado debe ser opaco a la radiación de onda larga y mal conductor del calor.

Parece que los invernaderos de vidrio y de plástico transparente hacen que aumente la temperatura en los días soleados, pero en realidad no influyen en las temperaturas mínimas en las noches de gran radiación.

5.2.2. Nieblas Artificiales.

La ausencia de daños causados por heladas en las noches nubladas o con niebla y la propiedad de las nubes y nieblas naturales de actuar como cubiertas protectoras contra la radiación terrestre han conducido a muchos intentos para encontrar un sustituto artificial de las nieblas.

Con fines militares se han producido nieblas y cortinas de humo que ocultan la visión pero permiten el paso de los rayos infrarrojos de onda larga. Las partículas de humo, que tienen un promedio de diámetro de 0,5 a 0,6 micras, resultan transparentes al paso de los

rayos infrarrojos con una longitud media de onda de 10 micras, mientras que las nubes naturales formadas de partículas de agua tienen un diámetro de 10 micras y por eso si son efectivas en el control de la helada.

Por lo anterior, hasta que no se produzcan generadores de grandes partículas, este método no puede ser efectivo.

5.2.3. Ventiladores.

Se utilizan ventiladores o helicópteros que mezclan el aire; el buen resultado de este método depende de que haya aire cálido sobre la capa delgada del aire frío que se forma sobre el suelo. La temperatura del aire a 15 metros sobre el suelo puede ser 6 a 8°C más alta que junto al suelo. Si este aire cálido puede ser mezclado con el aire frío es posible conseguir alguna protección contra la helada (Figura 16).

Un método empleado es colocar en una torre de 10 metros, polos de eje vertical de gran longitud, de movimiento lento y de potencia relativamente baja (este método se ha ideado para bajar un gran volumen de aire caliente desde una altura de 25 a 30 m y extenderlo sobre la superficie de la zona por proteger). El efecto sobre la temperatura disminuye rápidamente con la distancia al ventilador; a unos 50 m del ventilador la influencia queda reducida a un 20% de la conseguida cerca al ventilador. Este método sólo se aplica muy limitadamente.

5.2.4. Aspersión.

El agua se emplea de maneras diferentes para la defensa contra las heladas; inundando algunos cultivos que lo permitan, consiguiendo agua de riego relativamente caliente y por aspersión.

Este último método se basa en una propiedad física del agua, por la cual se liberan 80 cal/cm³, del agua que se hiela a 0°C. Si se extiende una ligera lámina de agua sobre una hoja o sobre otra superficie que se enfría por radiación o por otra causa, esa energía (el llamado calor latente de fusión) puede evitar que la temperatura de la hoja baje de 0°C, mientras se conserve la película de agua. La temperatura de las partes de las plantas así protegidas no bajará del punto de congelación, aun cuando se forme una capa de hielo. Es importante destacar que este método sólo evita que las partes protegidas desciendan por debajo del punto de congelación; no eleva la temperatura del aire, por eso su eficacia no debe determinarse por observaciones de la temperatura del aire.

5.2.4.1. Abastecimiento de Agua. Se debe tener en cuenta que el abastecimiento de agua sea suficiente para permitir el funcionamiento continuo, durante tres noches seguidas de heladas con 10 horas de duración cada una. Las cantidades mínimas que hay que rociar para conseguir resultados por encima de -6°C son:

