

Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

## **Climatología y Fenología Agrícola**

**Actualización del Apunte de Climatología y Fenología Agrícolas del CEA  
1979, basado en las clases teóricas del Ing. Agr. Edmundo Damario**

**Contenidos teóricos**

**Unidad temática F**

**PRINCIPALES ADVERSIDADES AGRÍCOLAS DEL TIEMPO Y EL CLIMA**

**Profesora Titular: Ing. Agr. Susana Martínez  
Profesora Adjunta: Dra. Ing. Agr. Mariana Garbi**

2020

*Agradecimiento: A la Ing. Agr. Marina Raggio por su aporte en la transcripción de los textos originales.*

## **PRINCIPALES ADVERSIDADES AGRICOLAS DEL TIEMPO Y EL CLIMA**

### **HELADAS**

#### **LA HELADA COMO FENOMENO AGROCLIMATICO**

##### **Concepto agroclimático de helada**

El fenómeno de helada como contingencia agrícola ocurre cuando la temperatura del aire desciende a temperaturas tan bajas que producen la muerte de las plantas; es decir, cuando se produce la muerte de los tejidos vegetales por efecto del frío.

Esta definición, tan satisfactoria desde un punto de vista agrícola o agronómica, resulta muy compleja cuando se considera el fenómeno como forma climática, meteorológica o simplemente geográfica. En ella interviene un aspecto biológico muy variable, independiente de las condiciones atmosféricas, como es la presencia de especies y variedades con diferente sensibilidad a las bajas temperaturas. Además aún dentro de la misma especie o variedad, el daño ocasionado puede resultar distinto por la influencia de otros elementos del tiempo, que acompañan a las bajas temperaturas, y por otras causas, como el estado sanitario y fenológico de las plantas, etc.

Debido a estas razones, la caracterización agroclimática de las heladas, por los efectos biológicos que ocasionan, puede tener valor práctico local, pero no permite generalizar geográficamente para grandes regiones, que requieren un análisis más elemental.

A lo expuesto se debe que, en la gran mayoría de los estudios agroclimáticos realizados sobre heladas, se considera como heladas la ocurrencia de temperaturas iguales o inferiores a 0 °C en el abrigo meteorológico a 1,50 metros de altura sobre el suelo, independientemente de su duración e intensidad. Se debe considerar por otra parte, que las relaciones locales entre la temperatura mínima en abrigo carecen de valor de generalización geográfico, por cuanto, por su dependencia altamente microclimática, pueden variar a los metros de distancia. Se puede afirmar, así que si bien el nivel térmico de 0° C, en abrigo meteorológico no coincide en todos los casos con la ocurrencia de daños, constituye, no obstante, una medida relativa de los mismos, aceptable para los fines prácticos, sobre todo cuando se trata de las estadísticas de las heladas primaverales y otoñales.

Además el registro de temperaturas mínima diaria por debajo de ese nivel, que expresa la intensidad de las heladas, es a la vez la característica climatológica de las mismas de que puede disponerse sobre las mayores extensiones geográficas.

##### **Caracterización agroclimática de las heladas**

Las estadísticas y los estudios climáticos que existen sobre las heladas, no siempre se han hecho con criterio agronómico, a pesar de constituir estas un fenómeno esencialmente agro-meteorológico. Son frecuentes los valores climáticos que incluyen datos sobre las heladas, como la frecuencia media mensual y anual de este fenómeno (o del registro de temperaturas mínimas iguales o inferiores a 0 °C). En otros casos, la mención de la mínima absoluta puede significar la magnitud de los fríos extremos de una localidad aunque, con alguna frecuencia lamentablemente no se mencionan las probabilidades de su ocurrencia.

Sin embargo, por ser la agricultura una actividad estacional y de riesgo, no puede utilizarse valores tan generales y poco adecuados como los mencionados. El estudio agroclimático de las heladas debería determinar su régimen en función de:

- Época de ocurrencia
- Intensidad
- Duración
- Tipo genético
- Frecuencia

Las estaciones meteorológicas comunes no proporcionan la información necesaria para un estudio como el propuesto. No obstante, las observaciones realizadas en casi todos los países del mundo y en la Argentina, permiten un adecuado conocimiento del régimen en lo concerniente a época de ocurrencia e intensidad.

Considerando la época en que ocurren fríos dañinos para la vegetación se pueden diferenciar las heladas en:

- Primaverales
- Otoñales
- Estivales
- Invernales

Las heladas primaverales (o últimas) y otoñales (o primeras) deben caracterizarse más por la época o fecha de ocurrencia que por su intensidad. No porque esta última carezca de importancia en la expresión de los daños, sino debido a que pequeñas diferencias en la época de ocurrencia de una misma temperatura bajo 0 °C puede sorprender a las plantas en sus momentos de mayor o menor sensibilidad a aquellas y por lo tanto ocasionar o no perjuicios.

En el régimen de heladas invernales, por el contrario, interesa más la intensidad que el detalle de la fecha del fenómeno. En este caso, la diferencia de fecha en la ocurrencia de fríos dañinos no tiene mayores consecuencias, porque la resistencia a los fríos durante la estación es muy estable en cada especie vegetal. En cambio, la resistencia a los fríos más intensos del invierno es una característica bien definida en cada especie o variedad perenne, que determina el límite crítico de su vida.

Como heladas estivales deben considerarse, especialmente en la República Argentina, aquellas que, en regiones con período libre de heladas amplio, ocurren en los meses de verano. En general, en tales regiones estas heladas resultan de poca frecuencia por lo que agruparlas con las heladas primaverales y otoñales resulta artificial.

### **Fechas medias de primera y últimas heladas**

Para estudiar las épocas de las heladas se debe establecer cuáles son las fechas medias de primeras y últimas heladas. Para su determinación es necesario disponer de un registro meteorológico de muchos años de extensión. De cada año del registro se sacan las fechas de primeras y últimas temperaturas mínimas iguales o inferiores a 0 °C, promediando por separado las fechas primeras y últimas se obtiene los valores buscados.

El período de tiempo en días que va desde la fecha media de primera helada a la fecha media de última helada se conoce con el nombre de período medio con heladas. A la inversa el lapso (en días), que va desde la fecha media de última helada a la fecha media de primera recibe el nombre de período medio

sin heladas o estación de cultivo. Dos localidades pueden tener las mismas fechas medias de primeras o últimas heladas, pero distinta variabilidad anual de los datos acerca del promedio.

Por Ejemplo: en la localidad B, las primeras y últimas heladas de cada año ocurren en fechas muy parecidas, con poca dispersión alrededor del valor medio o promedio. Lo contrario sucede en la localidad A. Por ello es necesario, además de las fechas medias dar algún índice de variabilidad estadística, como la desviación típica.

### **Peligrosidad de las heladas primaverales y otoñales**

Aunque la simple referencia de las fechas medias de primera y última helada, y del período libre de heladas o la de sus diferentes niveles de probabilidad constituyen apreciaciones del peligro relativo que revisten para la vegetación, algunos autores observaron que tales valores absolutos no son del todo determinantes de ese carácter.

J.J. Burgos trató de integrar, en un valor numérico, el peligro de las últimas y primeras heladas vinculando el valor medio de la fecha de ocurrencia, su dispersión y el estado de evolución de las plantas; desarrollando el Índice Crioquindinoscópico (del griego: Crio = frío; Kíndinos = peligro).

La brotación y floración de las plantas perennes y el nacimiento o aparición de las plantitas sobre el suelo en las anuales y vivaces, indican en primavera el comienzo de una gran sensibilidad al frío y por lo tanto, de una susceptibilidad a las heladas tardías que tienden a aumentar con el avance de la estación. De igual modo los fríos prematuros pueden interrumpir bruscamente el proceso de maduración de frutos o de las ramitas y yemas del año, de cuyo conjunto depende la producción del próximo año. Si bien el estado de evolución de estos procesos o fases resulta de la interacción de diferentes elementos del ambiente aún no bien conocidos, se puede afirmar que la marcha anual de la temperatura es uno de los reguladores más importantes. Así, las heladas de primavera o tardías, serán tanto o más peligrosas cuanto más adelantadas se encuentren los procesos referidos, y las heladas de otoño o primavera, cuanto más impidan la maduración natural de frutos o ramitas y yemas, y la caída espontánea de las hojas.

Para dar el índice un carácter agrícola (económico), estimó un riesgo de pérdida por helada que resultará aceptable, considerando la probabilidad del 20%. Riesgos mayores de pérdidas de cosechas, que el de un año cada cinco, solo resultan prudentes cuando los beneficios económicos que significan son muy superiores a los que pueden estimarse como normales o corrientes.

Así, por índice criokindinoscópico (ICK) de las últimas heladas se considera a la temperatura normal del aire en la fecha después de la cual será probable que ocurran heladas en un año de cada cinco. Igualmente como índice de ICK, de las primeras heladas se considera a la temperatura normal del aire en la fecha antes de la cual es probable que ocurran heladas en un año de cada cinco.

En la forma descripta, la peligrosidad de las últimas y primeras heladas quedaría expresada por una magnitud de la temperatura normal del aire. Cuanto mayor resulte el ICK, tanto mayor será el daño que ocasionarán esas heladas, sobre todo si las demás condiciones climáticas como intensidad de frío invernal, y período libre de heladas que también influyen en el proceso fenológico de las plantas, son similares.

No obstante la ventaja que significa la apreciación de los riesgos de heladas por los índices ICK de la primera y última helada, sobre los valores directos de las fechas medias, se deben señalar algunas de las limitaciones que se tendrán en cuenta en el uso de los valores absolutos.

La magnitud de los ICK de la primera y última helada depende, como se dijo anteriormente, en gran parte de la dispersión que observan esos valores, es decir, que una mayor dispersión dará índices de mayor valor. Además, hay que considerar esta dispersión como una interacción de la variación asincrónica de la temperatura (variación de la temperatura sin periodicidad regular, debido al pasaje de perturbaciones atmosféricas), de su amplitud diaria de variación y de la tensión térmica: o sea el incremento o disminución media diaria de la temperatura en la época de las primeras o últimas heladas.

En climas con una gran variación asincrónica de la temperatura el ICK tenderá a exponer valores mayores que en los climas de poca variación. Los climas de gran variación diaria de la temperatura, como son en general los áridos, mostrarán índices mayores que los de pequeña variación como la mayor parte de los climas húmedos; y los que tienen una gran amplitud anual de variación de la temperatura, como la del interior de los continentes, que observan una gran tensión térmica en otoño y primavera, tendrán índices mayores que los de poca amplitud o tensión térmica como las de localidades próximas al mar. En términos muy generales puede afirmarse que la variación aperiódica de la temperatura adelanta los procesos fenológicos, particularmente en especies con poca exigencia en frío invernal, porque al ser satisfechas estas exigencias con los primeros fríos, los ascensos térmicos estimulan enseguida su actividad. En tal forma, y sobre todo para las especies de referencia, el índice ICK, tendría una real significancia.

En el caso de especies de gran exigencia en frío invernal este índice conserva el mismo sentido sólo en climas continentales, cuando tales exigencias están plenamente satisfechas y su actividad primaveral resulta, por ello, libremente estimulada por las temperaturas de la estación. En cambio, la gran variación diaria de la temperatura, característica de climas secos y continentales que tienden a elevar el valor de los ICK de las heladas primaverales y otoñales, produce paralelamente un retraso en la actividad vegetativa. En estos casos, las magnitudes relativamente mayores de los índices CK no significan una mayor peligrosidad que los mismos valores registrados en climas marítimos y húmedos.

### **Peligrosidad de las heladas invernales**

Análogamente, se puede fijar un criterio de peligrosidad para las heladas o fríos invernales, pero es necesario tener en cuenta la diferente modalidad de resistencia que para este tipo de heladas presentan las especies vegetales. Estas heladas afectan principalmente, y en forma general, a las especies perennes en algunas regiones y a las anuales o bianuales de cultivo invernal. Dentro del primer tipo de especies se encuentran todas forestales espontáneas o cultivadas y todas las frutales. Entre las anuales o bianuales pueden mencionarse algunas especies de elevada resistencia al frío, que se cultivan en climas templados: cereales de invierno, coles, espinacas, etc.; y cultivos menos resistentes realizados durante el invierno en regiones tropicales y extra tropicales: papa, tomate, hortalizas de primicia, etc. En este caso, la época de ocurrencia cede en importancia a la intensidad del frío porque la resistencia de las plantas es más constante en invierno con el avance del tiempo, y la temperatura normal del aire se halla estabilizada en los valores más bajos del año. De ahí, que la expresión de la peligrosidad de estos fríos resulte más simple que las anteriores, y puede obtenerse combinando la intensidad de las mismas con su probabilidad.

Para las especies perennes puede considerarse como ICK de los fríos invernales, a la temperatura mínima anual, que debe esperarse con una probabilidad del 5%. Es decir para los cultivos perennes se estima como riesgo aceptable el que se produzcan mínimas iguales o inferiores a las temperaturas críticas de vida, para este tipo de plantas una vez cada 20 años. Un período de esta naturaleza, libre de fríos críticos, asegura la implantación y el usufructo razonable de la mayoría de las especies perennes cultivadas. Para las especies anuales de cultivo invernal, cuya implantación es menos costosa que la de perenne, puede considerarse práctico un riesgo mayor de daño. Aquí, como en el caso de las últimas y primeras heladas, que solo afectan la cosecha del año, puede proponerse razonablemente una

probabilidad del 20% como una seguridad extrema adecuada. Es decir, como ICK de los fríos invernales para especies anuales de cultivo invernal, se considera a la temperatura mínima anual más baja que se produce en un año de cada cinco.

## **La helada como fenómeno meteorológico**

### **Factores físicos en la ocurrencia de heladas**

La ocurrencia de heladas responde a la acción de distintos factores del medio físico que pueden separarse, para su mayor estudio, en dos grupos según la magnitud del proceso atmosférico que afecta: uno de los factores macrometeorológicos y otros de factores micrometeorológicos.

Los factores macrometeorológicos determinan el proceso del tiempo que generan las heladas y contribuyen a definir la época de ocurrencia, la extensión del fenómeno y sus tipos genéticos; los factores micrometeorológicos, en cambio, son los elementos físicos locales que influyen en gran parte en la intensidad, duración y magnitud de los daños por helada.

El conocimiento de ambos aspectos es de la mayor importancia agrometeorológica. El primero de ellos ayuda a interpretar el régimen agroclimático de las heladas, descrito anteriormente, y constituye un valioso elemento en el pronóstico; el segundo, que puede servir para el ajuste práctico y de los pronósticos, resulta indispensable en lo más importante que tiene este problema que es la aplicación racional de los métodos de prevención y lucha de esta adversidad de la agricultura.

### **Factores macrometeorológicos de las heladas**

Se destacan dos, en una acción combinada: el balance calórico regional de la radiación y la circulación general de la atmósfera.

