

Jornada Técnica:

La Tecnología SIS aplicada al control y prevención del riesgo de heladas en Uruguay



Dr. Ing. Rafael Guarga, Frost Protection Corp

Estación Experimental "Wilson Ferreira Aldunate"

INIA Las Brujas

15 marzo 2012

**LA TECNOLOGÍA SIS Y SUS APLICACIONES AL CONTROL Y A LA
PREDICCIÓN DEL RIESGO DE LAS HELADAS DE RADIACIÓN**

Autor: Dr. Ing. Rafael Guarga

ÍNDICE

Introducción general -----	3
I - CONTROL DE LAS HELADAS DE RADIACIÓN -----	3
1- Las heladas de radiación y sus efectos sobre los cultivos según la topografía -----	3
2- Los sistemas tradicionales de control de las heladas y sus limitaciones -----	8
3- La Tecnología SIS (TSIS) y el control de las heladas -----	11
4- Aspectos técnicos y económicos -----	18
5- La TSIS hoy en el mundo y patentes y premios nacionales e internacionales recibidos por la Tecnología SIS -----	23
II - LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DEL DAÑO POR HELADA EN LA AGRICULTURA_-----	25
1- Los Estudios de Riesgo de Helada (ERH) -----	25
2- Cómo se realiza un ERH -----	25
3- Cómo se presentan los resultados de un ERH -----	27
III- CONCLUSIONES -----	30
Referencias -----	31

PRESENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SIS PARA EL CONTROL DE HELADAS Y EL ANÁLISIS DEL RIESGO DE DAÑO POR HELADA INIA-LAS BRUJAS

Jornada de Divulgación en INIA- Las Brujas sobre la aplicación de la TSIS

Con la finalidad de que la TSIS sea mejor conocida en nuestro país, INIA Las Brujas organiza una Jornada de Divulgación consistente en una presentación a cargo de su creador Dr. Ing. Rafael Guarga.

Contenido de la presentación

- 1- Las heladas de radiación en el mundo.
- 2- El origen de la TSIS en el Uruguay.
- 3- La TSIS hoy en el mundo y los premios que se le han otorgado.
- 4- La atmosfera nocturna y las heladas de radiación.
- 5- Los sistemas tradicionales de control de heladas.
- 6- La TSIS y el control de las heladas.
- 7- Costos comparados de los distintos sistemas.
- 8- Presentación de casos de control de heladas mediante la aplicación de la TSIS.
- 9- Aplicación de la TSIS a la estimación del riesgo de daño por heladas.
- 10- Presentación de casos de estimación del riesgo de daño por heladas.
- 11- Conclusiones prácticas.

Introducción general

La pérdida mundial media anual de la producción agrícola de mayor precio de mercado debida a la acción destructiva de las heladas, se estima entre 8000 a 24000 millones de dólares. Este flagelo incrementará su acción destructiva ante un proceso de "calentamiento global", porque las variaciones fenológicas inducidas por dicho proceso también adelantarán temporalmente los períodos de mayor sensibilidad al frío del tejido vegetal. Ello permite anticipar que, en el futuro inmediato, habrá un incremento sostenido en el mundo de la aplicación de las tecnologías de control activo del daño producido por las heladas.

Las tecnologías tradicionales de control activo de las heladas (fuego, agua y viento) están hoy en crisis debido a su alto costo por hectárea y su fuerte o muy fuerte impacto ambiental negativo. En este escenario surge en el Uruguay, a fines de los 90, una nueva tecnología de control y de predicción del riesgo de heladas denominada tecnología SIS (TSIS). Esta tecnología resulta de la aplicación de conocimiento científico moderno proveniente de la mecánica de los fluidos y la termodinámica, a la solución ambientalmente sustentable de los problemas creados en la agricultura por las heladas de radiación.

Hoy, quince años después de su creación, la TSIS ha sido objeto de varios premios nacionales, de importantes premios internacionales y su aplicación se extiende ya a quince países en cinco continentes.

En el Uruguay, sin embargo, su aplicación es todavía limitada aún cuando la topografía del campo uruguayo es particularmente apta para su aplicación a costos por hectárea muy bajos.

I- CONTROL DE LAS HELADAS DE RADIACIÓN

1- Las heladas de radiación y sus efectos sobre los cultivos según la topografía

1.1- Características de las heladas de radiación

En general las heladas se agrupan en dos tipos de fenómenos que son las llamadas heladas de advección y las heladas de radiación. Las heladas de advección son consecuencia del pasaje de aire muy frío (temperaturas debajo de 0° C) sobre un determinado territorio. Este enfriamiento ocurre normalmente en los polos o en laderas nevadas próximas a la zona cultivada y las bajas temperaturas, asociadas a estos eventos, se mantienen durante todo el tiempo (día y noche) que dura el evento. Ninguna de estas causales presenta una frecuencia significativa en el Uruguay y por ello los fenómenos de enfriamiento extremos, capaces de hacer daño a los cultivos, están asociados a las heladas de radiación.

Las heladas de radiación ocurren en las noches del otoño, invierno y primavera, cuando el cielo está descubierta (sin nubes) y no hay brisas. Se denominan heladas de radiación "meteorológicas" cuando dicha temperatura se da a 1,50 m del terreno y al abrigo. Estas heladas de radiación constituyen un fenómeno que suele repetirse varias decenas de veces a lo largo del año, dando lugar a daños sobre los cultivos que, por la frecuencia con que estas heladas ocurren, pueden tener una traducción importante en materia de pérdidas económicas.

En lo que sigue nos referiremos únicamente a las heladas de radiación, ya que este es el fenómeno que afecta los cultivos en el Uruguay y, como se verá, el escenario físico en el cual estas heladas ocurren (la atmósfera estratificada) es el escenario en el cual opera el Sistema SIS.

En las condiciones atmosféricas de la helada de radiación (cielo nocturno despejado, ausencia de brisa y de niebla) el suelo se enfría por radiación a través de la atmósfera que es semitransparente a la radiación electromagnética de longitud de onda larga (radiación infrarroja). El suelo, más frío que el aire, enfría a su vez al aire por transmisión radiante del aire y, en menor grado por conducción turbulenta y molecular. El enfriamiento es más pronunciado en las capas bajas (primeras decenas de metros) de la atmósfera y va reduciéndose a medida que se asciende en la atmósfera.