Hortalizas:	1,5 a 2 mm/h
Frutales:	2 mm/h
Viñas:	2 a 2,5 mm/h

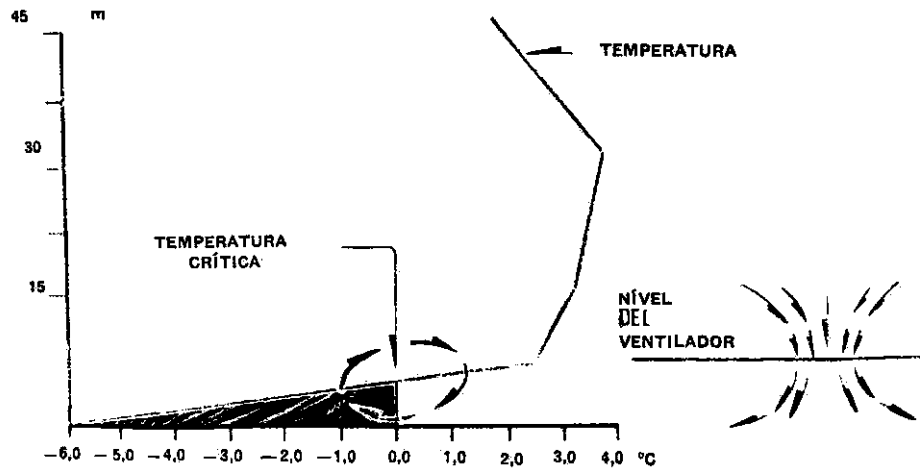


FIGURA 16. Método mediante el cual se mezclan las capas frías de aire situadas a nivel del suelo con las capas superiores relativamente más calientes.

Estas cantidades deben aumentarse en el caso de una humedad relativamente muy baja.

El volumen de agua que se debe almacenar para rociar 2,5 mm/hora es $0,1 \text{ pulg/h} = 25 \text{ m}^3/\text{h}/\text{Ha} = 2.715 \text{ gal/h}/\text{acre}$; suponiendo tres noches con diez horas cada una, 2,5 mm/h necesitan una reserva de $750 \text{ m}^3/\text{Ha}$ y $0,1 \text{ pulg/h}$ necesitan una reserva de $81.450 \text{ gal}/\text{acre}$.

5.2.4.2. Instalaciones. Se pueden utilizar boquillas de $5/32$ a $3/16$ de pulgada con una presión de $60 \text{ lb}/\text{pulg}^2$. La velocidad de rotación debe ser de una revolución por minuto. La distancia entre rociadores puede ser de un 80% del diámetro cubierto por un rociador (Ejemplo: si los rociadores tienen un alcance de 100 pies se pueden colocar a 80 pies de distancia).

Se debe empezar la aspersión cuando el termómetro húmedo llegue a 0°C y se puede suspender cuando el termómetro seco marque 1°C .

En cuanto a la red de tubería, una hectárea necesita:

- 100 metros de tubos en rampas de alimentación (tubos de 6 m de largo por 75 a 80 mm de diámetro).

- 500 metros de tubos en rampas para riego, con diámetro de 50 a 60 mm.
- 18 a 30 rociadoras.

Es indispensable proceder al montaje y verificar ensayos de los aparatos antes de cualquier intervención.

5.2.5. Caldeadores.

Los quemadores pueden quemar petróleo, madera, carbón de piedra u otros combustibles disponibles.

Su finalidad es adicionar calor suficiente a las capas bajas que se encuentran por debajo de la inversión para impedir que ocurra una temperatura crítica.

Dependiendo del cultivo, esta temperatura crítica puede ser de 0°C o menor. Un calentamiento es muy efectivo cuando existe una fuerte inversión y no hay viento.

Es importante destacar que un gran número de calentadores pequeños es más eficiente que calentadores grandes, pues combustiones muy intensas y temperaturas muy elevadas pueden provocar la formación de un poderoso chorro de aire caliente que atraviesa la inversión causando un efecto de chimenea, que determina una pérdida de calor e impulsa aire frío dentro del área (Figura 17).