El balance negativo de la radiación, que se establece durante la noche y en latitudes extratropicales durante los meses en que el período nocturno tiene más duración que el diurno, constituye una de las causas del descenso diario y anual de la temperatura en que es frecuente la formación y ocurrencia de las heladas. Las heladas dañinas extemporáneas que ocurren en épocas del año en que los días empiezan a insinuarse como más largos que las noches, se deben por otras causas, a la anulación de los débiles balances positivos locales propios de la época.

Teniendo en cuenta la influencia de los elementos irregulares propios de la superficie terrestre sobre el balance de radiación, si esa fuera la única causa de la ocurrencia de las heladas, el fenómeno presentaría una variación irregular en el espacio pero una gran irregularidad en el tiempo cronológico. De este modo el adecuado conocimiento actual de las leyes que gobiernan la radiación solar y terrestre, tornaría fácil el problema de prever las variaciones de la temperatura, y por lo tanto, la ocurrencia e intensidad de las heladas.

Sin embargo, la falta de regularidad cronológica es lo que da a las heladas el carácter de riesgo para la agricultura y lo que obliga a la planificación de esta sobre una base agroclimática regional. Tal característica está ligada a otro factor del tiempo y del clima más variable que el balance regional de la radiación, como es la circulación general de la atmósfera.

## Tipos de heladas

Existen diferentes tipos de heladas por los diferentes efectos visuales que producen: heladas blancas y heladas negras o por cómo se genera el fenómeno: heladas de advección, radiación y mixtas.

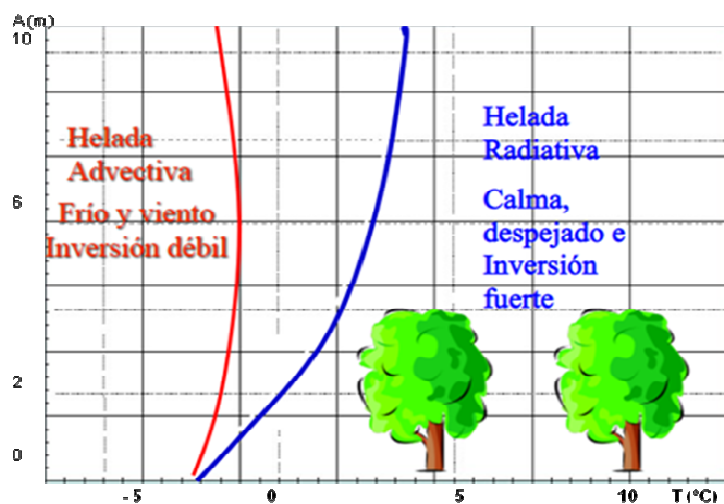
### Heladas de advección

Son las provocadas por una invasión de aire con temperaturas muy frías, lo que es frecuente en las regiones continentales o en algunas zonas marítimas del HN. Allí, las regiones árticas o las extensas porciones continentales subárticas originan masas de aire muy frío (masas de aire polares árticas o polares continentales) que incursionan en regiones de más bajas latitudes, ocasionando este tipo de heladas en los territorios que alcanza. Por tal condición gran parte de la superficie del suelo, sobre todo las regiones a cierta altura, quedan con temperatura congelante por uno o varios días consecutivos, provocando serios daños a la agricultura.

El vocablo popular inglés "freeze" se refiere a este tipo de heladas. Las heladas advectivas no presenta inversión de la temperatura, su variación con la altura es normal. La temperatura del suelo es superior al de la altura y por lo tanto no puede haber inversión. La nubosidad no tiene influencia sobre ella. La extensión de estas heladas es muy grande pudiendo alcanzar a varios miles de kilómetros.

### Heladas de radiación

Es aquella que ocurre exclusivamente como consecuencia del balance de radiación negativa. La inversión de la temperatura en el aire cercano al suelo, es otra característica esencial de las heladas por radiación. Por encima de la capa invertida recupera la temperatura su gradiente normal, o sea disminuye con la altura. El cielo permanece despejado y el aire seco. Los mayores daños se producen en las partes bajas del relieve del suelo; en las altas los daños resultan menores o nulos.



Fuente: adaptado de Murphy y Hurtado (Eds).  
Agrometeorología. 2013.

### Heladas mixtas

Pueden ocurrir por una combinación de la helada por advección y la helada por radiación. Es decir, que primero el empuje de un aire frío lleve las condiciones a términos tales de balance de radiación que produzcan temperaturas dañinas para la vegetación hasta límites críticos o sea por debajo de cero grado. Luego el balance negativo nocturno lo disminuye hasta producir daños.

### Heladas blancas y negras

La designación de estos tipos no obedece, como los anteriores a su génesis, sino simplemente a la observación de los efectos visuales producidos al ocurrir el fenómeno, y se relaciona más con los factores micrometeorológicos que con los macrometeorológicos. Sin embargo, las consecuencias agrícolas de este tipo de heladas cuando la intensidad y duración son de igual magnitud, justifican el distinguo que de ellas hace el agricultor, quien atribuye mayor daño o peligrosidad a las heladas negras.

La helada blanca o escarcha, observación meteorológica corriente, corresponde al "frost" inglés. Ocurre cuando se forma hielo cristalino sobre las superficies de las plantas y objetos expuestos libremente a la radiación nocturna, cuando la temperatura desciende a 0 °C. La helada negra (black frost) es, en cambio, un fenómeno que ocurre cuando el descenso térmico por debajo de 0 °C no va acompañado de formación de hielo. Su designación obedece al color negrozco que adquiere, al día siguiente de la helada, los órganos verdes y tiernos de los vegetales.

La diferencia física dentro de estos dos tipos de heladas radica en los efectos de una distinta combinación entre el estado hídrico de la masa de aire, presente en la región afectada, y la temperatura mínima registrada inferior a 0 °C. Las masas de aire húmedo producen en general heladas blancas y las de aire seco heladas negras.

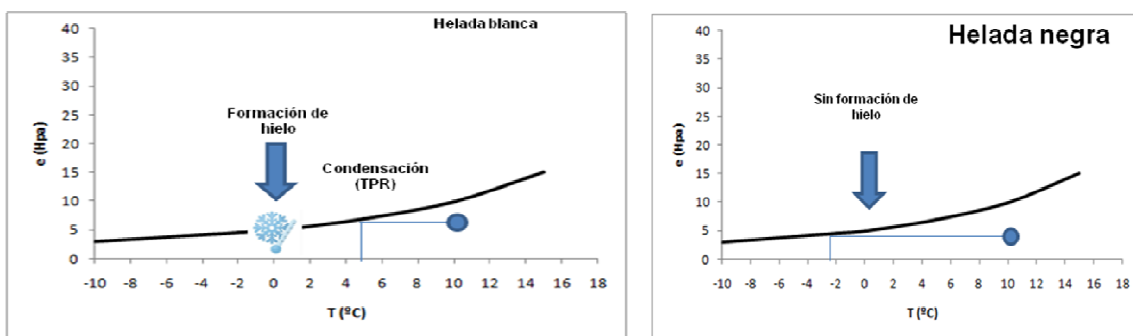


Diagrama de saturación del vapor de agua y ocurrencia de helada blanca y helada negra, en los que se registró una misma temperatura mínima pero con diferentes contenidos de vapor de agua en la atmósfera. En el segundo caso el vapor de agua es tan escaso que a pesar del enfriamiento nocturno no llega al punto de saturación.

Los estados del tiempo que se caracterizan por aire calmó y cielo despejado son, en cierto modo, favorables para la formación de heladas blancas. Las condiciones de perfecta radiación intensifican el enfriamiento, y la gran estabilidad del aire contribuye a una mayor concentración del vapor de agua en la capa de aire cercana al suelo, por la ausencia de difusión turbulenta del mismo y la proximidad de la superficie de evapotranspiración. Por el contrario el cielo cubierto o semi-cubierto, o la turbulencia en la capa baja de la atmósfera favorecen a la formación de heladas negras. El cielo cubierto disminuye la intensidad del enfriamiento nocturno y la turbulencia tiende a disminuir la concentración del vapor de agua en la vecindad del suelo.

No obstante la nítida diferencia teórica entre los dos tipos de heladas, en la práctica resulta difícil establecer con exactitud su límite, si no se conocen los valores de los elementos meteorológicos que determinan el fenómeno, pues existe una numerosa graduación de casos entre aquellos en que, de los objetos expuestos a la radiación una tenue deposición de muy pequeños cristales es apenas perceptible y aquellos otros en que una abundante formación de escarcha torna inconfundible la ocurrencia de la helada blanca. Ello se debe a la gran variedad de combinaciones entre el estado higrométrico del aire, las temperaturas mínimas de las plantas, la ventilación, la dificultad de distinguir el hielo proveniente del goteo de transpiración de las plantas del de condensación y sublimación del vapor de agua de la atmósfera, otros factores micrometeorológicos que influye en estos tipos de heladas.

La observación empírica de los agricultores de que las heladas negras causan más daños que las heladas blancas tiene cierta justificación en la realidad. La observación de la helada negra, esencialmente agrícola, significa invariablemente daños en la vegetación, mientras que cuando ocurren heladas blancas no siempre se producen daños en estas.



El hecho se explica, teóricamente, porque durante el proceso de condensación o sublimación del vapor de agua se libera una considerable cantidad de energía: aproximadamente 600 calorías por gramo de agua condensada, a la que la congelación posterior agrega 80 calorías por gramo de agua congelada. Este calor es cedido en gran parte a los órganos vegetales en contacto con el rocío o la escarcha, que de esta forma mantienen su propia temperatura próxima a 0 °C, pero sin helarse mientras ocurre el proceso de cambio de estado del agua. El resto de la energía es cedido a la atmósfera en su capa más cercana al suelo, por lo que el descenso térmico del aire es comparativamente más lento en el caso de una helada blanca que en el término de una helada negra. Sin embargo, cuando la temperatura desciende lo suficiente como para que los aportes de calor por condensación, congelación y sublimación se tornen insuficientes para detener la congelación de los tejidos vegetales, también estas heladas blancas puedan ocasionar daños importantes a las plantas cultivadas.

### **Factores micrometeorológicos en la formación de las heladas**

Toda vez que las condiciones macrometeorológicas son determinantes de heladas dañinas, un conjunto de factores micrometeorológicos contribuye a dar al fenómeno sus características locales. Estas características, y el conocimiento de sus causas resultan de gran importancia en el empleo de los diferentes métodos de lucha contra esta adversidad y puede ser además elemento de valor en la previsión de su intensidad y de sus daños.

En forma similar a los factores macrometeorológicos analizados anteriormente, los factores micrometeorológicos pueden reunirse, según el proceso atmosférico que afectan, en dos grupos. En primer lugar, los que contribuyen a determinar el balance calórico local y en segundo término los que originan o modifican la circulación del aire frío en la capa de la atmósfera cercana al suelo y que, sin configurar un típico proceso advectivo, determinan en parte las condiciones térmicas locales por el aporte de estas condiciones que acompañan al aire extraño.

### **Características locales de la masa de aire que determinan la radiación nocturna**

Ya se mencionó anteriormente la importancia del tipo de masa de aire y de su contenido en humedad, y de la nubosidad en el balance calórico regional como factor macrometeorológico en la formación de las heladas. Sin embargo, a nivel micrometeorológico, debe señalarse el efecto que ejercen las características de la columna de aire sobrepuesta a una localización dada sobre el balance calórico nocturno.

La radiación terrestre efectiva o radiación neta, que depende en gran parte de las condiciones referidas, puede observarse con equipos de medición de balance de radiación no comunes en la observación meteorológica corriente, pero también puede estimarse por medio de fórmulas basadas en el efecto de los elementos meteorológicos que inciden en ese balance.

Para ellos si se tiene en cuenta que la radiación nocturna del suelo es como la de un radiador gris, es decir, algo menor que la de un cuerpo negro, según la fórmula de Stefan-Bohzman será:  $S = E \cdot T^{4\sigma}$ , siendo  $E$  = coeficiente de emisión de onda larga del suelo (en arena blanca = 0,89; superficie libre de agua = 0,92; bosque de coníferas = 0,96; nieve = 0,99);  $T$  = temperatura absoluta de la superficie del suelo;  $\sigma = 8,13 \times 10^{-11} \text{ cal.cm}^{-2}.\text{grado}^{-4} \text{ min}^{-1}$ .

Esta radiación es aminorada en sus valores absolutos por la contrarradiación atmosférica, que es función de la temperatura de la atmósfera y la tensión de vapor. Geiger estimó la radiación efectiva nocturna, conociendo el valor de la temperatura y la humedad del aire, dependiendo también del tipo de nube, su altura y la temperatura de su base.

## Viento, turbulencia e inversión térmica

El movimiento del aire en superficie constituye otra característica de la masa de aire, que tiene una gran importancia en la expresión de las heladas y que contribuye a caracterizarlas. El aire calmo favorece la estratificación del aire frío sobre el suelo que, pierde calor por la radiación durante la noche. En tales condiciones, el aire adquiere una gran estabilidad; y si se mide la temperatura a diferentes alturas, en lugares libres de vegetación, se observa invariablemente la formación de una inversión, es decir que los valores más bajos de la temperatura se concentran sobre el suelo o en su proximidad, y que después de ciertas alturas aquella comienza a disminuir con esta, según lo que es normal a su gradiente.

El viento, en cambio, al introducir movimientos turbulentos en la capa de aire cercana al suelo, determina la mezcla de aire entre sus diferentes estratos con el consiguiente efecto sobre sus propiedades térmicas. De tal manera, cuerpos de aire más calientes se introducen en los estratos inferiores más fríos, y los de éste pasan a los superiores conforme a la intensidad de la turbulencia. Este fenómeno, que se denomina pseudoconducción o difusión turbulenta del calor, se puede expresar por la fórmula:

$$\sigma = \frac{A \cdot dt}{dx}$$

Donde:      A = coeficiente de intercambio (variable entre 0,001 y 100)  
                  t = temperatura  
                  x = distancia vertical del intercambio

Este proceso constituye la forma más efectiva de transferencia o de transición de calor en el aire. Con turbulencia, la inversión es de menor intensidad, observándose en la capa baja de la atmósfera una tendencia hacia la isoterminia o hacia gradientes normales negativos. Por otra parte, como de este efecto resulta en los casos de inversiones nocturnas, una transferencia de calor desde cierta altura de las atmósferas hacia el suelo, otra consecuencia de la ventilación será la de aminorar el enfriamiento del último.