En la Figura 1.1 se muestra, en forma gráfica cómo, varía según la altura, la temperatura y la densidad del aire al final de una noche de helada de radiación.

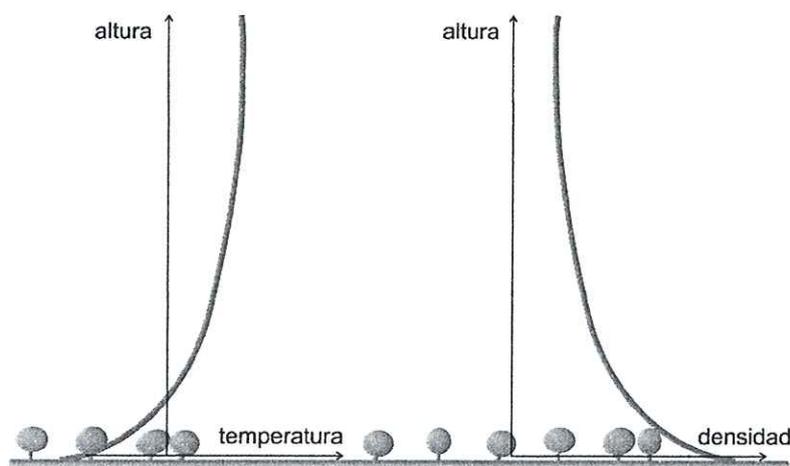


Figura 1.1- Variación con la altura de la temperatura y de la densidad del aire al final de una noche de helada de radiación.

Cuando se produce el fenómeno que se ha relatado, en la atmósfera cercana al suelo se tiene la llamada "inversión térmica" pues contrariamente a lo que ocurre durante el día cuando la temperatura del aire disminuye con la altura, en las condiciones de la helada de radiación, la temperatura del aire aumenta con la altura, en las referidas capas bajas.

Siendo la densidad del aire decreciente con la temperatura, se produce una organización estable de la atmósfera pues las capas más bajas son las más frías

y por lo tanto las más densas. En estas condiciones la atmósfera puede representarse idealmente como una sucesión en vertical de "estratos" o "capas" horizontales de aire, de densidad decreciente cuanto más alejadas del suelo se encuentren. El referido fenómeno se denomina "estratificación" de la atmósfera.

La atmósfera estratificada presenta propiedades de gran interés. En particular, aquí se hará referencia a los flujos del aire frío o "corrientes de densidad". Estas corrientes se producen cuando el suelo presenta pendientes (topografía compleja) o existen desniveles (escalones) en el terreno. El aire más frío (más denso) se desliza pendiente abajo, bajo la forma de una corriente de densidad. Este fenómeno físico también se ha denominado "viento de pendiente" (downslope wind) porque su origen radica en la presencia de una atmósfera estratificada sobre un suelo inclinado y no en gradientes de presión (causa habitual del viento).

Los conceptos anteriores han sido expuestos en forma amplia por diversos autores (ver por ejemplo Turrel, F. M., 1973 y Kalma, J.D., 1993, Evans, R., 2000)

En la **Figura 1.2** se presenta un esquema muy simplificado de un viento de pendiente desplazándose pendiente abajo por una ladera en una noche en la cual la atmósfera se encuentra estratificada. En dicha figura puede observarse que el viento de pendiente (VP) aumenta su altura (espesor) a medida que se desplaza pendiente abajo y asimismo aumenta el caudal de aire frío transportado. Para dar una idea del orden de magnitud de estos vientos si se considera una pendiente de 3% de inclinación y de 300 m de longitud, la altura del viento en el extremo inferior de la pendiente es de aproximadamente 1.8 m y el caudal transportado por unidad de ancho es de $q = 0,40 \text{ m}^2/\text{s}$.

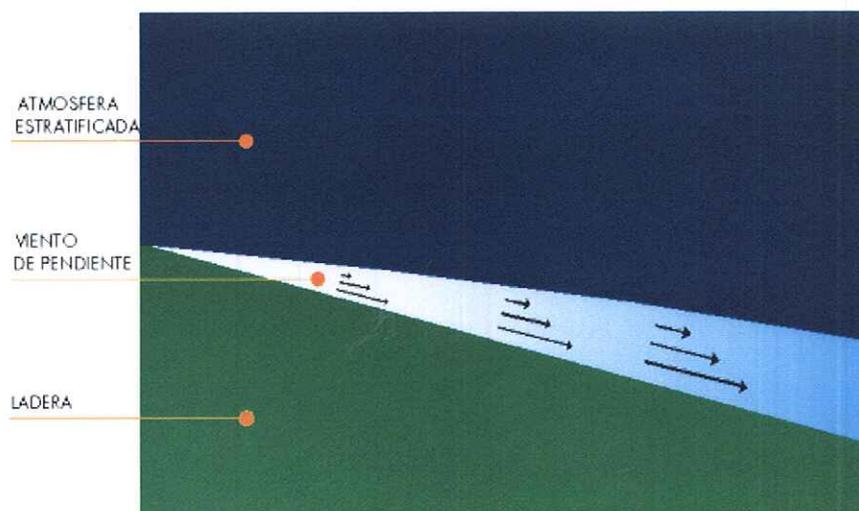


Figura 1.2- Esquema muy simplificado de un viento de pendiente (VP)

Las referidas corrientes de densidad o VP son las responsables de transportar el aire frío pendiente abajo, por las laderas y hacia las zonas más bajas de los terrenos. La consecuencia de la estratificación de la atmósfera sobre un suelo con

topografía ondulada es entonces el desplazamiento del aire frío hacia las zonas más bajas de las cuencas.

Los elementos básicos sobre las heladas de radiación arriba expuestos permiten, entre otros aspectos, comprender el efecto tan conocido por los productores en cuanto a que el daño producido por este tipo de heladas es siempre más intenso en las zonas bajas del terreno que en las zonas altas.

La localización del daño es otro elemento que ayuda a diferenciar las heladas de advección de las de radiación ya que las heladas de advección son producto de un viento helado que daña más las zonas altas del terreno en comparación con el daño causado en las zonas bajas del mismo.