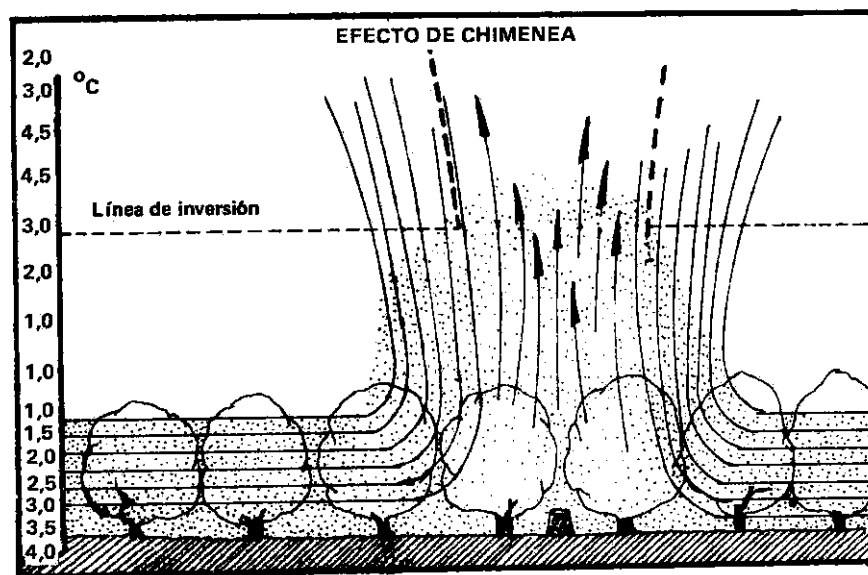


FIGURA 17. Efecto de chimenea o pérdida de calor cuando se utilizan quemadores que producen una llama muy grande.

Más adelante se darán algunas recomendaciones sobre el número de quemadores por distribuir en una hectárea, pero se debe tener en cuenta que en la práctica, el número de quemadores se aumenta donde sea necesario formar más calor (en las áreas más bajas donde se acumule el frío). En efecto, el aire frío es más denso que el aire caliente y va generalmente a acumularse, como el agua, en los lugares más bajos. De ahí la designación de bolsas de heladas para las áreas bajas que no permiten que el aire frío se escurra. La finalidad del calentamiento es calentar el área que está por debajo de la temperatura crítica y no calentar todo el ambiente.

Teóricamente durante la noche se pierden por radiación 900 millones de cal/g/h/Ha y la cantidad de calor o de energía necesaria para reemplazar esta pérdida es de 1.250 a 2.500 millones de cal/g/h/Ha (incluyendo pérdidas de los caldeadores por radiación, drenaje del aire y arrastre del viento). El volumen de combustible necesario es de 132 a 264 litros de petróleo por h/Ha en condiciones normales de campo.

De acuerdo con las recomendaciones del último Congreso Mundial de Meteorología se considera como el máximo aceptable de calor radiante el de un quemador que a 30 cm de distancia provoque un calor de 38°C. Como pasa con cualquier radiación, ésta se reduce con el cuadrado de la distancia; así, si a 30 cm se detectan 38°C, a 60 cm se reduce en 0,4°C, a 90 cm se reduce en 1,2°C, a 3 m se reduce en 17°C y a 4,9 m el efecto calorífico, del tipo más eficiente de quemador de aceite o gas, se reduce a 0,5°C. Por esto los quemadores se deben distribuir a 9,8 m de distancia, pues un sólo quemador no causaría ningún efecto favorable en un cultivo con una extensión superior a 100 m².

Se necesita un número considerable de quemadores con llama lo suficientemente pequeña para que la velocidad térmica del aire calentado al llegar a la línea de inversión iguale la temperatura del aire por encima y por debajo de la línea evitando así la pérdida de calor producida por el enfriamiento adiabático provocado por la expansión a medida que el aire sube. Además la emisión de un quemador debe combinarse con las emisiones de otros quemadores para que el aire por debajo de la línea de inversión gane calor, por convección, de una serie de calentadores (Figuras 18 y 19).

5.2.5.1. Tipos de Caldeadores. Varían desde caldeadores que producen máxima cantidad de calor, hasta una simple cubeta (más económica y conveniente), recipiente de 5/4 de galón (4,7 litros) provisto de un difusor para que regule el fuego y de una tapa bien ajustada para apagarlo con facilidad; es liviano fácil de manejar, llenar, encender, apagar, almacenar y de bajo costo.