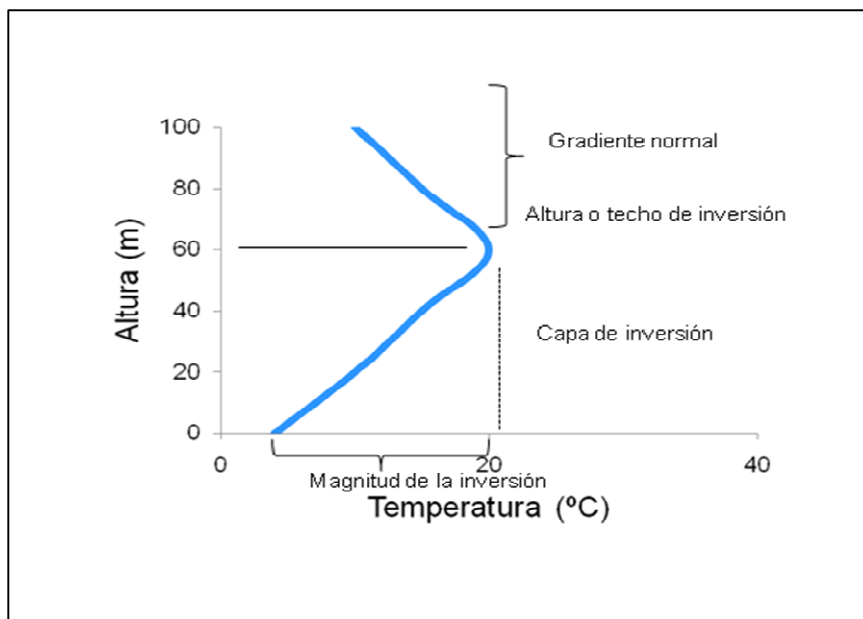
En el cuadro siguiente se presentan valores de enfriamiento del suelo (°C) en 10 horas, a partir de la puesta del sol (t = 11,5 °C y e = 5,8 mm de Hg), según dos coeficiente de intercambio (A) para distintas superficies.

	A = 0,01	A = 0,70
Granito	7,6	7,0
Arena limosa	10,9	9,6
Suelo húmido	12,5	10,9
Arena seca	13,6	11,2
Arena húmeda	16,2	13,5

La magnitud de la inversión es de mayor importancia en el estudio agrometeorológica de las heladas, sobre todo para una aplicación racional de los métodos de lucha.

El punto en que la temperatura comienza a descender, de acuerdo con su gradiente normal, varía según el tipo de helada o de inversión y se denomina techo de inversión. La altura del techo de las inversiones, en la capa baja de la atmósfera, se encuentra generalmente en los climas templados entre los 100 y 500 m.

Cuando no es posible hallar una altitud total absoluta, a los fines prácticos puede optarse por tener los valores de temperatura entre 1,50 m del abrigo, por ejemplo y 12 m de altura. Con esta diferencia térmica, se puede tener una magnitud aproximada a la inversión real. Una magnitud pequeña sería una diferencia de 3 °C entre 0 y 12 m de altura, y una inversión grande se expresa cuando esa diferencia alcanza a unos 8 °C, aproximadamente. Conocer la magnitud de la inversión es muy importante para poder aplicar correctamente los diferentes métodos de luchas entre las heladas.



Las características previas dadas para las inversiones en la capa baja de la atmósfera, tienen solo un valor de generalización, ya que las características de la superficie del suelo afectan a la distribución de la temperatura. Así, la presencia de vegetación natural o cultivada introduce la porción más baja de la misma y en contacto con ella una tendencia de isoterma. Por otra parte, en climas subtropicales, como en la India y en la Argentina, se han señalado anomalías en las inversiones nocturnas caracterizadas por hallarse la temperatura mínima a unas 20 o 30 cm del suelo, mientras que la capa adyacente y el suelo se mantenían a una mayor temperatura. Este hecho se ha explicado por la elevada estratificación del vapor de agua, que actuaría así, como superficie activa de radiación nocturna.

### Drenaje nocturno del aire frío

Las características del relieve del suelo y los accidentes de su superficie determinan la dirección e intensidad del flujo nocturno del aire frío, y constituyen un importante factor micrometeorológico de las heladas. Es necesario aquí diferenciar este efecto del viento o turbulencia que se indicó anteriormente. Si el suelo fuera llano y del todo homogéneo en su superficie, el enfriamiento nocturno originaría una inversión absolutamente estable y el aire permanecería inmóvil. No obstante, las pequeñas irregularidades del terreno, ya sean por su naturaleza o del relieve, determinan que el aire frío por su mayor densidad y peso se escurra a los niveles más bajos del mismo, estabilizándose donde el escurrimiento está impedido, para continuar allí su enfriamiento. Tener en cuenta que si el aire a  $-10\text{ °C}$  pesa 1,3 kg; el mismo volumen a  $+10\text{ °C}$  pesaría 1,2 kg.

Este escurrimiento que se produce sin alterar profundamente la estratificación del aire, y por lo tanto, de la inversión establecida, es el accidente de los bolsones de helada, en donde se registran las temperaturas más bajas cuando ocurre este fenómeno. El flujo del aire nocturno, por las causas que lo

determinan y a diferencia de los que puede ser el viento, ya tratado, constituye un factor local de las heladas, suficientemente fijo y permanente como para justificar el estudio de su régimen y su aplicación en la lucha contra el fenómeno.

### **Influencia del suelo en la expresión de las heladas**

Las condiciones físicas del suelo, que tanta variación pueden mostrar a corta distancia, constituyen un factor local de gran importancia en la manifestación de las heladas. Como tales deben considerarse tanto en las condiciones físicas permanentes, derivadas de su composición química, como las temporadas de su contenido en agua y aire.

Ya se mencionó anteriormente la importancia de la temperatura de la superficie del suelo en la intensidad de la pérdida de calor nocturno por radiación, según la ley de Stephan-Boltzman. Se debe agregar que el enfriamiento de la capa de aire cercana al suelo puede conservar su temperatura por la transferencia de calor desde capas más profundas. Una buena transferencia de calor en el suelo permitirá durante las horas diurnas, que se almacena en él una cantidad considerable de calor, que durante las horas nocturnas será devuelto hacia su superficie, y de ella, hacia la capa de aire adyacente también en una forma rápida y efectiva. Esta facilidad de transferencia depende de las constantes calóricas del suelo, específicas para cada o estados de agregación, y del contenido de humedad.

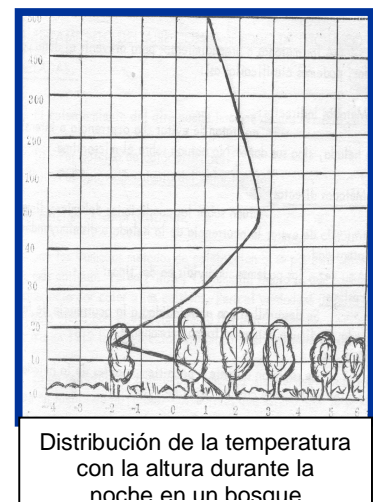
### **Influencia de la vegetación espontánea o cultivada**

Un factor microclimático importante en la formación o intensidad de las heladas, es el tipo de contacto entre la superficie del suelo y la capa de aire adyacente. Así, el contacto entre el suelo y la atmósfera se puede establecer directamente, a través de una superficie virtual sin espesor, como en el caso de suelos libremente expuestos sin vegetación o mediante un estrato intermedio de espesor variable, ocupado por vegetación de distinta densidad y altura según los casos.

En estos dos últimos, dos son los efectos principales que la vegetación puede ejercer. Uno es el de aumentar el espesor de la capa laminar de aire adyacente al suelo, en la cual la transformación de calor se hace exclusivamente por conductibilidad, es decir que levanta la capa rugosa del suelo, a partir de la cual comienza el predominio de la difusión turbulenta.

Si se considera el papel de la vegetación en la capa baja es fácil deducir la disminución del viento y los movimientos turbulentos del aire en el estado interferido por ella. En consecuencia, en las noches heladas, la introducción entre el suelo y la atmósfera de una capa aislante, de altura y eficacia determinada por la altura de la vegetación, impide que el calor del suelo difunda con rapidez en la capa baja de la atmósfera y determinan mínimas más intensas. Además, debe tenerse en cuenta que este mismo elemento durante el día impide la recepción de la radiación solar por el suelo y el almacenaje de calor del mismo.

El segundo efecto de la vegetación cultivada espontánea en la expresión de las heladas puede ser el efecto enfriante de la evaporación y transpiración de las plantas, cuando las mismas se hallan activas en el momento de producirse aquellas. Ya se ha mencionada el notable efecto de la evaporación en el balance calórico de la superficie terrestre, que en el aspecto microclimático tiene una gran importancia. La vegetación local además, intercepta la precipitación y favorece la condensación nocturna, que al evaporarse consume una cantidad considerable de energía ( $600 \text{ cal.g}^{-1}$ ).



nocturna, que al evaporarse

Por otra parte, la vegetación contribuye a facilitar la evaporación del agua edáfica. Ambos efectos, según los casos, pueden intensificar en enfriamiento nocturno en la base de la inversión térmica formadas, que generalmente se ubica en el estrato superior de la capa de aire afectada por la vegetación.

Debe mencionarse el efecto enfriante de regiones pantanosas. Un pantano con mucha vegetación espontánea es prácticamente un foco de frío. El aire va a ser mucho más frío en noches de heladas en primer término, porque esa vegetación impide la recepción de energía solar por la superficie del agua y por lo tanto su calentamiento, y además hay alta evapotranspiración.

## **PREVENCION Y LUCHA CONTRA LAS HELADAS**

### **Métodos de lucha y prevención contra heladas**

**Métodos indirectos:** no tratan de evitar la ocurrencia o intensidad de la heladas, sino sus daños. No actúan sobre el microclima. Entre ellos se encuentran:

- Aumento de la resistencia vegetal
- Regulación del desarrollo vegetal
- Poda de formación – época de siembra, etc.

**Métodos directos:** actúan sobre las condiciones del microclima, tratando de evitar la ocurrencia de la helada o disminuyendo su intensidad. A su vez, los podemos subdividir en dos tipos:

Pasivos: se desarrollan con anterioridad a la ocurrencia de la helada, pueden actuar en forma permanente. Por ejemplo:

- Ubicación de cortinas forestales
- Manejo del suelo y coberturas
- Eliminación de focos de frío, etc.

Activos: se realizan durante o poco tiempo antes de la helada. Su acción desaparece cuando dejan de actuar. Por ejemplo:

- Calentamiento del aire
- Ventilación artificial
- Riego por aspersión
- Nieblas artificiales, etc.

## EL CALENTAMIENTO DEL AIRE COMO METODO DE LUCHA CONTRA LAS HELADAS

El calentamiento del aire puede hacerse de dos maneras:

- Por adición de calor artificial
- Por aprovechamiento del calor natural

### Por adición de calor artificial

Son los métodos de calefacción, y es el método más antiguo. Ya en Plinio y Columela (42 dC.) figura la quemazón de productos para dar calor a los cultivos, pero el verdadero impulso de este método viene con el descubrimiento del petróleo. Ya en 1912 la calefacción era un método corriente en USA. En un principio la calefacción consistía simplemente en quemar petróleo en tachos de hojalata. Los motivos que estimularon la producción de nuevos aparatos cada vez más eficientes fueron en primer término motivo de salubridad que determinaron se buscaran combustibles menores nocivos para las personas en sus humos o subproductos de combustión, y en segundo, con el descubrimiento de nuevos tipos de calefactores, estudiar aquellos que proporcionaron un mejor rendimiento. Hay diversos tipos de calefactores pudiendo agruparse en distintos tipos:

#### 1. Calefactores de petróleo y derivados líquidos

- Calefactores sin chimenea
- Calefactores con chimenea cilíndrica de combustión lenta
- Calefactores con chimenea a combustión forzada por ventilación
- Calefactores con chimenea a combustión forzada por presión de combustibles

#### 2. Calefacción a combustibles sólidos

#### 3. Otros métodos de calefacción

#### Calefactores de petróleo y derivados líquidos

##### Calefactores sin chimenea

Tacho de 20 a 25 l, lleno de petróleo sin refinar, produciéndose la combustión con lanzallamas de nafta incandescente. La combustión es muy turbulenta, con grandes proporciones de humo y hollín. Pueden tener una tapa o sombrerete, produciéndose la combustión hacia fuera o bien saliendo las llamas por los opérculos del sombrerete. Como combustible se usa petróleo o diesel-oil, o bien aceite usado de automóvil con diesel-oil, resultando un combustible bastante barato. Estos aparatos dan bastante rendimiento de calor de radiación, pudiendo colocarse distanciados 2 m entre sí, siendo necesario también cuidar la distancia a las plantas cercanas al calefactor.

##### Calefactores con chimenea cilíndricos de combustión lenta (chimenea fría)

Son recipientes troncocónicos de 30 a 35 l, en cuya tapa se fija una chimenea cilíndrica de 40 – 80 cm de altura. Sobre la tapa,



Fuente de la imagen: Moreno López, M. 2016. Diseño y construcción de un sistema de calefacción para huertas manzaneras, alimentado por pellets de aserrín. Tesis de doctorado. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C, Chihuahua.



Fuente de la imagen:  
[https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=150](https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=150)

un regulador de abertura variable permite mayor o menor entrada de aire al interior de la cámara de combustión. Como no tiene entrada de aire abundante, la combustión ocurre a la salida de la chimenea, hecho que se traduce en una menor temperatura en las partes superiores del calefactor y en una combustión más completa. Como la chimenea es fría su duración es prolongada, pero se llenan con frecuencia de hollín y no resultan tan económicos.

Una modificación de este tipo de calefactores es el de chimenea alta, es decir que se le agrega un segmento para llevarla a mayor altura (un metro), y que se aplica sobre todo para cultivos altos.

Hay algunas modificaciones funcionales de estos calefactores para adaptarlos a diferentes tipos de cultivos, por ejemplo para cultivos bajos como la vid resulta más adecuados los recipientes chatos. Como otra variante se encuentran modelos más rudimentarios que se utilizan en algunas regiones de Río Negro, donde simplemente se fuerza la combustión de tachos de gasoil o diesel-oil con chimeneas ad-hoc.

Estos calefactores tienen poca temperatura en sus estructuras metálicas, la combustión se produce fuera de ellos, formándose llama blanca con producción de hollín y humo, disminuyen el consumo de combustible y exigen cierta mano de obra para mantenerlos limpios.

### **Calefactores con chimenea a combustión forzada por ventilación**

Son calefactores cuyas chimeneas han sido modificadas en diversas formas. Una de ellas consiste en agregar al recipiente una chimenea troncocónica que opera como una cámara de combustión existiendo opérculos que permiten la entrada de aire; la combustión pone incandescente la chimenea y se alcanzan temperaturas superiores que con los calefactores descritos previamente. Producen una llama azul que significa una combustión bastante completa.

Una modificación es el calefactor diseñado en la Universidad de California, de combustión forzada con chimenea de retorno. Consta de un recipiente como el anterior, que lleva adosado una chimenea de retorno. La altura del aparato es de 1,80 m.