1.2- Las heladas de radiación y sus efectos diferenciados según la topografía

Según lo observado precedentemente el efecto combinado de la estratificación de la atmósfera (consecuencia de la helada de radiación) y la topografía ondulada del terreno genera los referidos VP. Ello establece diferencias significativas en la acción de las heladas de radiación según la topografía sea plana y horizontal o no lo sea (topografía ondulada). Por ello, en esta sección examinaremos con mayor detalle el efecto de las heladas de radiación según la topografía del terreno. Trataremos en primer lugar el efecto de la helada en topografía plana y luego veremos dicho efecto en topografía ondulada.

1.2.1- Efecto de la helada de radiación en topografía plana

En topografía plana los VP no actúan y por ello la estratificación de la atmósfera tal como se presenta en la **Figura 1.1** caracteriza la atmósfera cercana al terreno (decenas de metros).

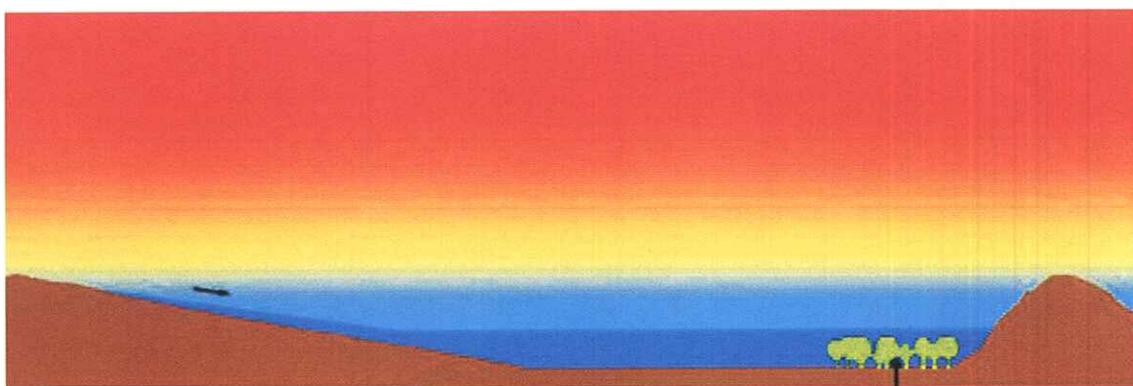
Por otra parte, no existiendo los VP responsables de enfriar las zonas bajas respecto a las zonas altas, en una quinta con topografía plana y horizontal las temperaturas a una misma altura sobre el suelo son iguales en toda la extensión de la zona plana y horizontal considerada.

Las topografías planas, tal como las describimos precedentemente, no son frecuentes en nuestro país pero sí lo son en grandes zonas de cultivo del mundo (valles en Chile y Argentina, valles en California, Washington y Oregon, Valle de Adana en Turquía, extensas zonas en Ucrania, etc.).

1.2.2- Efecto de la helada de radiación en topografía ondulada

Como ya se estableció anteriormente cuando la atmósfera se estratifica en las noches claras y calmas y ello ocurre en una topografía ondulada se originan los VP. Estos VP son estructuras fluidicas capaces de desplazar grandes caudales de aire frío de las zonas altas del terreno a las zonas bajas aledañas. Esta acción de los VP es la causa por la cual en las zonas bajas de las quintas suelen registrarse temperaturas más bajas que en las zonas altas.

En la **Figura 1.3** se ilustra un caso particular de topografía ondulada que nos sirve para ilustrar la acción de los VP durante una noche de helada de radiación. A la izquierda de la imagen se muestra una ladera que finaliza en un valle, dentro del cual se encuentra una plantación. Sobre la referida ladera se origina un VP que desplaza el aire más frío hacia el valle. A la derecha del valle la imagen indica que la topografía bloquea la salida del aire frío, con lo cual durante la noche el aire frío que el VP desplaza hacia el valle inunda a éste. Dicha inundación de aire frío es la que instala sobre la plantación del valle temperaturas que pueden ser varios grados centígrados más bajas que las temperaturas que se registran en las zonas altas que rodean el valle.



Plantacion dentro de los estratos con temperatura letal

Figura 1.3- Efecto de la topografía en la generación de VP en las diversas zonas de una topografía ondulada. En la figura se indica en azul las temperaturas más bajas y con rojo las más altas.

El efecto de la helada que ilustra la **Figura 1.3** es un caso particular que solo pretende mostrar los mecanismos que actúan cuando la estratificación de la atmósfera (asociada siempre a las heladas de radiación) ocurre en una zona de topografía ondulada.

Los casos particulares son muy diversos pero todos ellos tienen en común la existencia de VP que por las laderas desplazan aire frío desde las partes altas a las partes bajas de la quinta.

Visto el comportamiento de la atmósfera cercana al terreno en una noche clara y calma (condiciones asociadas a las heladas de radiación) estamos en condiciones de examinar los sistemas de control activo de las heladas de radiación cuyo empleo se ha extendido en el mundo (sistemas tradicionales) previamente a la creación de la Tecnología SIS (TSIS).

2- Los sistemas tradicionales de control activo de las heladas y sus limitaciones.

A continuación presentaremos los tres sistemas de control activo (mediante la incorporación de energía) existentes en el mundo, previamente a la creación de la TSIS. Asimismo, en cada uno de los sistemas presentados, indicaremos cual es su comportamiento en el caso de que la helada sea más intensa que la helada de diseño. O dicho de otra forma, examinaremos las limitaciones de cada uno de los sistemas tradicionales.

2.1- Calefactores

Este sistema incorpora calor al cultivo procurando compensar el calor extraído por la helada. Para ello se vale de la combustión en focos distribuidos sobre el campo de cultivo de combustibles diversos (residuos vegetales, residuos de lubricantes, neumáticos, gas-oil, etc).

La versión más elaborada del mismo es la combustión de gas oil en quemadores con chimenea radiante, especialmente diseñados al efecto. En la **Figura 2.1** se muestran estos quemadores con chimenea.