Los quemadores sin difusor producen una llama más intensa y agotan su combustible en 1 1/2 hora; con difusor pueden durar encendidos hasta 4 horas.

5.2.5.2. Número de Caldeadores por Unidad de Superficie.

Número de unidades/Ha	Protección máxima
150 sin difusor	4°C
110 sin difusor	2°C
150 con difusor	1,5°C
110 con difusor	1°C

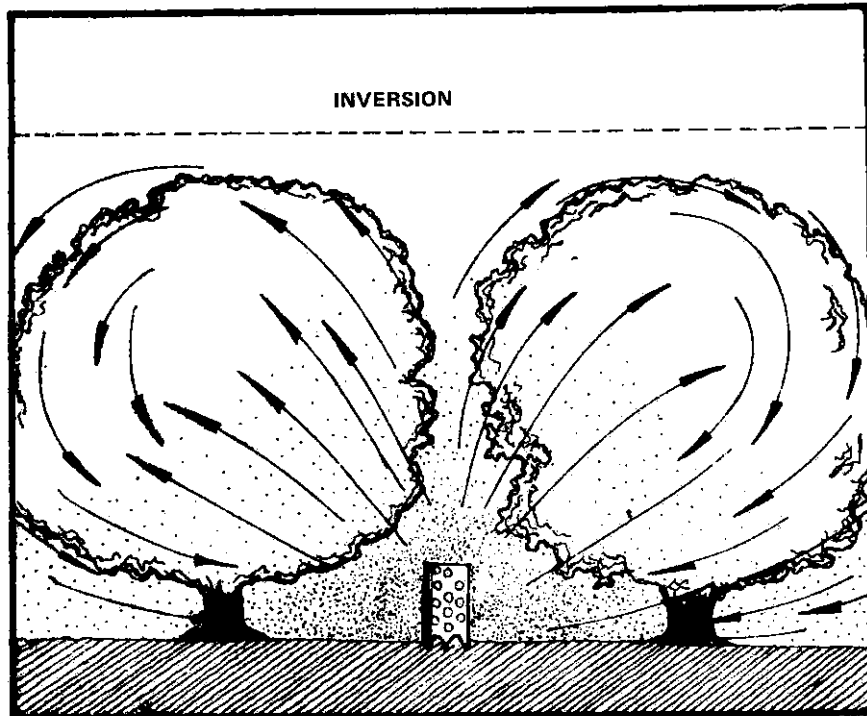


FIGURA 18. Quemador con llama pequeña y su óptimo efecto en el control de la helada.

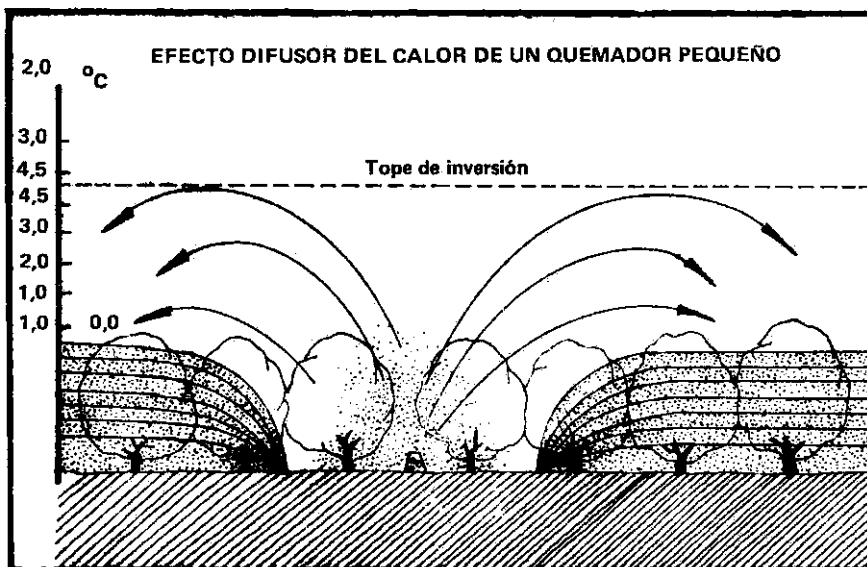


FIGURA 19. Efecto individual de un quemador bien diseñado que difunde calor y no quema las plantas cercanas.