La chimenea tiene una porción troncocónica que opera como cámara de combustión, seguida de una chimenea sin ventilación, es decir, de tiraje. En el interior lleva un caño de fierro fundido que atraviesa la chimenea de escape saliendo al exterior para introducirse nuevamente a la cámara de combustión. Parte de los gases se introducen en el caño de retorno y vuelven a la superficie de combustión, activando la combustión y aumentando la temperatura, obteniéndose un gran rendimiento.

Como combustible utilizan diesel-oil, y en el de retorno incluso usan combustibles más pesados y baratos. Los calefactores de chimenea fría tenían un bajo consumo de 1,5 litros por hora, en cambio los de combustión forzada alcanzan los 3 litros por hora.

### **Calefactores con chimenea a combustión forzada por presión de combustible**

Es el sistema empleado en la industria y la calefacción hogareña, y ha sido llevado también a la agricultura. En ellos se provoca una presión autoinducida por gravedad del combustible, de manera que salga con cierta presión y que con una cámara de vaporización se puede llegar a una combustión completa y a un alto rendimiento calórico. Existen algunos prototipos que tienen los calefactores



Fuente de las imágenes: Moreno López, M. 2016. Diseño y construcción de un sistema de calefacción para huertas manzaneras, alimentado por pellets de aserrín. Tesis de doctorado. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C.

dispersos por el campo distribuidos en cañerías, alimentadas de petróleo desde un tanque central. Sin embargo, es impráctico pues con combustibles poco refinados se tapan las cañerías.

Otra clase de aparato de este tipo es la lámpara de Ferral, diseñada en la Universidad de Michigan, que tiene un mechero donde llega el combustible por presión con una bombita de un tanque alimentador que puede ser accionada eléctricamente. El combustible es quemado en una cámara de combustión de 1,50 m de altura por 2 m de ancho de acero inoxidable. Esta cámara se pone al rojo. Encima de ella hay un disco de aluminio pulido de 4 m de diámetro que actúa como si fuera un espejo que refleja hacia el suelo la radiación infrarroja proyectada hacia arriba desde la cámara de combustión. Todo el dispositivo está montado en un trípode de diferente altura según los cultivos a proteger. El rendimiento es óptimo y casi todo el calor es provisto por radiación, pudiendo proteger una sola unidad; una superficie de 600 metros cuadrados, siendo indicadas para protección de cultivos de mucho valor como los hortalizas y viveros. Usa combustibles livianos como el kerosene, y consume 40 litros por hora.

### **Calefactores a combustibles sólidos**

Se han desarrollado en Europa donde el petróleo siempre ha sido caro. Se usa desde el carbón de coque hasta la combustión de briquetas, como por ejemplo los desechos de la industria carbonífera mineral, impregnados con otros combustibles o también vegetales como madera y aserrín. Ya en 1896, en USA se hacía protección en montes de citrus en canastos de alambres con carbón de coque.

Se usan calefactores verticales, sin chimenea con un sombrero de ventilación. En la pared hay aberturas para facilitar la ventilación. En el interior se colocan las briquetas. Tienen las mismas restricciones que los calefactores sin chimenea.

### **Otros métodos de calefacción**

Puede usarse la calefacción con gas, con quemadores distribuidos en el campo con cañería central, alimentados con gas licuado. Otro método es la calefacción por radiación infrarroja, con lámparas infrarrojas distribuidas entre los árboles o la calefacción por debajo del suelo, como se practica en algunas construcciones agrícolas especiales, como invernáculos, camas calientes, etc. Son todas complicadas y antieconómicas.

### **Poder calorífico de los combustibles y eficiencia de calefacción**

En una noche de heladas, las mediciones hechas en varios países han permitido comprobar que la pérdida de calor es del orden de 0,10 a 0,15 cal.cm<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup>. Esta pérdida de energía significa aproximadamente 10 millones de gcal.ha<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> (600.000.000 gcal.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> ó 600.000 Kcal hora).

El gasoil tiene un calor de combustión aproximadamente de 10,5 Kcal.kg<sup>-1</sup>, lo que significa que la combustión perfecta de 60 litros produciría la energía necesaria para contrarrestar una pérdida en una hora de helada. Este valor se ve aumentado por una serie de causas, como el tipo de calefactor usado, el tipo de helada, etc.

La eficiencia de los métodos de calefacción artificial depende de dos factores:

- Eficiencia de los focos de calentamiento
- Eficiencia de los focos en relación con los distintos factores del ambiente



La determinación de la eficiencia propia de focos de calentamiento puede hacerse en laboratorio o en campo. En los laboratorios es más simple, pero requiere recursos instrumentales que no están siempre disponibles para determinar los rendimientos del calefactor en energía de radiación y convección. Al funcionar el calefactor, se calienta su estructura metálica y con un pirómetro se puede medir la temperatura de las partes expuestas y determinara la intensidad de radiación hacia el ambiente exterior, pero el aire que está en contacto con las paredes calientes se encuentra con aire muy frío en el exterior. Esta diferencia de temperatura y de densidad establece una corriente de aire hacia arriba que se enfría al alejarse del calefactor.

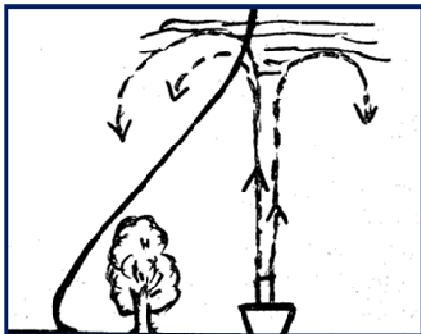
El calefactor tiene un efecto convectivo y radiativo. Trabaja en la parte baja de la inversión térmica, donde se encuentra con temperaturas muy frías, produciendo un desplazamiento de aire hacia arriba. Cuanto mayor es el contraste entre la superficie de calentamiento y el aire que la circunda, la intensidad de la corriente ascendente será mayor, hasta que por pérdida de temperatura se equilibra con el aire que la circunda. El segundo efecto de los calefactores es por el calor de radiación, que se emite con la velocidad de la luz y sin modificar las condiciones térmicas del medio que atraviesa. A su vez, ese calor calienta el aire que lo toca, que luego asciende y desciende por convección.

Un aspecto importante es conocer las cantidades de calor radiación y convección que producen los calefactores. Si se rodea un calefactor con instrumentos medidores, pudiendo apreciar el calor de radiación, por diferencias con el calor total puede obtenerse el calor de convección, considerando el que se pierde por combustión incompleta en los gases que salen hacia fuera. Analizando esos gases se puede estimar el calor perdido y hallar el verdadero calor de convección. El conocimiento de estos datos permite saber la efectividad de los calefactores frente a determinados tipos de heladas.

Las heladas se caracterizan por el tipo y la magnitud de la inversión, así en las heladas de poca inversión el aire caliente del calefactor va a ascender a una altura bastante superior para encontrar su equilibrio de densidad y temperatura. En contraposición, en una helada de gran inversión, el aire de convección se desplaza a menor altura, y el efecto de calentamiento va a ser mayor. En el primer caso se pierde una gran cantidad de calor en calentar las capas altas del aire.

Por lo tanto, para heladas de gran inversión pueden utilizarse calefactores que den poco calor por radiación, y mucho por convección porque el fenómeno de convección tiene esa característica de que va a calentar más cuando el techo esté cerca, entonces puede usarse el tipo de calefactor de chimenea fría. En el otro caso usar aparatos de gran rendimiento de calor de radiación que van a calentar directamente las plantas sin calentar el aire, que puede quedar debajo de 0 °C.

Inversión de poca magnitud  
Techo de inversión alto



El aire caliente tiene que ascender a más altura para encontrar el techo.  
Usar aparatos con gran rendimiento en calor por radiación, para que calienten directamente las plantas.

Inversión de mucha magnitud  
Techo de inversión bajo



El aire caliente alcanza antes el techo. Calentamiento por convección más eficiente.  
Usar aparatos con más rendimiento en calor por convección.

En general, los calefactores de superficie fría generan mucha convección y los de superficie caliente mucha radiación. Los calefactores de briquetas o de coque, son los que dan más calor por radiación, como también la lámpara de Farral.

Se mencionó que aproximadamente 60 l de gasoil son suficientes para contrarrestar en una hora el calor que se pierde en una noche de heladas, demostrándose en la práctica que son necesarias de 180 a 250 calefactores que tengan un rendimiento de 9.000 a 1000 kcal por hora.

Los calefactores de combustibles líquidos, de aceite viejo rinden 5.000 kcal por hora. Cuando se usa diesel-oil se eleva a 9.000 kcal por hora, y los calefactores de briquetas pueden llegar a las 10.000 kcal por hora.

Es muy importante, considerar el tipo y la forma del cultivo en la lucha contra las heladas con calefactores, así como el drenaje de aire frío nocturno. El drenaje de aire frío nocturno viene dado por el desplazamiento de masas frías por peso y densidad, según el relieve del terreno; y es aproximadamente constante. Generalmente, en las noches de helada, el viento viene de un lado fijo, siendo importante determinar de qué sector proviene el aire frío; debiendo colocar una mayor densidad de calefactores en la entrada de aire frío. La suma de todos los focos de calor con respecto a la zona fría circulante, hace que en el centro del terreno se genere un efecto de tiraje que se equilibra con una entrada de aire frío de los costados, debiendo reforzarse estos sectores. También debe considerarse el tipo el tipo de cultivo. Por ejemplo, en un monte de manzanos, no va a ser efectiva la protección mediante una lámpara Farral o con un calefactor de chimenea corta; haría falta uno de retorno o de chimenea larga y fría. En lo posible, generar superficies de radiación a la zona de planta a proteger (distancia mayor a 1,5 – 2 m, para no generar daños por calor). Si los calefactores se colocan entre hileras, es más probable que mayor número de plantas reciban el impacto del calor por radiación; mientras que entre las plantas lo recibiría la primera en tanto que las demás no tendrían ese beneficio.

### **Recomendaciones generales para el uso de calefactores**

Debe conocerse la temperatura mediante un termómetro colocado a la altura de las primeras flores y observar la velocidad del descenso térmico a partir de horas previas al inicio de la defensa. Comenzar el encendido en función de la sensibilidad de la planta, conforme su estado fenológico. Como ejemplo, en plena floración, la temperatura de daño es de  $-2^{\circ}\text{C}$  en manzano,  $-2,5^{\circ}\text{C}$  en peral y  $-3^{\circ}\text{C}$  en duraznero.

El encendido debe comenzar por los extremos de los lotes (S SO en Alto Valle), y luego continuar prendiendo fila por medio en el interior del monte. Continuar con el encendido en función de descenso térmico. Apagar los calefactores cuando aumenta la temperatura y se alcanza el mismo valor que se tomó para el encendido.

### **LA REMOCION DEL AIRE COMO METODO DE LUCHA**

Mediante la remoción del aire se logra romper mecánicamente la inversión. Originalmente, se pensó que al haber aire caliente arriba y frío abajo, modificando esa distribución se rompería la inversión. Las primeras experiencias hechas en Francia no dieron resultado. Posteriormente, Losching utilizó con éxito un ventilador, controlando sus experiencias con termómetros y registrando valores a diferentes alturas. En 1934, Moser en Austria y en USA, Thompson en 1937 y Noser en 1938, repitieron aquellas experiencias con bastante buen resultado. La guerra interrumpió las pruebas y recién



Fuente de la imagen: Beyá Marshall V. & Fichet Lagos, T. 2018. Factores a tomar en cuenta para optimizar el uso de hélices de viento. Red Agrícola. Disponible en: <https://www.redagricola.com/cl/factores-a-tomar-en-cuenta-para-optimizar-el-uso-de-helices-de-viento/>

después de 1950 se continuaron las investigaciones de estos medios mecánicos de lucha a raíz de que el petróleo era cada vez más caro. Hoy en día es uno de los métodos más utilizados, sobre todo en California, para la protección de montes cítricos en forma comercial.

En esencia se trata de poner un ventilador a la máxima altura posible, que nunca supere los 10 – 12 metros, y provocar un chorro de aire sobre la superficie, mezclando el aire caliente de arriba en el frío de abajo.

Al pretender mezclar un aire denso (frío) con otro menos denso (caliente), éste tiende a volver hacia arriba en busca de equilibrar su densidad. Experiencias realizadas en Australia permitieron comprobar que este estado se elimina provocando un estado de turbulencia que hace innecesario el envío de aire desde las capas superiores. El ventilador provoca un chorro de aire más o menos turbulento, cuya eficiencia dependerá de la potencia del motor en primer término. Se trata, en la práctica, que el chorro llegue a 20 – 25 m de la base del ventilador. En el recorrido del chorro se forman una cantidad de vórtices o remolinos que se van propagando a su vez por todo el estrato. Esa vorticidad es la que provoca la turbulencia. Si se hace girar el chorro, se tendrá toda un área de modificación térmica.

Así, hay dos efectos importantes: la entrada de una masa de aire de arriba hacia la superficie y la propagación de su turbulencia. Cada vértice del ventilador puede imaginarse como una burbuja de aire más caliente que las de la superficie. Esa burbuja tiene una fuente de origen que la manda hacia abajo, que es la que depende de la potencia del ventilador. Cuanto más grande es la burbuja, tanto mayor será la fuerza con que se proyecta. Por otro lado, está la fuerza de presión del aire frío que la empuja hacia arriba con una fuerza mayor, que es el efecto boyante  $f (r^3)$ . Esta última fuerza es la que se pretende vencer con el equipo. Con burbujas que no sean muy grandes y disminuyendo la turbulencia interna del chorro, la efectividad será mayor, lo que se logra haciendo circular el aire dentro de un tubo e intercalando el ventilador en su interior.

Las condiciones de efectividad del método de ventilación dependen en primer término del tipo de inversión establecida, del tipo de dispositivo usado y del tipo del cultivo a que se aplica. Cuando la inversión es mayor al sistema, es más efectivo. Los aparatos más útiles son los que proyectan chorros más pequeños y de mayor alcance. El tipo de cultivo influye por su rugosidad en la difusión de la turbulencia. Existen dos tipos de equipos: de eje horizontal y de eje vertical.

**Motoventiladores de eje horizontal:** entre 1930 y 1938, con el auge de los métodos mecánicos en USA, se introducen distintos tipos de motores que mueven hélices del tipo de avión desde una altura de 10 m aproximadamente y cuya estructura es la siguiente:

Tiene una base que puede ser una base monoblok de acero o de hierro ángulo o estampado, de 10 m de altura. Sobre esa base, en una plataforma mantiene un motor y un eje aproximadamente horizontal, cuyo ángulo con la vertical es de 70 a 80°. Proyecta un chorro de aire a una distancia de unos 25 a 30 metros sobre la superficie del suelo, que luego se propaga a cierta distancia de ese punto. La distancia depende de las condiciones aerodinámicas de la capa baja de la atmósfera. Puede ser accionado por motores eléctricos, y en este caso la potencia puede ir de 12 a 100 HP, o accionados por gasoil, que pueden llegar hasta 240 HP. Estos motores mueven la hélice, que tiene un diámetro que varía entre los 2,5 a 4 m y gira a 900 a 1.500 r.p.m.