CALENTAMIENTO DEL CULTIVO POR MEDIO DE CALEFACTORES

124 calefactores por hectárea

4 litros de combustible por calefactor
por hora

Antigüedad de la tecnología > 2000
años

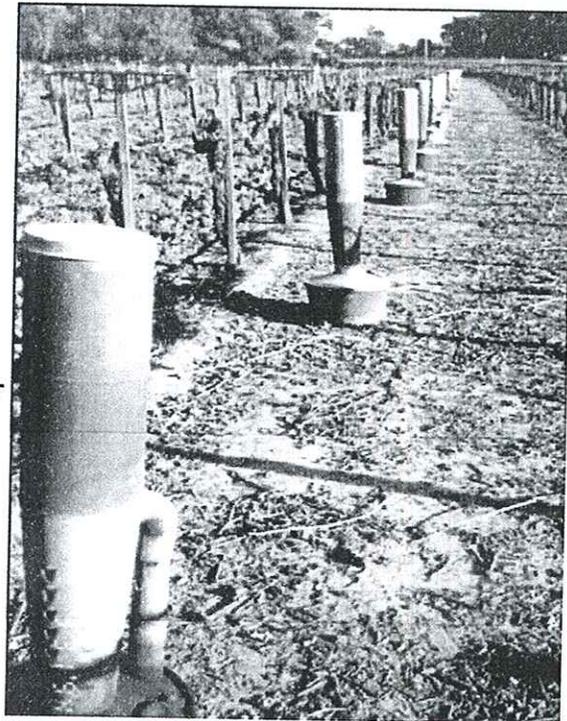


Figura 2.1- Quemadores con chimenea radiante protegiendo un cultivo

Tomando los datos correspondientes a la acción de un sistema de calefactores con chimenea radiante de la publicación CTIFL, 1998, cada uno de estos calefactores es capaz de quemar 4 l/h de gas-oil con un rendimiento del 50% en cuanto a la energía emitida en forma radiante. Deben disponerse en una retícula de 9m x 9m para incrementar la temperatura del cultivo en + 1°C en el punto medio del cuadro de 9mx9m (el punto medio es el punto que menor energía

radiante recibe). Ello significa colocar 124 calefactores por hectárea y el gasto de combustible es de 500 litros de gas-oil por hora y por hectárea protegida.

En cuanto a las limitaciones del sistema, puede verse que si se produjese una helada que induce sobre el cultivo una temperatura tal que el incremento de + 1°C que introduce el sistema de calefactores no logra impedir, o sea que si se hubiese requerido para impedirlo, en este ejemplo, un sistema que incrementase + 2°C, la mencionada helada afectaría todo el cultivo, excepto un círculo de 24m alrededor de cada calefactor. En consecuencia, un 78% del área cultivada se vería afectada en la situación de este ejemplo.

Los inconvenientes que el sistema de calefactores presenta son: i) su costo muy alto en cuanto al uso de combustible, ii) la emisión de humo (por ello este sistema está prohibido en los países donde existen disposiciones específicas para la protección del ambiente) y iii) el empleo intensivo de mano de obra en el campo para el encendido, recarga y apagado de los calefactores.

2.2- Riego sobre el cultivo

Este sistema también incorpora calor al cultivo empleando para ello la emisión de calor por parte del agua al pasar del estado líquido al estado sólido (hielo). Considerando los sistemas más efectivos (riego sobre el follaje) de control por riego y entre ellos uno capaz de elevar la temperatura del cultivo + 1°C, este sistema (CTIFL, 1998) deberá proveer 2mm/h de agua sobre el cultivo (con 3mm/h se protege un descenso de - 2°C y con 4mm/h se protege un descenso de - 3°C). En la **Figura 2.2** se observa la protección por riego instalada en un vivero forestal.

CALENTAMIENTO DEL CULTIVO POR MEDIO DEL CALOR DE CONGELACIÓN DEL AGUA

VIVERO FORESTAL

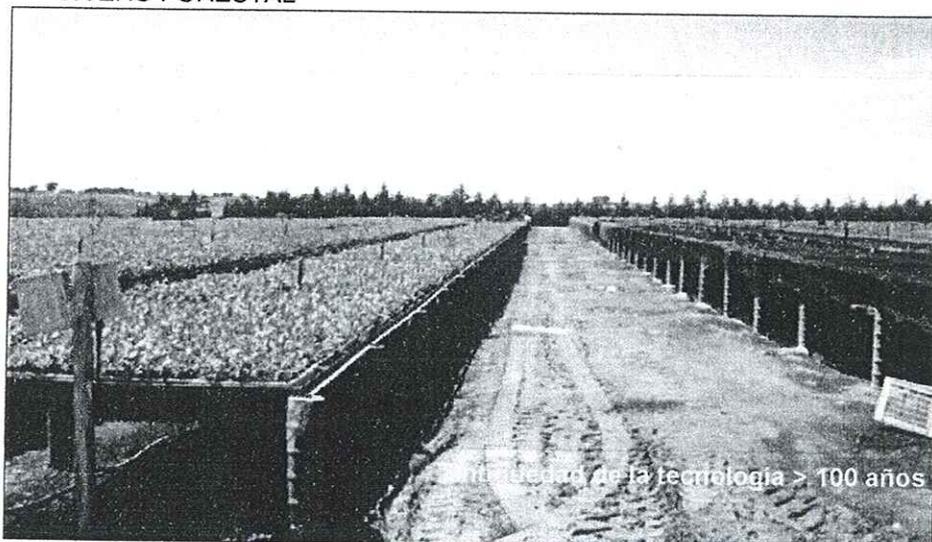


Figura 2.2- Riego sobre el cultivo operando en un vivero forestal

En cuanto a las limitaciones del sistema debe señalarse que si la helada produjese un descenso mayor de $- 1^{\circ}\text{C}$ por debajo de la temperatura de daño, éste sería generalizado ya que la operación del sistema que eleva en $+ 1^{\circ}\text{C}$ la temperatura del cultivo no sería capaz de controlarlo. El daño será tanto mayor cuanto mayor fuese el descenso de temperatura y cuanto más tiempo actuase dicha temperatura sobre el cultivo.