5.2.6. Empleo de Colectores Solares.

Otro método que se utiliza con gran éxito en las zonas hortícolas de California (EE. UU.) es el empleo de tableros solares para calentar el agua que alcanza temperaturas de 71°C durante el día; por la noche el agua con calor almacenado se aprovecha distribuyéndola en mangueras sobre el campo, de tal manera que el agua caliente suministra al suelo el calor perdido por radiación. Los costos de los materiales son cercanos a los 1.000 dólares, única inversión, porque las fuentes de energía se obtienen de la radiación del sol, sin ningún costo adicional.

Cuando no se presentan heladas, esta energía se puede utilizar para otros menesteres.

5.2.7. Recolección Adelantada de la Cosecha.

Es el método que utilizan con mayor frecuencia los agricultores de la Sabana de Bogotá, quienes siembran maíz para venderlo como choclo si se ven sorprendidos por las heladas. Exige el empleo de mano de obra extra aun en las horas de la noche para dejar el fruto cosechado a cubierto.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

En general, las pérdidas de calor del suelo por radiación nocturna, cuando el viento está en calma, el cielo despejado y hay baja humedad relativa, se presentan en las mesetas altas de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá durante épocas fijas, determinadas por numerosos estudios previos que dan una alta confiabilidad.

Las pérdidas, tanto físicas como económicas, causadas por las heladas en los cultivos de hortalizas, maíz, papa, cebada, trigo y pastos, principalmente, son tan considerables que justifican ampliamente la divulgación de los mecanismos de control.

Las recomendaciones de control que tradicionalmente efectúan los agricultores no son las más efectivas y si no se hacen con precaución pueden llegar a causar un daño mayor que la misma helada.

El agricultor debe conocer los costos actuales de los diferentes controles y su eficiencia para seleccionar la alternativa que le resulte más rentable.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se debe tratar en lo posible de conocer la frecuencia relativa y la intensidad de las heladas en los lugares donde se piensa sembrar para diseñar la época de la siembra de tal forma que el fruto madure cuando el peligro de helada sea bajo.
- En suelos secos y con alto contenido de arena es preferible escoger tipos de plantas más altas para que la flor y el fruto queden encima del aire frío pegado al suelo.

- Se debe evitar sembrar en el fondo de los valles y las cuencas estrechas y tener en cuenta que las laderas orientales ofrecen las condiciones más favorables.
- El riesgo de heladas se reduce en las proximidades de grandes extensiones de agua (lagos, embalses, ríos).
- No se deben sembrar plantas sensibles en la proximidad inmediata de potreros sobrepastoreados. Durante la época de alta frecuencia de heladas se debe evitar laborar el terreno y procurar que las plantas sensibles a las heladas estén libres de maleza.
- Cuando se utiliza la aspersión de agua como un método de control se debe tener una suficiente disponibilidad de agua de reserva.
- Un gran número de pequeños calentadores de aire son más efectivos y económicos que pocos calentadores de gran tamaño y que den una llama muy alta.
- Para cultivos de extensión mayor a 1/2 Ha no es práctico ni efectivo el control de las heladas quemando fardos de heno, llantas o basura.
- Por último, se debe tener en cuenta que las masas de aire frío se depositan en los declives del terreno; en estas áreas se deben utilizar los métodos de control directo.

7. RESUMEN

La helada se define como la ocurrencia de una temperatura igual o menor a 0°C, detectada a 2 metros de altura, o sea al nivel reglamentario de instalación de las casetas de medición meteorológica; se pueden presentar por advección, por evaporación, por radiación o por una combinación de estos factores.