La relación que existe entre la potencia del motor y el área protegida es muy importante. No existe una relación directa. El área protegida varía en razón de la raíz cuadrada de la potencia del motor con que se trata. Así puede estimarse que un motor de 12 HP puede ser suficiente para la protección de 1 ha. Mientras que para la protección de 2 ha, haría falta un motor cuya potencia esté entre los 50 y 100 HP, y

para 3 ha tendrían que ser equipos superiores a los 200 HP. Esto se debe a la dificultad de modificar con el aire más caliente y menos denso las condiciones densas y pesadas del aire que se encuentran depositado sobre el suelo.

También es necesario que el chorro de aire se desplace para abarcar una superficie. Si este chorro fuera fijo, el efecto sería solo en un sentido, y el resto de la superficie quedaría expuesta a los daños del frío. Para esto, el mismo movimiento del motor se transmite a la plataforma y entonces ésta gira en una rotación completa de 360° o bien, puede ser oscilante en un sector fijo de un ángulo que se determina en cada caso.

Experiencias realizadas en todo el mundo, sobre todo en USA, han demostrado una forma práctica de ampliar la acción de estos equipos cuando se utilizan varias unidades de poca potencia, aumentando la eficiencia individual de cada ventilador. Así, la tendencia es disminuir la potencia de los equipos distribuyéndolos en forma racional. Esto significa ubicarlos en forma que aprovechen las condiciones del drenaje de aire frío nocturno. Además, es más conveniente el uso de los motoventiladores oscilantes y no de los que giran 360°.

**Motoniveladores de eje horizontal y de aire conducido:** esta variante, desarrollada en Australia, permite la formación de un chorro de menor diámetro pero de flujo laminar, que tiene una mayor jurisdicción, sobre todo para la aplicación en cultivo que forman un poco rugosidad en el suelo, por ejemplo vid y hortalizas.

La hélice del motoventilador va dentro de un tubo y produce un chorro de aire que no tiene más de 1 – 1,5 metros de diámetro. Tiene un movimiento rotatorio que le permite abarcar una superficie determinada. Las experiencias realizadas en Australia demuestran una efectividad considerable y han sido controladas con pruebas exactas que permiten aconsejarlos, aún en superioridad de rendimientos a los tipos de motoventiladores libres. Como a veces no es posible disponer de motores de alta potencia en los establecimientos agrícolas, algunos autores han desarrollado otros prototipos que permiten utilizar motores de menos potencia y sobre todo que pueden aplicarse a otras tareas agrícolas como son los motores de tractor.

**Motoventiladores de eje vertical:** mueven unas palas de un gran diámetro (9 –10 m) y en la parte baja tienen una polea a la cual se un tractor y éste gira con menos revoluciones (150 a 160 r.p.m) e introduce el aire caliente de arriba proyectándolo sobre la superficie. Las pruebas realizadas con este dispositivo no son tan concluyentes como las otras realizadas con motoventiladores de mayor potencia, pero se ha podido establecer que en condiciones más o menos favorables de inversión, es posible con 20 HP cubrir una superficie aproximada de 6.000 m<sup>2</sup>.

**Helicópteros:** el helicóptero simplemente pasa sobre la plantación deteniéndose a intervalos regulares para producir durante el tiempo un efecto mayor, y deteniéndose especialmente un tiempo más largo en aquellos puntos de la plantación que constituye bolsones de aire frío. Con este método se trata de romper la inversión convenientemente, igual que con los demás sistemas de ventilación. Combina remoción del aire (aspas) y calentamiento (turbina), requiere pasadas frecuentes (15 a 20 minutos) a baja altura y no es útil cuando la inversión es débil o las heladas son advectivas.



Fuente de la imagen: Puente, F. 2020. Trabajos aéreos: control de heladas con helicópteros. Aviación Total. Disponible en: <https://aviaciontotal.cl/trabajos-aereos-control-de-heladas-con-helicopteros/>

**Ventilación y calefacción combinados** la combinación de la calefacción y de la ventilación constituye quizás el sistema más económico para producir una protección eficaz contra las heladas en las condiciones de USA. La incorporación de la remoción del aire hace más eficiente el funcionamiento de calefactores que proveen más calor por convección (chimenea fría), permitiendo su reducción en cantidad, de 180 a 200 calefactores a 50 – 80 calefactores por ha, proveyendo una protección eficaz.

La duración de la helada tiene mucha importancia en la eficacia de la ventilación. Si la helada es muy prolongada, llega un momento en que se está mezclando aire muy frío. Combinando la calefacción con la ventilación es posible mantener el sistema eficaz de la ventilación y hacer desaparecer las deficiencias de los dos sistemas.

## HUMOS Y NIEBLAS ARTIFICIALES: ENTURBIAMIENTO DEL AIRE

Originalmente, se consideraba que la efectividad de este método se basaba en que provocaba una pantalla que impedía que la helada bajara, porque se pensaba que la helada caía como ocurre con las precipitaciones. En las primeras experiencias realizadas con este procedimiento, resultaba difícil distinguir el efecto de la calefacción del efecto del humo. Se hacían ensayos de producción de humo, poniendo puntos con elementos combustibles, sin tener en cuenta que se estaban incluyendo una cantidad de focos de calentamiento, que ejercía un efecto protector considerable. Así, resultaba difícil atribuir a uno u otro el efecto de la poca caída de temperatura en las zonas de tratamiento. Recién después de la primera guerra mundial, vino el desarrollo y el conocimiento adecuado, mediante de la aplicación de métodos de enmascaramiento utilizados en la guerra a fines agrícolas de lucha contra las heladas.

En países donde el petróleo es caro y es difícil hacer una lucha con otros medios mecánicos, este medio ha despertado un gran interés.



Fuente de la imagen: Sistema de niebla artificial, creado por Tom Mee, que protege los cultivos de las heladas al aire libre y en los invernaderos. Disponible en <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10C177082>

La formación de un medio enturbiantes sobre la superficie del suelo no tiene otro objeto que el de impedir que durante las noches de heladas se pierda radiación por el suelo interponiendo un medio material. La radiación terrestre es de onda larga y su espectro es de 4 a 120  $\mu\text{m}$ , aproximadamente. Además, la tierra es un cuerpo negro. De acuerdo con ello, se pueden aplicar a la radiación terrestre las leyes de radiación de los cuerpos negros, pudiendo conocer que la tierra tiene su máxima emisión de radiación en los 10  $\mu\text{m}$ .

La atmósfera, que no es un cuerpo negro, tiene una radiación selectiva como contrarradiación de la tierra, que es muy parecida a la de la tierra, pero es transparente a la radiación de 8 y 14  $\mu\text{m}$  (ventana atmosférica). Entonces, para que un medio enturbiantes sea efectivo en la prevención de heladas, se debe cubrir ese espacio (debe absorber radiación de esas longitudes de onda). Para eso, debe colocarse en forma estable un cuerpo que provea partículas de diámetro mayor de 10 – 12  $\mu\text{m}$ , más grandes que la radiación que se pierde por la ventana atmosférica.

Para valorar la efectividad de estos métodos hay que considerar tres aspectos: las características de la capa enturbada, las del relieve y del suelo en la zona tratada y las propias de la helada.

Para una mejor comprensión, debe recordarse que una nube o niebla densa de unos 50 m de espesor es capaz de absorber el 100% de la radiación de onda larga emitida por el suelo o irradiar, a su vez, como un cuerpo negro. De ahí se pueden inferir condiciones que debe tener una capa enturbante para que sea efectiva.

Las nubes están formadas por partículas de agua, a veces de hielo, que tienen un diámetro aproximado entre los 4 y 100  $\mu\text{m}$ , siendo las de 20 a 30  $\mu\text{m}$  las que se encuentran mayoritariamente en suspensión. Además, las nubes se van formando automáticamente a medida que las gotas caen y se evaporan, corrientes ascendentes vuelven a subir esa humedad y la llevan al nivel de condensación formándose otra vez la gotita de agua; por lo que tienen un gran movimiento, llevando la humedad a partes altas de las nubes. Es decir, la permanencia de la nube se debe a un fenómeno de evaporación y condensación motivado por la turbulencia que actúa en su interior. En estas condiciones, las nubes con partículas de gran tamaño son altamente eficaces en la absorción de la radiación calórica; siendo ésta la condición que debe buscarse en los medios enturbantes: gotas de gran tamaño y buen espesor.

En la práctica, esta características resulta difícil de obtener, dada la dificultad de lograr buen espesor y movimiento turbulento, lo que hace que las gotitas por pequeñas que sean tienden a precipitarse; habiendo en las niebla artificiales gran tendencia disiparse.

El requisito de formar gotas de buen tamaño es complejo cuando se pretende obtener nieblas mediante el uso de humo. Por ejemplo, humos de enmascaramiento usados por los ejércitos, generan partículas de 0,5 a 0,6  $\mu\text{m}$ .

Respecto a las características del suelo y el relieve de la región tratada, en las noches de heladas, cuando el relieve es ligeramente accidentado se produce un drenaje de aire frío. Ese drenaje de aire frío, que puede obtener una velocidad de 0,5  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  en promedio, transporta el aire de una región a otra a esa velocidad. Cuando se practica un método enturbante cualquiera, el desplazamiento de aire frío moviliza al medio enturbante, desplazándolo del lugar. Por esta razón, para el control de las heladas por nieblas o medios enturbantes se aconseja que se apliquen en forma colectiva en toda la región. Nunca se aconseja hacer una defensa de este tipo en predios menores de 30 a 40 ha.

En situaciones como las de valle, en las que el medio puede quedar fijo en el lugar, puede surgir el inconveniente de que el desplazamiento del aire frío por las laderas se introduzca por debajo de las capas enturbadas y enfríe en forma mecánica la zona que se desea proteger. Entonces, las regiones accidentadas, donde se presentan condiciones de desplazamientos de aire frío por causa del relieve, no resultan prácticos estos medios.

Las condiciones y textura y composición del suelo también son relevantes. Un suelo con gran capacidad calórica y gran conducción de calor hacia la superficie, sería el tipo de suelo más adecuado para el tratamiento con este tipo de medios.

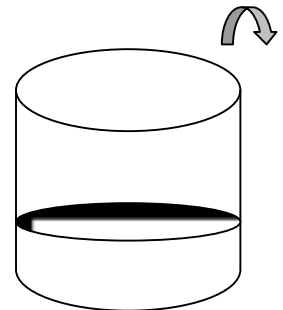
Para que este método sea efectivo se requiere también gran estabilidad del aire. Las heladas que van acompañadas de viento (heladas de advección) resultarían pocos afectadas por la acción de medios enturbantes.

## Métodos de enturbamiento

Kaempfert y Kessler hicieron experiencias con fumigación y fueron los primeros que introdujeron los productos nebulíferos. Las experiencias realizadas por ellos demuestran ampliamente la importancia del relieve, demostrando que cuando se bloquea en una forma eficaz la entrada de aire frío por debajo de las capas de los medios enturbiantes se consiguen resultados satisfactorios.

Por ejemplo, la generación de humo mediante la quema de naftalina, requiere de 20 focos de combustión y 420 kg por ha. Dichas mediciones llegaron a demostrar que el efecto del humo de naftalina podía disminuir la radiación neta de un 20 a un 40%. Kessler y Kampfert probaron con éxito los humos de naftalina en Alemania; pero Kimbal, trabajando con humo en USA, comprobó que si bien se observaba una disminución en la radiación neta no había una respuesta equivalente en los registros termométricos que se llevaron en los campos tratados. Esto podría deberse a que el área en la que trabajó (región del río Potomac, cerca de Washington) no es la más adecuada para evitar un drenaje de aire frío por debajo de la niebla provocada.

Tauno Laino (Alemania) ideó un sistema que consiste en un recipiente grande que tiene una parrilla en su parte media, debajo de la cual se hace fuego y por encima de la parrilla se coloca paja húmeda. En un costado tiene una vaina en donde se introduce una bomba de humo, que se quema simultáneamente que se produce esa humedad. Entonces este produce una mezcla de humo y gotitas en suspensión.



Un aparato y una bomba fumígena parece ser suficiente con algunas condiciones, para constituir un efecto protector de hasta 2 °C por ha. No es un aparato típicamente de producción de niebla pero es el primero que se hizo y constituye un paso intermedio entre los aparatos de humo y los de niebla.

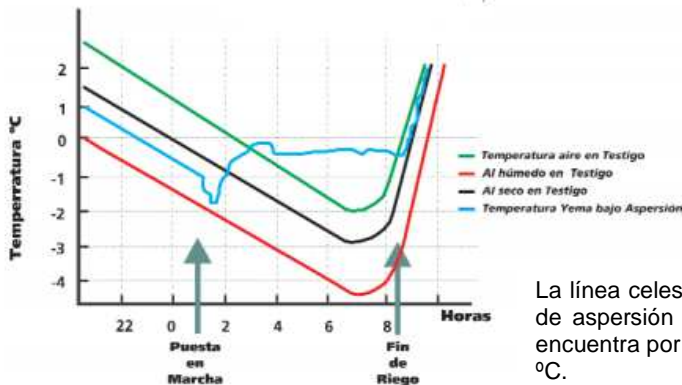
Cuando se usa el sistema de humos o niebla no conviene aplicar este procedimiento más tiempo que el indispensable, porque impiden el paso de los rayos de onda corta del sol. Por lo tanto no conviene prolongar durante el día este tipo de tratamientos. Por otra parte, pueden resultar contaminantes y resultar molestos para los trabajadores y población cercana.

## RIEGO POR ASPERSION

Las primeras experiencias fueron realizadas sin éxito por Kessler y Kaempfert, en asociación con Schenooop en 1932. Sin embargo, en la actualidad es un método eficaz. En la zona de Río Negro, en la Argentina, se introdujo hacia 1950, haciéndose más generalizado su uso a partir de la década del 70.

Cuando se riega una planta y la temperatura del aire está por debajo de 0 °C, el órgano de la planta se recubre con una capa de hielo amorfo y no cristalino, que no tiene espacios de discontinuidad y entonces la conductibilidad del calor es enorme. Lo que produce el efecto del riego por aspersion sobre las heladas se vincula al proceso físico del cambio de estado del agua. El calor latente de solidificación libera unas 80 cal.g<sup>-1</sup> de agua que se transmite por conducción a través del hielo que se forma sobre los órganos de la planta, reemplazando al calor que la planta pierde por radiación.





La línea celeste representa la temperatura de una yema bajo el sistema de aspersión durante la ocurrencia de una helada. Su temperatura se encuentra por encima de la temperatura del aire, en niveles próximos a 0 °C.