Los inconvenientes que presentan los sistemas de control por riego son esencialmente dos: i) el alto costo de inversión inicial pues usualmente requiere disponer de una presa para alimentar los caudales capaces de suministrar los 2mm/h durante la duración de la helada y ii) la necesaria disponibilidad de grandes volúmenes de agua a esos efectos. Este requisito es el que hoy está actuando contra este tipo de sistema en los campos de cultivo donde las disposiciones de priorización del empleo de agua comienzan a aplicarse.

2.3- Molinos antiheladas (Wind Machines, WM)

Estas máquinas se desarrollaron en los EEUU y comenzaron a aplicarse desde 1920 en adelante. En la **Figura 2.3** puede verse una WM instalada en un viñedo. Su acción sobre el cultivo ha sido estudiada ampliamente y aquí emplearemos a Gerber, 1979 como referencia. En la referencia citada se examina el efecto de la estratificación atmosférica en la acción de la máquina y se mide el incremento de temperatura que se obtiene en el aire que rodea el cultivo en función de la distancia horizontal tomada desde la base de la máquina. Tomando los resultados de la referencia, se llega al siguiente escenario para un cultivo sin follaje y para una máquina de 150 HP.

CALENTAMIENTO DEL
CULTIVO POR SOPLADO DE
AIRE CALIENTE (las
máquinas de viento, Wind
Machines)

Potencia del motor 150 HP

Antigüedad de la tecnología: 90 años



Figura 2.3- Máquina de viento protegiendo un cultivo de vid

Para las condiciones más favorables de operación de la máquina (máxima inversión térmica, 5.5°C entre 1,5m y 15m) se produce un incremento mayor o igual a +1° en un área de 3 hectáreas (ha) con centro en la máquina y un incremento mayor o igual a +2°C en un área de 0,9 ha.

Respecto a las limitaciones del sistema puede señalarse que si la intensidad de la helada exigiese una protección de +2°C, el área originalmente protegida de 3 ha se dañará en un 60%.

Los inconvenientes asociados a este sistema son: i) el costo de la inversión inicial y del importante consumo energético (50 HP/ha) y ii) el muy alto nivel de ruido producido por las hélices, lo que limita su uso a zonas sin casas-habitación cercanas.

3- La Tecnología SIS (TSIS) y el control de las heladas

La Tecnología SIS se basa en la extracción directa del aire frío que daña el cultivo tanto en la topografía plana y horizontal como en las zonas bajas de la topografía ondulada, mediante el empleo de unos dispositivos mecánicos de construcción sencilla denominados Sumideros Invertidos Selectivos (Selective Inverted Sinks, SIS).

3.1 Qué es y cómo trabaja el Sumidero Invertido Selectivo (SIS)

En esta Sección se hará una breve introducción al SIS como dispositivo mecánico y luego se examinará la interacción entre dicho dispositivo mecánico y la atmósfera estratificada que, como ya se vio en el Capítulo 1, es la organización que caracteriza a la atmósfera cercana al terreno, en los episodios de helada de radiación.

3.1.1 Qué es el SIS

El SIS es un dispositivo mecánico sencillo. Se trata de un ventilador axial con eje vertical que impulsa el aire de abajo hacia arriba. A los efectos de aumentar al máximo su eficiencia, el ventilador está inserto en un tubo cilíndrico (coaxial con el ventilador) que dispone de una embocadura cónica para reducir las pérdidas de carga en la entrada del aire al tubo cilíndrico.

En la **Figura 3.1** se presenta un esquema genérico que representa todos los modelos de SIS que actualmente se fabrican. El modelo más pequeño tiene una hélice de 2.40 m de diámetro y el modelo más grande fabricado tiene una hélice de 5.40 m.

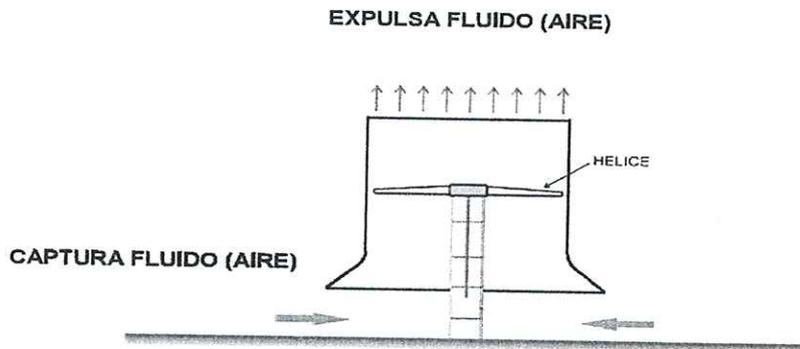


Figura 3.1- Esquema genérico de todos los dispositivos SIS

3.1.2 Cómo trabaja el SIS en una atmósfera estratificada

Este dispositivo mecánico, operando en el seno de una atmósfera estratificada, ejecuta dos operaciones cuyas características le confieren al SIS la condición de innovación radical en el campo del control de heladas.

La primera operación es la captura preferencial de los estratos más fríos de la atmósfera. Ello se denomina técnicamente "extracción selectiva" y es un fenómeno que comenzó a ser estudiado científicamente, en el área de la mecánica de los fluidos, en los años 50 del siglo XX.

La segunda operación es la emisión de un chorro frío (más denso que la atmósfera a la altura de la descarga del SIS) que se eleva verticalmente incorporando aire de los estratos más calientes que atraviesa y con ello el fluido que avanza en el chorro va reduciendo su densidad y aumentando su temperatura. De esta manera las partículas que viajan en el chorro no pueden regresar al terreno porque se interponen muchos metros de atmósfera más fría y densa entre la altura en la que el chorro deja de ascender ("alcance del chorro") y el terreno. Ello obliga al chorro a difundirse lateralmente a una altura denominada "altura de intrusión" algo menor que la "altura máxima" a la cual llega el chorro. En dicha "altura de intrusión" la temperatura de la atmósfera estratificada coincide con la temperatura media del chorro. Este fenómeno de ascenso de chorros "pesados" (más densos que la atmósfera circundante) en atmósferas estratificadas, ha comenzado a ser estudiado científicamente pocos años atrás y es aún un tema abierto a la investigación básica.