En las mesetas altas de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño se presentan principalmente heladas por radiación o sea una pérdida de calor del suelo en las horas de la madrugada, cuando el viento está en calma, el cielo despejado y hay escaso contenido de humedad en el aire.

Estas condiciones meteorológicas generalmente ocurren desde la primera quincena de diciembre hasta fines de febrero, coincidiendo con el período seco de las regiones mencionadas y se pueden presentar, aun cuando con menor frecuencia, durante la segunda época seca del año (julio, agosto). Sin embargo, en algunos lugares del departamento de Nariño pueden ocurrir en cualquier época del año.

Las pérdidas causadas por las heladas en el país son tan considerables que repercuten sensiblemente en la producción del sector agrícola y ganadero.

Los fisiólogos vegetales no tienen un criterio unánime sobre el daño que causan las bajas temperaturas a las plantas, pero se puede concluir que el interior de las células pierde

agua, lo cual influye en la actividad metabólica normal, con una manifestación macroscópica de necrosis del tejido. Este daño está influido por temperatura y tiempo de exposición, velocidad de congelación y descongelación de los tejidos, agua de reserva, nutrición, aclimatación y edad de la planta.

La defensa contra las heladas se puede hacer por control indirecto, o sea evitándolas mediante una adecuada selección de la zona, época y clase de cultivo; o por un procedimiento directo combatiendo su efecto por medio de cubiertas, nieblas artificiales, ventiladores, aspersión de agua, uso de calentadores del aire o recolectando rápidamente la cosecha.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALVARADO E., L.F. Selección de papas resistentes a heladas en estado de plántula. Rev. ICA (Colombia) v. 8 no. 1, p. 15-29. 1973.
2. —————; ESTRADA, N.; RIVEROS, G. Selección de papas resistentes a heladas en estado de plántula. En: Seminario Anual de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, 5. Bogotá, COMALFI, 1973. p. 41-42.
3. ARTUNDUAGA S., I.R. Evaluación física y económica de las pérdidas en maíz por efecto de las heladas en el altiplano de Cundinamarca. Bogotá, ICA, 1976. 27 p.
4. —————. Evaluación física y económica de las pérdidas agropecuarias por efecto de las heladas de diciembre de 1976 y enero de 1977 en los altiplanos de Cundinamarca y Boyacá. Bogotá, ICA, 1977. 153 p.
5. BALDION S., J.V.; CEPEDA Q., J.I. Obtención de un modelo de previsión para biotemperaturas limitantes en el Valle seco de Tunja. Tunja, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 1977. (Tesis de Grado).
6. BARTA, A.L.; HODGES, H.F. Characterization of photosynthesis in cold hardening winter wheat. Crop Sci. (EE.UU.) v. 10 no. 5, p. 535-538. 1970.
7. BURGOS, J.J. Adversidades del Tiempo. Heladas. IDIA (Argentina) no. 214, p. 18-85. 1965.
8. CAMARGO, A.P.; ORTALINI, A.A. Gerrador de neblina antigeadas, Modelo IAC-7. En: Adaptável ad escape de veiculos rurais. Bragantia (Brasil) v. 20 no. 2, p. 43-49. 1964.
9. —————; SOLATI, T. Determinación de la temperatura letal para hojas de café en noches de heladas. Café (Perú) v. 8 no. 3, p. 12-15. 1967.
10. COMISION NACIONAL DE FRUTICULTURA. Técnicas y medios para combatir las heladas. Tierra (México) v. 29 no. 12, p. 658-682-685. 1974.
11. CHANDLER, W.H. Cold resistance in horticultural plant. A review. Proc. Am.Soc. Hort. Sci. (EE.UU.) v. 64, p. 552-572. 1954.
12. DIAZ, A. El maíz. Calendario agrícola para el cultivo del maíz en las zonas tropicales ausentes de heladas. Tierra (México) v. 29 no. 7, p. 331-334. 1974.
13. GARCIA P., L. DE. Las Heladas: Diez temas sobre el clima. España, Ministerio de Agricultura, 1967. p. 11-30.