### EVOLUCIÓN DE LAS TEMPERATURAS DURANTE LA APLICACIÓN DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Fuente: Tassara, M.A. 2007. Las heladas primaverales. Protección de frutales en clima templado – frío. Ediciones

El sistema debe ponerse en marcha en función de la temperatura de resistencia al frío del estado fenológico predominante en ese momento, en función de la temperatura que marca el termómetro húmedo.

Si el descenso térmico es muy marcado (2 °C por hora), el sistema debe ponerse en funcionamiento 1 °C por encima de la temperatura crítica de daño; mientras que si el descenso es menos brusco, el equipo de pone en funcionamiento cuando se llega a la temperatura de daño.

La observación debe hacerse en la parte más fría del árbol, donde están las primeras flores. La temperatura marcada por el termómetro húmedo será la temperatura que tendrá la planta luego de ser mojada por las primeras gotas de agua del aspersor.

También debe observarse la velocidad del viento, no siendo recomendable iniciar el riego cuando la misma supera aproximadamente los 4 km por hora (brisa muy suave), a la altura de los aspersores.

Durante el funcionamiento, deben constatarse gotas de agua en el extremo inferior de las velas de hielo, lo que indica que sobra agua y que la temperatura es cercana al 0 °C.

El riego debe mantenerse durante todo el tiempo de duración de la helada porque si se detiene el suministro de agua, va a producirse la evaporación del agua de la superficie del hielo, perdiéndose 600 cal.g<sup>-1</sup>. De esta manera, puede ocurrir que si en el aire hay -4 °C, en la planta se llegue a -13 °C. El riego puede suspenderse cuando se alcanza la misma temperatura que se utilizó para decidir su puesta en funcionamiento, no interrumpiendo su funcionamiento si existen brisas.

Es importante regular la cantidad de agua a aplicar, para evitar que la planta sea vencida por el peso del hielo. También debe considerarse la posibilidad de los suelos de absorber agua y la sensibilidad del cultivo al encharcamiento. Debe preverse una mayor provisión de agua cuando hay mayor probabilidad de ocurrencia de temperaturas por debajo de 0 °C, coincidentemente con la mayor sensibilidad de la planta.



El agua a utilizar debe contener una salinidad inferior a  $2000 \text{ micromohs.cm}^{-1}$ , dado que niveles más altos pueden generar daños sobre los tejidos.

### Características de los aspersores

El riego por aspersión se utiliza también para otros fines, como la lucha contra la sequía, es decir que los equipos que se fabrican son adecuados para esos fines o sea el de proporcionar grandes cantidades de agua que, a los cultivos en un tiempo determinado. Cuando más grande es el caudal de agua que se pueda entregar al cultivo, tanto mejor es el equipo, porque permite operar con una instalación de menor longitud.

En el caso del uso para protección contra heladas, para condiciones de  $-5$  a  $-6 \text{ }^\circ\text{C}$ , se necesita un equipo que provea unos  $3 \text{ mm}$  por hora. Aún con cantidades menores se han obtenido resultados satisfactorios en heladas de poca intensidad.

Necesidades en Riego por Aspersión Condiciones Bioclimáticas de Río Negro y Neuquén			
	Lluvia (mm/h*)	Distancia entre Aspersores (m)	Tobera (mm)
<b>Duraznero</b>	4	18 x 18	4.8 – 5
<b>Ciruelo</b> (T. Japonés)	4	18 x 18	4.8 – 5
<b>Peral</b>	3.5	21 x 21	4.8
<b>Manzano</b>	3	21 x 21	4.8
<b>Vid</b>	2 – 2.5	24 x 24	4.5
<b>Tomate</b> (otoño)	1.5	24 x 24	4.2

\* Coeficiente de uniformidad de Christiansen  $>80\%$ .

Fuente: Tassara, M.A. 2007. Las helada primaverales. Protección de frutales en clima templado – frío. Ediciones INTA.

Un aspecto importante es la característica de los aspersores, que deben ser “a martillo” y metálicos para que su temperatura se mantenga por encima de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , debido que al ser el metal un buen conductor del calor, transmite la temperatura del agua que circula en su interior, evitando la formación de hielo en su superficie (que puede ocurrir con los de plástico). En promedio, trabajan con una presión de  $4 \text{ kg.cm}^{-2}$ . La velocidad de giro debe ser de 1 minuto por vuelta, para evitar que se produzcan descensos de temperatura importantes. Asimismo, debe proveer un tamaño de gota adecuado, que llegue y permanezca sobre la planta, lo que se logra mediante la presión de trabajo. Se recomienda que los caños porta aspersores sean metálicos.

Los aspersores tienen que estar ubicados  $0,50 \text{ m}$  por encima del tope del cultivo. El aumento de la altura incrementa el riesgo de perder efectividad por el viento.

Existen alternativas a la aspersión clásica, como:

**Flipper:** consiste en un aspesor plástico que funciona en una sola dirección y alternadamente en los dos sentidos, mojando una banda de un ancho aproximado a  $0,80 \text{ m}$ . Se adapta a cultivos conducidos en espaldera. Los regadores se ubican sobre una fila de plantas de una espaldera, y el interfilar permanece

sin recibir agua. La franja del cultivo que recibe agua, se forma hielo, el ambiente se satura y la temperatura se mantiene alrededor de 0 °C. En el interfilas que no recibe agua el aire no llega a saturación y la temperatura desciende de 0 °C. Cada planta recibe el efecto de borde de los interfilares adyacentes. El riesgo de daños por frío se puede producir, si se levanta una brisa, donde cada fila de plantas sufrirá una advección de aire no saturado desde el interfilas.

*Aspersión bajo copa:* se aplica agua al suelo, sin mojar la copa de los árboles a proteger. El calor de fusión compensa las pérdidas por radiación, al transmitirse por conducción al suelo, manteniendo su temperatura próxima a 0 °C.

## MEJORAMIENTO PERMANENTE DE LAS CONDICIONES MICROMETEOROLÓGICAS EN LA LUCHA CONTRA LAS HELADAS

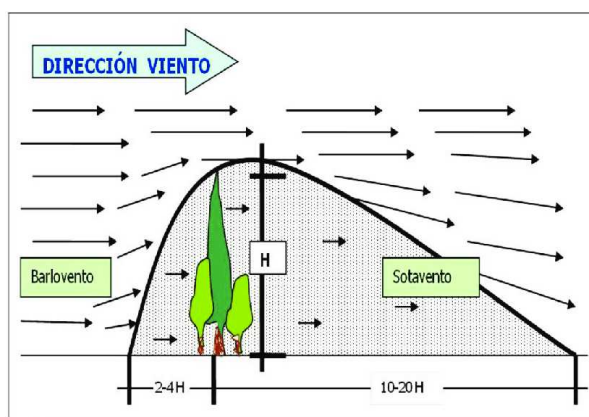
### Regulación del drenaje de aire frío nocturno

Las pequeñas o grandes irregularidades del terreno hacen que el aire frío formado por las condiciones de enfriamiento del suelo se desplace de acuerdo a esas irregularidades buscando los niveles más bajos. Estas microcorrientes de aire frío formarán luego grandes corrientes que pueden llegar a ser perceptibles en las noches de heladas.

Una técnica permanente de lucha contra las heladas es establecer una contención a ese desplazamiento de aire frío, cuando se conoce previamente la dirección probable del desplazamiento nocturno. En primer término, debería evitarse la entrada de aire frío externo. Para ello se utilizan generalmente las cortinas forestales o el aprovechamiento de bosques naturales para su establecimiento. En nuestro país no es común el empleo de estos macizos forestales, pues los bosques naturales no son muy abundantes.

Para que la cortina forestal sea efectiva no debe tener una sola hilera de árboles sino una densidad mayor entre los 20 y los 100 m. Se debe colocar una cortina en el lugar por donde entra el drenaje de aire frío. En general las cortinas forestales tienen un efecto contrario a la producción agrícola cuando son densas (conveniente contra las heladas). Cuando la cortina es densa y el viento tiene la dirección igual a la del drenaje o sea, que la cortina lo para, el viento pasa por encima de la cortina y al bajar forma una turbulencia con las contracorrientes formadas y se forma y se aumenta el efecto nocivo del viento. Las cortinas forestales son efectivas en la lucha contra las heladas, siempre que se considere lo dicho previamente.

Otra de las medidas que se pueden tomar para evitar la entrada de aire frío extraño es disponer la cortina de regadores para riego indirecto en la lucha contra las heladas por riego por aspersión, o la provisión de cortinas de quemadores o a veces también de cortinas de humo o de nieblas artificiales en la entrada de aire frío durante la noche.

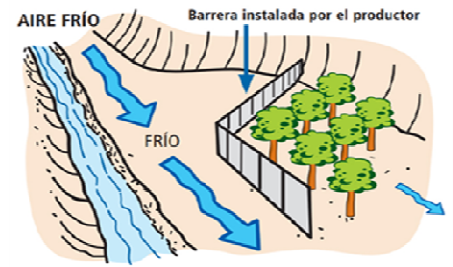


Área protegida contra el viento por efecto de la cortina vegetal.

Fuente de la imagen: Sotomayor, A.; Barros, S. (Eds.). 2016. Los sistemas agroforestales en Chile, Instituto Forestal. Chile. p. 440

## Medidas que favorecen la salida de aire frío formado “in situ”

Si se forma aire frío dentro de la propiedad hay que tratar de facilitar su salida y no que se estacione o se estanque, para lo que deben estudiarse cuidadosamente las posibilidades de drenaje del aire. De esta manera, es importante observar este aspecto si se decide la implantación de una cortina forestal y la construcción de edificaciones, terraplenes para caminos o de canales para riego. Es conveniente hacer un estudio previo y dividir las zonas en que se cultivan plantas más o menos resistentes al frío.



Fuente de la imagen:  
Fundación para el Desarrollo Frutícola (FDF). Disponible en:  
<http://www.fdf.cl/> Revisado por Portalfruticola.com  
(<http://portalfruticola.com/>)

A veces, sucede que no solo los obstáculos que rodean a la explotación impiden o favorecen el escurrimiento de aire frío, sino también la disposición del cultivo. En regiones más o menos accidentadas donde el drenaje de aire frío nocturno se intensifica por esa razón, es prudente disponer el cultivo en sí, en forma tal que provea el escurrimiento natural del aire frío nocturno. Puede ser una buena medida intercalar cultivos de follaje caduco con cultivos de follaje persistentes, para que durante la estación invernal existan canales de escurrimiento dentro de la explotación que sirvan para la conducción del aire frío afuera de la propiedad. Por ejemplo, en montes de citrus, intercalar algún cultivo que abra canales que favorezcan el escurrimiento.

Otra medida conveniente podría ser establecer las hileras de plantación en dirección de las pendientes, siempre que esto no genere problemas mayores de erosión.

## Supresión de los focos de aire frío

Existen focos de aire frío nocturno que es posible determinar, como por ejemplo el caso de campos bajos o pantanosos que pueden llenarse de aire frío por la noche y rebalsar, perjudicando a las propiedades que se hallan inmediatamente debajo de esos focos con su drenaje. En general, los terrenos húmedos, pantanosos, las ciénagas, etc. son lugares en los cuales el agua es abundante; también lo es la vegetación palustre. Tienen el inconveniente de intensificar el frío nocturno. En primer término, impiden el calentamiento diario del sol porque la vegetación que cubre el agua evita su calentamiento. Además, este tipo de vegetación pantanosa que está siempre presente, introduce una gran capa aislante entre el suelo y el aire durante la noche que impide que el calor que tiene este suelo pase a la atmósfera y mitigue el descenso térmico nocturno. En segundo término el aumento de la evaporación que provee la vegetación y el agua presentes, trae consigo un enfriamiento por el calor que se consume en la evaporación. La supresión de estos focos es aconsejable cuando se quiere evitar los daños por heladas.

## Formación de espejos de agua

En lugares donde los cursos de agua son comunes, se pueden utilizar para beneficiar una región próxima. Como ejemplo, debido al efecto atemperador del agua, el Río de la Plata modifica completamente las condiciones de las heladas hasta unos 5 a 10 km desde su ribera. Esto determina que en Buenos Aires se registren temperaturas mínimas menos extremas que en localidades más alejadas (datos de 1943 indicaron temperatura media mínima anual de -5 °C en Buenos Aires vs. -8 °C en San Miguel). Esta diferencia se debe al gran espejo que forma el río. Ese espejo de agua, durante las noches tiende a formar una convección de aire caliente que toma el calor del agua y asciende hacia zonas más frías; baja sobre la tierra y forma una circulación convectiva en toda la ribera, generando una zona de protección. Este efecto puede hacerse en pequeña escala, ampliando y dándole profundidad a cursos de agua estrechos. Para obtener cierta efectividad es necesario llegar a una profundidad de por lo menos un metro en el espejo de agua, alcanzando la superficie protegida 10 veces la superficie del espejo. La superficie del espejo debe estar libre de toda vegetación, porque de lo contrario sería un foco de aire frío.

## **Modificaciones sobre disposiciones de los cultivos**

Toda distribución del cultivo que lo aleje del suelo lo hará menos susceptible a las heladas. Esto se debe a la inversión térmica que hace que la temperatura cerca del suelo sea inferior a la que está un poco alejada del mismo. Como ejemplo, en la conducción de vides, los parrales son disposiciones de cultivos que menos sufren las heladas que los viñedos en espalderas o viñedos bajos.

## **Modificaciones a las propiedades calóricas del suelo**

El suelo, según sus características físico-químicas y su estructura tiene gran importancia en la expresión de la temperatura mínima nocturna. Todo lo que aumente la capacidad calórica del suelo y su conductibilidad serán medidas que pueden tener un efecto favorable reduciendo la intensidad de las heladas.

Una medida simple que se puede adoptar en épocas de heladas es el pasaje de un rodillo que aumente la compactación del suelo. Al estar el suelo compacto, la conductibilidad es mayor y el calor de las capas internas puede ser transmitido con rapidez a la superficie. Para mejorar este efecto, conviene también eliminar las malezas para evitar su efecto aislante y la pérdida de calor por evaporación.

Algunos autores europeos han aconsejado la modificación del suelo en cuanto a la capacidad de recepción de radiación. Los suelos claros tienen una gran reflectividad y pierden una cantidad de energía considerable debido al reflejo o albedo de la radiación de onda corta que reciben durante el día. Así, se han recomendado medidas como la transformación física del color con el agregado de colorantes como polvo de carbón.

## **Pantallas o reparos**

Consisten en obstáculos que se ponen a la radiación nocturna de diferentes materiales (cañas, tejidos, plásticos, etc.). Lo que hacen estas pantallas es evitar la radiación nocturna del suelo, la pérdida de radiación y contribuir a formar un microclima favorable al cultivo, que se quiere proteger.