En la **Figura 3.2** se presenta el esquema de un SIS en operación donde se destaca la extracción selectiva de la fracción más fría de la atmósfera circundante, la formación del chorro ascendente con incorporación de fluido proveniente de la

atmósfera circundante y la dispersión horizontal del fluido movido por el chorro a la altura de intrusión.

Al ejecutar eficientemente ambas operaciones, el SIS logra extraer el fluido más frío que rodea al cultivo y desplazarlo hacia un “recipiente” de capacidad infinita centrado alrededor de la “altura de intrusión” mencionada. La “altura de intrusión” se regula controlando la velocidad de salida en la descarga del SIS.

A los efectos de ilustrar el fenómeno descrito precedentemente en cuanto al papel jugado por la estratificación de la atmósfera en impedir el descenso del fluido elevado por el chorro sobre el cultivo de la finca, puede verse un video ilustrativo en la siguiente página web: www.frostprotection.com. Ya en la página, el interesado debe dirigirse a “Control de heladas” y una vez allí a “Qué es el Sistema SIS”. Aquí encontrará el siguiente “link” “Video sobre el comportamiento del ascenso del chorro del SIS en una atmósfera estratificada” y luego dirigirse a “Ver más”.

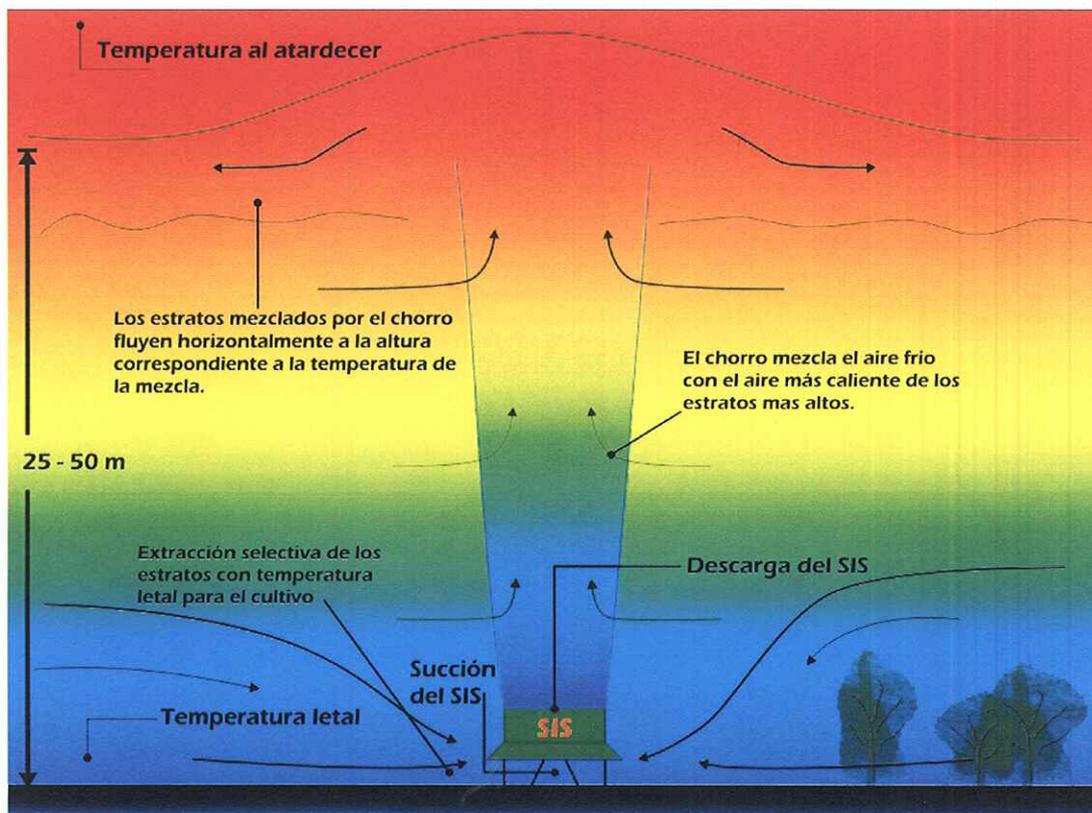


Figura 3.2- Acción del SIS operando en una atmósfera estratificada. En la figura se indica con azul las temperaturas más bajas y con rojo las más altas.

Por lo expuesto, el SIS materializa, en tanto dispositivo mecánico, la aplicación a la atmósfera estratificada de conocimientos científicos avanzados y modernos que, como ya se señaló, le confieren el carácter de innovación radical que le ha valido varios premios internacionales.

Habiendo descrito la operación de un dispositivo SIS en el seno de la atmósfera estratificada, veremos como se emplean los dispositivos SIS a los efectos del control del daño causado por las heladas de radiación sobre los cultivos.

3.2- El sistema SIS aplicado al control del daño causado por las heladas de radiación en los cultivos

El sistema SIS se vale de la posibilidad técnica de efectuar la extracción selectiva del aire más frío y por tanto el aire que mayor daño produce al cultivo, en las condiciones de estratificación que presenta la atmósfera, cuando se produce una helada de radiación.

Dicho sistema se diseña tomando como dato la topografía de la quinta que se desea proteger. Si bien la protección que brinda el sistema puede incrementarse en función del caudal de aire frío drenado por hectárea, un primer escalón de la protección en terreno ondulado es aproximar (en las condiciones de helada) las temperaturas (a la altura del cultivo) que se observan en las zonas bajas del terreno (que llamaremos "valles") con las que se observan en las zonas altas (que llamaremos "cimas"). Ello es efectivo, desde el punto de vista de la protección antihelada, si el daño que la helada produce en las "cimas" de la quinta o no existe o su ocurrencia es excepcional.

De lo señalado precedentemente surge que si en una quinta dada las heladas frecuentes producen daños considerables en los "valles" no protegidos y muy poco daño en las "cimas", la protección ofrecida por el sistema SIS (diseñado para actuar de forma de aproximar el comportamiento ante las heladas de los valles con el de las cimas), hará que el daño en los valles se reduzca sensiblemente, asemejándose al escaso daño observado en las cimas.

A continuación se expondrá con mayor detalle cómo trabajan los SIS en topografía ondulada y en topografía plana.