14. —————. Las Heladas. Rev. Nal. Agr. (Colombia) v. 63 no. 769, p. 44-48. 1970.
15. HUMBERT, R.P. Caña de Azúcar. Pérdidas por heladas. Bol. Agr. (Colombia) no. 630, p. 13.120-13.214. 1973.
16. IRVING, R.M.; LANPHEAR, F.O. Regulation of cold hardiness in *Acer negundo*. Plant Physiol. (EE.UU.) v. 43 no. 1, p. 9-13. 1968.
17. —————. Characterization and role of an endogenous inhibitor in the induction of cold hardiness in *Acer negundo*. Plant Physiol. (EE.UU.) v. 44 no. 6, p. 801-805. 1969.
18. JARAMILLO H., E. DE.; RIVEROS, G. Relación entre resistencia de papa a heladas y diferencias cualitativas en proteínas. Bogotá, Programa de Estudios para Graduados Universidad Nacional de Colombia - ICA, 1973. (Tesis Magister Scientiae).
19. LEITE, N.B.; FERREIRA, M.; GUTIERREZ, N. Efecto de geadas sobre diversas especies procedencias de *Eucalyptus* spp. introducidas na Região Sta. Carolina. Instituto de Pesquisas e estudos florestales (Brasil) no. 7, p. 101-114. 1973.
20. LEVITT, J. Winter hardiness of plant. En: Cryobiology. Ed. by H.T. Meryman. New York, Academic Press, 1966. p. 495-563.
21. LINDOW, S.E.; ARNY, D.C.; UPPER, C.D. Increased frost sensitivity in corn by leaf blight infections. Plant. Dis. Rept. (EE.UU.) v. 48, p. 815-816. 1975.
22. —————; ARNY, D.C.; UPPER, C.D. Increased frost sensitivity of maize in the presence of *Pseudomonas syringae*. Am. Phytopath. Soc. Proc. (EE.UU.) v. 2 no. 57. 1975.
23. —————; ARNY, D.C.; UPPER, C.D. Bacterial nuclei as incitants of warm temperature frost damage. Am. Phytopath. Soc. Proc. (EE.UU.) v. 3 no. 224. 1976. (abst.).
24. —————; ARNY, D.C.; UPPER, C.D. *Erwinia herbicola*: a bacterial ice nucleus active in increasing frost injury to corn. Am. Phytopath. Soc. Proc. (EE.UU.) v. 68, p. 523-528. 1978.
25. LORENTE, S.M. Meteorología. 4a. ed. Barcelona, Labor, 1961. p. 15-18, 79-80.
26. MANTERO, J.M. Defensa cotnra las heladas. Madrid, Ministerio de Aire, Subsecretaría de Aviación Civil, Servicio Meteorológico Nacional, 1969. 136 p.
27. MONSERGAS, A.F. Lucha contra heladas en plantaciones frutales. Zaragoza, 1968. p. 1-37. (Cuaderno no. 3).
28. OLIEN, C.R. Preliminary classification of poly saccharide freezing inhibitors. Crop. Sci. (EE.UU.) v. 7 no. 2, p. 156-157. 1967.
29. SARASOLA, D.A. Efecto de las heladas en las plantas. En: Fitopatología, Curso moderno. Buenos Aires, 1975. p. 3-21.
30. SEARLE, S.A. Enviroment and plant life. London, Faber and Faber, 1973. p. 145-158.
31. WANG, J. Agricultural Meteorology. Wisconsin, Pocemaker Press, 1963. p. 546-577.
32. VALLI, V.J. Principios básicos relativos a ocurrencia de geadas e sua prevencao. Río de Janeiro, Ministerio de Agricultura, 1972. 22 p.