## Sistema de defensa contra heladas

Estos sistemas tienen como base:

- Un pronóstico de heladas: que tiene como objetivo alertar durante el día sobre la posibilidad de ocurrencia de una helada, a fin de comenzar los preparativos para el control en la noche
- Una alarma: que indica el momento para iniciar la defensa
- Control de temperatura dentro de la plantación: orienta sobre el manejo del sistema de protección contra heladas



Secretaría  
de Agroindustria



Ministerio de Producción y Trabajo  
Presidencia de la Nación



SERVICIO DE ALERTA  
PARA CONTROL DE HELADAS

Es un programa que el INTA ofrecerá a los productores y Asesores del Valle Inferior del Río Chubut para prevenir el riesgo y disminuir los efectos dañinos.

Se llevará a cabo durante los meses de agosto y noviembre, momento en que se produce la floración y posterior crecimiento de los frutos.

Para proteger el daño que pueden ocasionar las heladas, los productores utilizan distintos mecanismos de defensa, y para que estos sean más eficientes, el servicio de alarma constituye una herramienta que brinda información y acompañamiento en las noches en que se perciben descensos de temperatura, abarcando todo el Valle Inferior del Río Chubut.



Agosto – Septiembre – Octubre – Noviembre



Para que el sistema funcione es necesario que Ud., señor productor, tome los datos de temperatura y los transmita a una central.

Con esos datos se elaborará el pronóstico y Ud. podrá defender su producción en la época crítica del cultivo.

## SEQUÍA

Según el criterio del balance hídrico, se puede considerar este problema desde dos puntos de vista:

- 1) La sequía como fenómeno agrícola o agroclimático: carencia de agua en las plantas
- 2) La sequía desde un punto de vista meteorológico: período de tiempo sin precipitación

Según el balance hidrológico, la duración de la sequía está dada por el período comprendido entre los extremos de fecha en que la humedad del suelo esté por debajo de un cierto límite, mientras que su intensidad depende la magnitud del déficit de agua durante el periodo.

Un límite de utilidad es el **coeficiente de marchitez**, pero otro límite lo puede constituir la **capacidad de campo o humedad equivalente**.

*Capacidad de marchitez permanente o coeficiente de marchitez:* máxima cantidad de agua del suelo en que se observa la marchitez de las plantas, que no desaparece aún poniéndolas en ambiente saturado por 24 horas.

*Capacidad de campo:* máxima cantidad de agua retenida por el suelo después de haber drenado toda el agua gravitacional.

*Capacidad a humedad equivalente (agua útil o agua capilar):* máxima cantidad de agua retenida por el suelo después de haber drenado toda el agua gravitacional bajo la fuerza centrífuga de 10.000 g durante 30 minutos.

### Causas de la sequía

- Precipitación por debajo del óptimo o normal
- Elevadas temperaturas que implican una elevada evapotranspiración

Estas dos causas obedecen a otras causas más generales. La sequía periódica o permanente obedece a efectos de circulación general de la atmósfera. La sequía accidental responde a una causa que se manifiesta en la anomalía de la circulación regional.

Existen además algunas causas que hacen a la intensidad de la sequía que son aquellos que dependen de factores de la localidad como ser el tipo de vegetación, el relieve, el tipo del suelo, que hace que se orienten en la lucha contra las sequías tratando de modificar estos factores microclimáticos que hacen a la sequía.

### Clasificación de las sequías

*Según un criterio meteorológico, en función de la precipitación:*

**Sequía absoluta:** período de 15 días consecutivos o más con menos del 0,2 mm de precipitación

**Sequía relativa o parcial:** período de 29 días o más con precipitación diaria inferior a 0,2 mm

**Período seco:** 15 días con menos de 0,2 mm

Según su forma de ocurrencia:

**Accidentales:** se presentan sin una periodicidad fija o fluctuante. Las sequías accidentales se parecen al proceso del tiempo atmosférico

**Periódicas o permanentes:** estas responden al concepto de clima. Periódicamente ocurre una sequía que se transforma en un fenómeno climático

Según su origen:

**Sequía edáfica:** como consecuencia de una disminución del agua del suelo

**Sequía atmosférica:** producida por altas temperaturas y baja humedad relativa, promueven una excesiva transpiración

Por su apariencia:

**Aparentes:** el agua del suelo baja por debajo del coeficiente de marchitez. El fenómeno es perceptible a la vista por el estado de las plantas

**Inaparentes:** la humedad no baja del coeficiente de marchitez pero sí por debajo de la capacidad del campo. No manifiesta daño alguno en la planta pero sí en el rendimiento

Por su época de ocurrencia: invernales, estivales, otoñales y primaverales

Con fines agronómicos o forestales, existen criterios de la humedad del suelo o del balance hídrico para determinar la intensidad del déficit y la duración.

**Índice de aridez:** ya sea permanente o periódica

Lang:  $R = \frac{\text{Precipitación anual}}{\text{Temperatura media anual}}$

R	CLIMA
>160	Húmedo
160-100	Templado húmedo
100-60	Templado cálido
60-40	Semiárido
0-40	Estepario

De Martonne:  $I_a = P/(T+ 10)$ ; donde P = Precipitación anual (mm) y T = Temperatura media anual (°C)

Ia	CLIMA
>60	Per-húmedo
60-30	Húmedo
30-20	Sub-húmedo
20-15	Semiárido (mediterráneo)
15-5	Árido (estepario)
5-0	Árido extremo (desierto)

Embergen (con criterio botánico)  $Q = \frac{\text{Precipitación anual} \times 100}{(M^2 - n^2)}$

Q	CLIMA
>90	Húmedo
90-50	Sub-húmedo
50-30	Semiárido
30-0	Árido

Donde: M = temperatura máxima media del mes más caliente  
n = temperatura mínima media del mes más frío

*Índice global de humedad:* representa la porción de precipitación requerida para la necesidad del vegetal. Considera la influencia del exceso y del defecto de agua en comparación con las necesidades vegetales dentro de cada periodo estacional.

$$I_m = \frac{100 s - 60 d}{n}; \text{ donde } \begin{array}{l} s = \text{exceso, } d = \text{déficit,} \\ n = \text{necesidad de} \\ \text{agua (evapotranspiración potencial)} \end{array}$$

Im	CLIMA
> 100	A. Hiperhúmedo
100 ; 80	B4. Húmedo (superlativo)
80 ; 60	B3. Húmedo (superior)
60 ; 40	B2. Húmedo (medio)
40 ; 20	B1. Húmedo (inferior)
20 ; 0	C2. Sub-húmedo (húmedo)
0 ; -33.3	C1. Sub-húmedo (seco)
-33.3 ; -67.7	D. Semiárido
-67.7 ; -100	E. Árido

## Métodos de lucha contra las sequías

### *Medidas orientadas hacia la demanda*

Se pretende que los recursos hídricos deficitarios, puedan usarse de manera más eficaz:

- Modificación de la demanda de la explotación
- Reducción de pérdidas por escorrentía, drenaje y evaporación
- Cumplimiento de la asignación de dotaciones de riego

### *Medidas orientadas a la oferta*

#### *Orientadas a hacer un uso eficiente del recurso existente*

- Reducir pérdidas de transporte de agua y embalse (impermeabilizar)
- Mejorar la capacidad de almacenamiento del suelo: a través de prácticas culturales que mejoren la infiltración y la capacidad de retención del agua (incorporación de materia orgánica compostada) o reduzcan la pérdida de agua por evaporación, como el uso de mulching (cobertura del suelo).
- Reducir la evaporación de espejos de agua: mediante sustancias que aumentan la tensión superficial del agua y reducen la tensión de saturación del aire sobre el agua (menor gradiente vertical y déficit de saturación). En general valores prácticos en los métodos anti-evaporativos han permitido el ahorro del 45% de la evaporación en condiciones favorables al 30% en condiciones desfavorables.
- Utilizar prácticas eficientes de riego, como el riego por goteo combinado con el uso de mulching.

#### *Orientadas a incrementar los recursos existentes*

- Reutilización de aguas residuales
- Utilización de agua subterránea
- Desalinización de agua: es una técnica cara, que requiere gran cantidad de energía, en la mayoría de los casos combustibles fósiles. Actualmente existen filtros que pueden desalinizar el agua con presión hidrostática, reduciendo significativamente la cantidad de energía necesaria.
- Utilización de agua del aire: sistemas que permiten aprovechar la humedad contenida en el aire, en forma de nieblas (atrapanieblas).

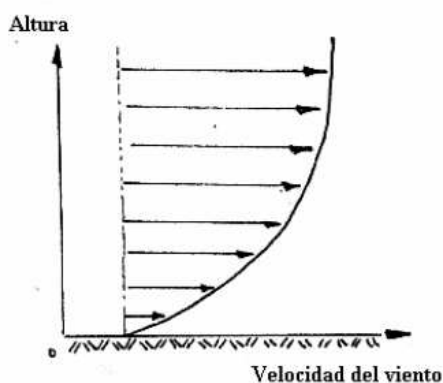


El impacto de las sequías también puede reducirse utilizando cultivos y variedades más tolerantes, planificando la ubicación espacial y temporal de los cultivos, o adoptando sistemas de seguros, entre otros.

## EL VIENTO COMO ADVERSIDAD AGROCLIMÁTICA

La lucha directa contra el viento en su forma más típica es el de las cortinas forestales, cercos, empalizadas y en general cualquier obstáculo que se interponga a ese flujo de aire.

El viento se origina en un proceso meso o macroclimático de la presión atmosférica y en la capa baja de la atmósfera adquiere características que dependen de las condiciones de la superficie terrestre. El viento se debe a que el aire fluye o se desplaza en una forma más o menos paralela a la superficie del suelo y desarrolla en ese arrastre una fuerza friccional sobre la superficie por donde se desplaza. Pero junto con este movimiento horizontal del aire también existe un intercambio de energía determinado por un movimiento de componente vertical, distinto al anterior que hace que cada partícula de aire que asciende se introduzca en una capa de mayor velocidad y que por su propia inercia tienda a frenarla. Esta acción frenante es máxima en la superficie del suelo, donde los movimientos horizontales del aire quedan totalmente anulados y suplantados por movimientos verticales en una capa de altura variable de acuerdo a las características de la superficie. A esta capa se la conoce con el nombre de “capa de rugosidad”, precisamente porque su altura estará determinada por las características de rugosidad de la superficie. Por encima de esa capa, la velocidad del viento comienza a crecer con la altura en razón exponencial.



Perfil de viento cerca de la superficie.

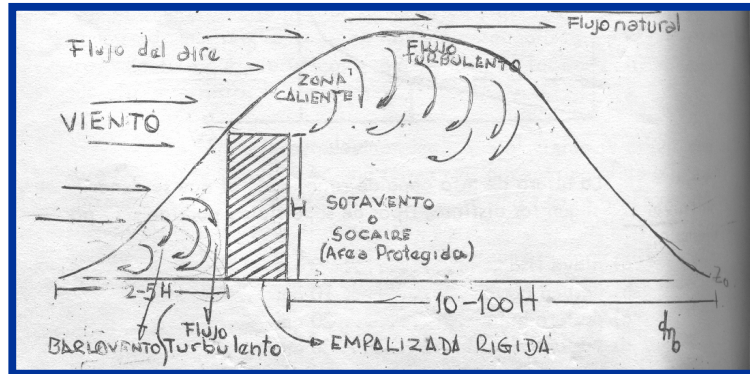
Fuente de la imagen. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Entre Ríos.  
<http://www.cicyttp.org.ar/climatologiafca/docencia/a>

La altura de esta capa de rugosidad (nivel  $Z_0$ ) varía según los distintos tipos de superficie:

Nieve lisa	3 cm
Césped corto	10 cm
Pastura baja	20 cm
Pastura alta	30 cm
Trigal maduro	130 cm
Árboles	130 cm por encima de las copas

Este efecto frenante de la velocidad horizontal del viento es realizado por cualquier obstáculo existente sobre la superficie y las barreras y cortinas forestales también lo ejercerán. En la figura siguiente, se representa el efecto producido sobre la estructura laminar y la velocidad del viento al interponer un obstáculo de cierta altura ( $H$ ), como podría ser una empalizada rígida. El efecto del obstáculo y el levantamiento del nivel de rugosidad comienza desde antes de la cortina, es decir a barlovento, y se prolonga hasta cierta distancia a sotavento de la empalizada. Por debajo de la línea que marca el  $Z_0$  se quiebra la velocidad del viento porque rompe su flujo laminar horizontal. Toda la porción que se extiende por debajo de la línea está indicando el área protegida, la que se desarrolla desde antes del obstáculo, hasta una distancia de 30 a 50  $H$ . La altura máxima del área de protección, la elevación máxima del  $Z_0$

será del orden de  $2H$ , es decir dos veces la altura de la barrera. Todos estos valores no son fijos o constantes porque varían con las características de la barrera, la velocidad del viento, condiciones zonales, etc.



La densidad o grado de impenetrabilidad de las cortinas arbóreas tiene un marcado efecto sobre la reducción de la velocidad y la extensión del área protegida (socaire). Cuando se interpone una cortina muy densa, prácticamente sólida, impenetrable por el viento, se puede formar a sotavento del obstáculo una muy fuerte corriente de retroceso turbulento, donde se puede alcanzar una excesiva velocidad. La diferencia de presiones a uno y otro lado de la barrera densa (sobrepresión a barlovento – depresión a sotavento), podría producir este efecto que puede llegar a ser más perjudicial que el mismo viento libre.

En cambio, cuando las barreras o cortinas forestales son semidensas, con cierto grado de penetrabilidad por el viento, queda imposibilitada la ocurrencia de remolinos de retroceso por la acción de los filetes que pueden filtrarse a través de la cortina, evitando así una excesiva diferencia de presiones. Además en este último caso, la extensión de la superficie protegida se ve incrementada.

En una cortina densa se consigue la mayor reducción en la velocidad, inmediatamente atrás de la cortina, pero a medida que se aumenta la distancia desde ella, hacia sotavento, disminuye rápidamente el efecto protector, y a una distancia de  $20H$ , el viento habrá recobrado su velocidad. En cambio, con una cortina semidensa, si bien no se logra una reducción tan grande en las cercanías inmediatas a la cortina, el efecto reductor se prolonga hasta mayor distancia, a mayor de  $30H$ . Experiencias dinamarquesas demostraron que una penetrabilidad del 40% es óptima y en Rusia se habla de un 30% de penetrabilidad. Se puede tomar como aceptable el valor del 35 al 40% como el óptimo para alcanzar el máximo del área protegida.

También es importante tener en cuenta que el efecto de las cortinas forestales varía con la velocidad o con la intensidad del viento. En términos generales, cuanto mayor es la velocidad del viento mayor es la protección. Con un viento de  $20 - 26$  km por hora se protege un 30% y con viento fuerte un 50%. Los cercos densos aumentan la protección hasta 10 veces la altura pero después ya no lo hacen con vientos fuertes.