3.3- Cómo trabajan los Sumideros Invertidos Selectivos (SIS) en topografía ondulada

En un terreno con pendientes, un objetivo prioritario en cuanto al control del daño por helada es procurar evitar en las zonas bajas del terreno el problema de daño por frío. Para ello y de acuerdo con lo expuesto en la Sección 1.1 bastará evitar que el aire frío y denso transportado hacia el valle por los VP que se desarrollan sobre las laderas, se acumule en la zona baja.

Conociendo los caudales de los VP generados por las laderas que convergen hacia el valle en cuestión, es posible extraer dicho aire frío del valle aplicando energía mecánica. Para ello se aplican los Sumideros Invertidos Selectivos del modo que se explicará.

A continuación se presenta la acción de los SIS dirigida a evitar el daño por helada de un cultivo que se encuentra en una zona cuya altura es baja en relación con la altura del terreno que la rodea, zona que denominamos "valle". Debe señalarse que ésta es solo una de las situaciones de trabajo posibles de los SIS

aunque suele ser la más frecuente en la práctica. Otra situación posible de trabajo de los SIS en topografía con pendiente refiere a daños no ya en una zona baja sino a daños por helada en las propias laderas que rodean un valle.

En lo que sigue, sin embargo, solo se tratará el caso del valle pues el propósito es únicamente explicar cómo actúan los SIS para reducir el daño por helada en topografía ondulada y ello puede hacerse en forma sencilla para el caso referido.

En la **Figura 3.3** se muestra al SIS actuando en el escenario referido.

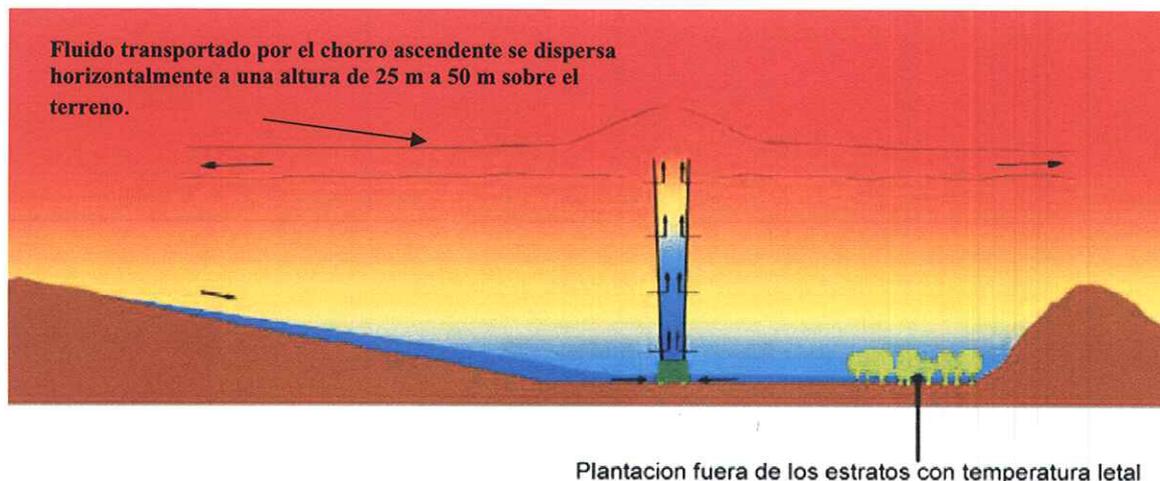


Figura 3.3- El SIS drenando el aire a temperatura letal en una zona baja que recibe el aire frío de una ladera aledaña. En la figura se indica con azul las temperaturas más bajas y con rojo las más altas.

En la **Figura 3.3** puede verse cómo la acción del SIS a lo largo de la noche controla la inundación de aire con una temperatura letal para el cultivo. Dicho control ocurre porque el SIS (o un conjunto de SIS) captura selectivamente el aire más frío, lo lanza hacia arriba a través de los estratos de la atmósfera estratificada y por las propiedades de los chorros pesados actuando en una atmósfera estratificada, el aire frío capturado por el SIS se mezcla, en su ascenso por el chorro, con los estratos progresivamente más calientes que va atravesando para finalmente dispersarse horizontalmente a la “altura de intrusión” en la cual la temperatura media del chorro se iguala con la temperatura del estrato correspondiente a esa altura.

Como se ilustra en la **Figura 3.3** y en el video referido en la Sección precedente, el chorro no cae nuevamente sobre la quinta sino que finaliza su recorrido dispersándose en la atmósfera, a una altura de 25 m a 50 m sobre el terreno, dependiendo del modelo de SIS que se emplee.

Una aplicación al campo uruguayo del control activo efectuado por los SIS puede verse en Augsburg, H. K., 2000 y en Guarga, R et al, 2000 entre otros.

3.4 -Como trabajan los SIS en topografía plana y horizontal

En la **Figura 3.2** se mostró la acción del SIS captando el aire frío en el cual está sumergido el cultivo. Como se explicó, el SIS captura selectivamente los estratos más densos y fríos que se extienden sobre la quinta y sobre la totalidad del terreno plano y horizontal que rodea la misma. Por ello, debe establecerse una separación mediante una cortina vertical perimetral, de altura semejante a la del cultivo, que impida el flujo de los referidos estratos densos y fríos hacia el interior de la quinta.

En la **Figura 3.4** se presenta el esquema de un SIS trabajando sobre una topografía plana y horizontal con una cortina perimetral que rodea al cultivo protegido impidiendo el flujo horizontal, hacia el SIS, de los estratos con temperatura letal localizados fuera del perímetro del recinto rodeado por la referida cortina.