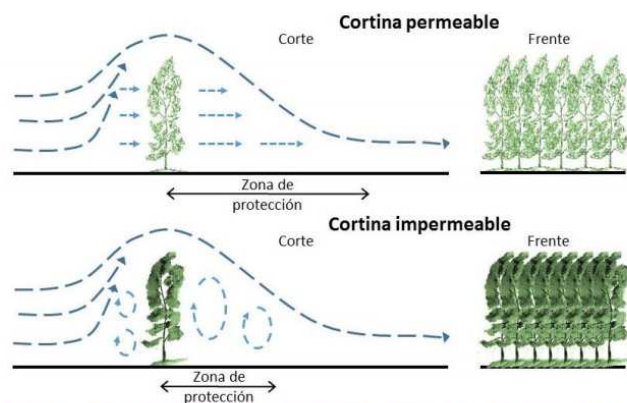


Figura 3. Comportamiento del viento en cortinas forestales con distinta densidad (adaptado de Tassara et al., 2008).

Fuente de la imagen. Oberschelp *et al.* (2020). Cortinas forestales: rompevientos y amortiguadoras de deriva de agroquímicos. Ediciones INTA. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_concordia\\_cortinas\\_for\\_estales.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_cortinas_for_estales.pdf)

También es importante considerar el perfil de la cortina. La estructura óptima es aquella que forma un levantamiento paulatino de la masa de aire. Resultan mejor los perfiles aerodinámicos, donde el plano de choque es suave, lo mismo que la caída.

La fisiografía o sea el relieve también influye en las cortinas forestales. Si el terreno es ondulado la cortina forestal puede ser menos eficaz. Cuando la región es muy montañosa, con exposiciones muy prolongadas pueden ocurrir diferencias en el grado de protección. La efectividad es mayor cuanto mayor es la exposición del terreno al viento.

Las cortinas forestales tienen efecto sobre otros elementos del tiempo y el clima que inciden sobre la producción agropecuaria.

Temperatura del aire: en regiones con poco intercambio de masas de aire pueden ocurrir temperaturas altas más pronunciadas y temperaturas bajas más fuertes. La máxima será más alta en la región protegida. En el área protegida hay una gran amplitud de temperatura

Heladas: en regiones de cortinas forestales es probable que ocurran heladas más intensas, si se dificulta el drenaje nocturno del aire frío, o si el aire frío se estaciona en determinados sectores.

Radiación solar: existe un efecto de sombra que implica también un menor calentamiento de las superficies protegidas.

Humedad del aire: la humedad absoluta y la relativa serán mayores en la región protegida, al no haber intercambio de masa de aire (1 a 2% de variación en la humedad relativa y 1,5 a 2 mmHg en la humedad absoluta)

Evaporación: menor en la parte protegida. Se han registrado disminuciones de un 20 a 30% en la evaporación en la parte protegida (Socaine). Esto genera una mejora en la humedad del suelo.

Intercambio de CO<sub>2</sub>: en regiones protegidas permanece en el estrato donde viven las plantas. En la parte expuesta al viento el CO<sub>2</sub> es rápidamente disipado a la alta atmósfera.

Precipitaciones: el aprovechamiento de la nieve, precipitación, nieblas, rocío es favorecido por la menor evaporación y la falta de turbulencia.

Las cortinas forestales inciden también sobre la erosión, reduciendo la erosión del suelo. El efecto depende de la distancia a la cortina: a mayor distancia, mayor turbulencia y más erosión.

## GRANIZO

El granizo está formado por piedras de hielo que van desde pocos milímetros hasta 5 – 6 cm de diámetro. Es un fenómeno muy esporádico y localizado, pero que puede resultar muy destructivo tanto en ambientes urbanos como rurales.

El hecho de ser un fenómeno tan localizado hace que su registro sea complejo en estación meteorológica, dado que puede ocurrir que se produzca en áreas cercanas, pero en el predio de la estación, propiamente dicho. Por lo tanto, una estadística basada en esta observación es inadecuada y da una impresión del fenómeno de menor magnitud que la verdadera. Es importante considerar el área. Además, la estadística de granizos común tampoco da un índice de los daños causados, pues no hace referencia al tamaño de las partículas. Estas estadísticas deben hacerse sobre una red muy densa y considerar un tamaño medio de las partículas. Se debería hacer referencia también a la época de ocurrencia.

Una piedra de granizo está formada por:

- Un núcleo central formado por hielo esponjoso
- Una envoltura compuesta por capas alternadas de hielo transparente y opaco

### Formación de granizo



Se forma en nubes de desarrollo vertical (cumulonimbus) por procesos de ascenso del aire en el interior de la nube, su enfriamiento y condensación; produciéndose el crecimiento de las gotas de agua y cristales de hielo según se explicó a través de la teoría de la coalescencia y de Bergeron – Findeisen. Si el aire debajo de la nube es caliente, las piedras pequeñas se derretirán antes de alcanzar la superficie, pero si el granizo tiene suficiente tamaño, puede alcanzar la superficie antes de completar la fusión.

Fuente de la imagen. Biener, S. ¿Qué es y cómo se forma el granizo? Meteored. Disponible en: <https://www.tiempo.com/noticias/ciencia/como-se-forma-definicion-de-granizo.html>

Para que el granizo adquiera cierto tamaño es necesario que haya corrientes de aire ascendentes en una extensa área de cumulonimbus, y que la temperatura descienda rápidamente con la altura, lo que se da en primavera y verano (cuando se dará la mayor frecuencia de granizadas).

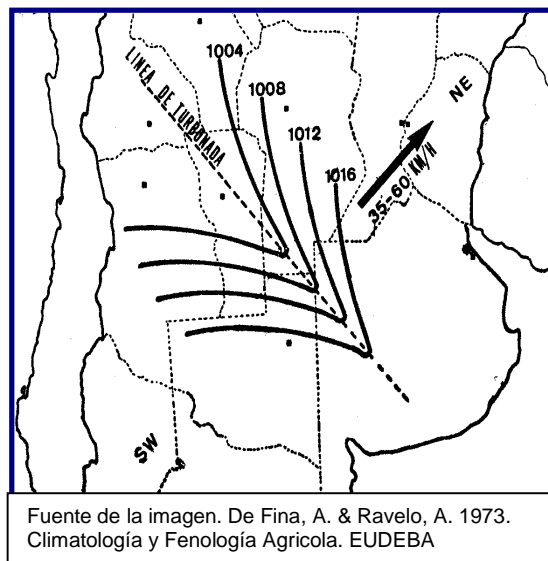
El granizo se registra preferentemente en latitudes medias (20 a 55°) y hacia el interior de los continentes. Esto se da porque en los trópicos no hay gran desarrollo de cúmulus y en las zonas frías se ve limitada la humedad y las convecciones severas; mientras que en los océanos no se producen corrientes ascendentes fuertes.

Las zonas de llanura, próximas a cadenas montañosas y los valles ubicados a sotavento de los vientos dominantes son más propensos a recibir la precipitación de granizo.

Las condiciones atmosféricas para la formación de granizo se verifican cuando sobre una región se produce una gran depresión barométrica, con la forma de V. Estas depresiones al pasar sobre una región producen un fenómeno que se denomina “turbonada”, que se manifiesta sobre todas las localidades situadas sobre la línea que divide a las dos partes simétricas de la depresión; y que se caracteriza por producir:

- Cambio brusco en la dirección del viento
- Aumento rápido de la velocidad del viento
- Ascenso brusco de la presión atmosférica
- Descenso brusco de la temperatura
- Aumento rápido de la nubosidad
- Lluvias intensas o granizadas

La línea de turbonada puede alcanzar una longitud de 1000km y se desplaza generalmente de SO a NE entre 35 y 60 km por hora.



Fuente de la imagen. De Fina, A. & Ravelo, A. 1973. Climatología y Fenología Agrícola. EUDEBA

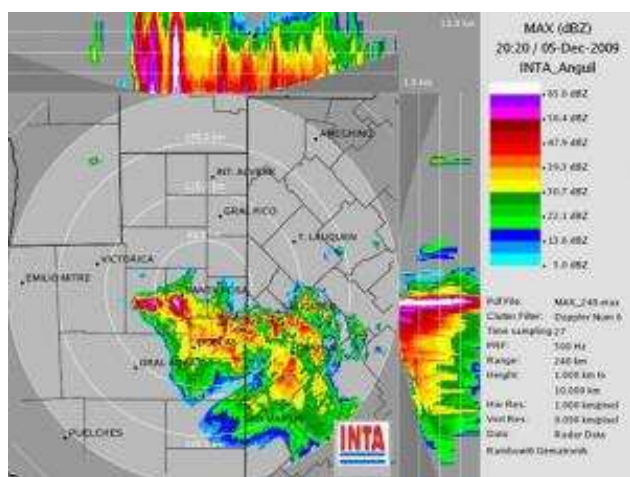
### Lucha antigranizo

- *Condiciones meteorológicas y pronóstico*

Mediante imágenes de radar se pueden identificar regiones en la que los hidrometeoros que contienen las nubes han adquirido el tamaño suficiente para producir una imagen (eco), y se producen advertencias sobre tormentas que pueden producir la caída de granizo.

Para poder efectuar un pronóstico de tormentas se debe tener en cuenta:

- Condiciones meteorológicas previas que pueden producir condiciones de convección
- Evaluación de la situación sinóptica en función de la comparación de imágenes satelitales previas y actuales
- Radiosondeos de la estructura vertical de la atmósfera para evaluar condiciones que predispongan a la formación de tormentas



18 a 30 dBZ		Lluvia débil
30 a 38 dBZ		Lluvia ligera a moderada
38 a 44 dBZ		Lluvia moderada a fuerte
44 a 50 dBZ		Lluvia fuerte
50 a 57 dBZ		Lluvia muy fuerte y probable granizo
Mayor a 57 dBZ		Lluvia fuerte y granizo

Imágenes del Radar situado en INTA EEA Anguil. Los colores indican el valor de reflectividad (dBZ) y representa la intensidad de la tormenta. A mayor valor de reflectividad, mayor probabilidad de granizo en superficie. También deben considerarse la altura de los ecos: ecos fuertes a mayor altura, mayor probabilidad de granizo.

Fuente: Bellini Saibene, Y. 2010. Radar meteorológico en la EEA Anguil. <https://inta.gob.ar/documentos/radar->

- *Siembra de nubes*



Fuente de la imagen. Agricultura y contingencias climáticas. Gobierno de Mendoza.  
[http://www.contingencias.mendoza.gov.ar/web1/lucha\\_antigranizo/aeronautica/aviones.html](http://www.contingencias.mendoza.gov.ar/web1/lucha_antigranizo/aeronautica/aviones.html)

Por este proceso se incorporan Núcleos de Formación de Cristales de Hielo (FIN) para incrementar la concentración de partículas congeladas, disminuyendo el agua sobre enfriada en el interior de la zona de formación. La forma más eficiente es hacer “Siembra Preventiva”, durante las primeras fases de aparición de tormentas. Así, se aumenta la cantidad de cristales de hielo por encima de la condición normal en las zonas en que la temperatura está por debajo de 0 °C y se disminuye el agua sobre enfriada disponible para el crecimiento del granizo. Esto genera la formación de granizo más pequeño que puede licuarse al precipitar, alcanzando la superficie como agua líquida o como piedras de tamaño que no genera daño.

Esta técnica se utiliza en la provincia de Mendoza, y se aplican dos estrategias:

1. Siembra en la base de la nube: siembra preventiva haciendo recorridos largos en la zona de convección
2. Siembra de inyección directa: con cartuchos con una mezcla de IAg que se lanzan hacia abajo desde la zona de la nube con temperatura de -10 °C.

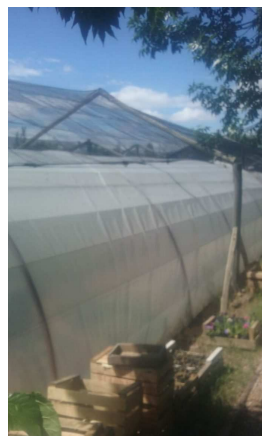
La siembra se puede realizar también con misiles de IAg dirigidos por radares hacia nubes graniceras, como se hace en la zona tabacalera de Jujuy.

- *Uso de mallas antigranizo*

Consiste en colocar mallas sobre los cultivos que actúan como barrera física frente a la caída de granizo. También pueden colocarse por encima de estructuras vulnerables, como invernaderos.



Fuente de la imagen. Chacra. 2018.  
<https://www.revistachacra.com.ar/nota/22340-en-cordoba-prueban-la-eficacia-de-mallas-antigranizo/>



Fuente de la imagen. Gobierno de Mendoza. 2018.  
<https://www.mendoza.gov.ar/prensa/avanza-la-construccion-de-veinticinco->

## Bibliografía

- Beyá Marshall V. & Fichet Lagos, T. 2018. Factores a tomar en cuenta para optimizar el uso de hélices de viento. Red Agrícola. Disponible en: <https://www.redagricola.com/cl/factores-a-tomar-en-cuenta-para-optimizar-el-uso-de-helices-de-viento/>
- Castillo, F.E. & Castellvi Sentis, F. 1996. Heladas y Protección contra Heladas. En: Agrometeorología. Pp. 221-234. Ediciones Mundi-Prensa.
- De Fina, A.L. & Ravelo, A.C. 1975. XIII. Rocio. Heladas. En: Climatología y Fenología Agrícolas. EUDEBA. 2º Ed. pp. 183-200.
- De Fina, A.L. & Ravelo, A.C. 1975. XX. La lucha contra las adversidades climáticas en Agricultura. En: Climatología y Fenología Agrícolas. EUDEBA. 2º Ed. pp. 265-276.
- Fernández Long, M.E. & Barnatán, I.E. 2013. Adversidades climáticas XVIII.1 Heladas. En: Murphy, G.M.; Hurtado, R.H. (Eds.). Agrometeorología. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. pp: 315-341.
- Maio, S. & Lamas, A.M. 2013. Adversidades climáticas XVIII.3 Granizo. En: Murphy, G.M.; Hurtado, R.H. (Eds.). Agrometeorología. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. pp: 357-365.
- Murphy, G.M. & Spescha, L. 2013. Adversidades climáticas XVIII.2 Sequías. En: Murphy, G.M.; Hurtado, R.H. (Eds.). Agrometeorología. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. pp: 343-356.
- Oberschelp, G.P.J.; Harrand, L.; Mastrandrea, C.A.; Salto, S.S. & Flores Palenzona, M. 2020. Cortinas forestales: rompevientos y amortiguadoras de deriva de agroquímicos. Ediciones INTA. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_concordia\\_cortinas\\_forestales.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_cortinas_forestales.pdf)
- Tassara, M.A. 2007. Las heladas primaverales. Protección en frutales de clima templado – frío. Ediciones INTA.
- Rivas-Saénz, S. Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial. Centro de Investigaciones Fitosociológicas. Disponible en: <http://webs.ucm.es/info/cif/form/indices.htm>
- Sotomayor, A. & Barros, S. (Eds.). 2016. Los sistemas agroforestales en Chile, Instituto Forestal, Chile. p. 440. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/INFOR-0048.pdf>