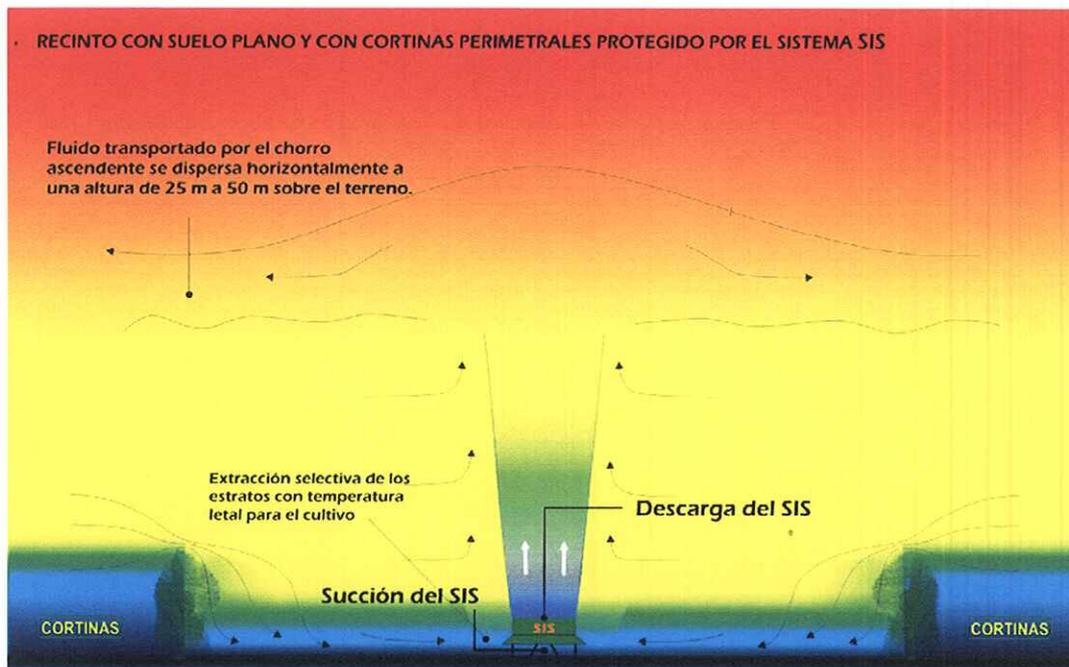


Figura 3.4 Quinta con cortinas perimetrales rodeando el recinto. El recinto cuenta con SIS en su interior que drenan el aire más frío. En la figura se indica con azul las temperaturas más bajas y con rojo las más altas.

En la **Figura 3.4** se observa cómo los estratos fríos (interiores al recinto rodeado de una cortina perimetral) son drenados por uno o varios SIS. Ello obliga a que el caudal de aire frío extraído por los SIS que operan al interior de la quinta sea reemplazado por aire proveniente de los estratos altos (aire menos denso y más caliente), tal como se ilustra en dicha figura. De esta forma se puede obtener en el interior de la quinta, y a la altura del cultivo, un incremento de temperatura que dependerá de la intensidad del drenaje efectuado por los SIS y de la altura de la cortina perimetral.

Como puede observarse en la **Figura 3.4**, el proceso de drenaje que realizan los SIS no destruye la estratificación de la atmósfera sino que al extraer los estratos bajos (más densos y más fríos) produce un desplazamiento descendente de la estratificación de la atmósfera que sumerge ahora al cultivo en estratos más calientes. Con ello se obtiene la protección deseada con un empleo muy reducido de potencia mecánica (5 HP /ha).

En cuanto a la cortina perimetral, ésta puede ser vegetal o, de no haber cortina vegetal al instalarse los SIS, puede construirse una cortina perimetral artificial de baja altura y con materiales plásticos de reducido valor, cortina que se desechará al crecer la cortina vegetal permanente.

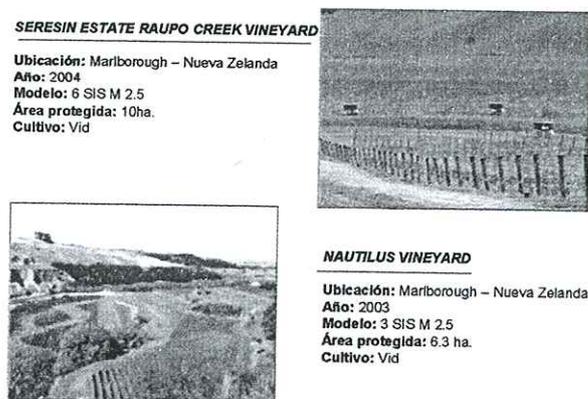
3.5- Aplicación de la tecnología SIS (TSIS) a una quinta determinada mediante la realización de un Estudio de Control de Heladas (ECH)

El número, el tipo y la localización precisa de los equipos SIS en el campo así como la localización y altura de cortinas en caso de ser necesarias son el resultado de un detallado Estudio de Control del daño por Helada (ECH) a realizarse previamente en la quinta considerada.

En dicho estudio se tiene en cuenta el tipo de cultivo a proteger, la forma y dimensiones de la finca, las características del suelo de la quinta, la información meteorológica regional disponible para caracterizar el o los episodios de helada cuya huella de daño es informada por el productor y el tipo de cortinas vegetales existentes en la quinta.

El ECH concluye con una recomendación sobre el número y modelo de SIS necesarios, su localización y con la determinación de la altura y longitud de las cortinas que se requiriesen. Asimismo, en el ECH se recomiendan diversas medidas pasivas de control de heladas, específicas para cada plantación.

En la **Figura 3.5** se presentan baterías de SIS protegiendo cultivos en Nueva Zelanda.



63

Figura 3.5- Baterías de SIS protegiendo cultivos en Nueva Zelanda

4- Aspectos técnicos y económicos

En esta sección se presentan consideraciones técnicas y económicas que permiten evaluar la eficiencia de los distintos métodos de protección de cultivos contra las heladas.

La sección está organizada en cuatro partes:

- Modelos de equipos SIS, áreas protegidas y características técnicas
- Comparación entre los distintos métodos de protección de cultivos contra heladas
- Datos generales de instalaciones de aplicación de la TSIS al control de heladas
- Consideraciones ambientales

4.1 Modelos de Equipos SIS, áreas protegidas y características técnicas

Modelo de SIS	Área protegida (ha)	Motorización	Potencia consumida
M 2.5	0.5-2	Eléctrica	3 HP
M 3.5	1-3	Eléctrica	7 HP
M 15	6-13	Eléctrica	15 HP
M 15	6-13	Toma de fuerza tractor	16 HP
M 25	10-20	Toma de fuerza tractor	50 HP

Observaciones:

- 1) El área protegida presentada en la tabla es solamente indicativa. El área protegida de cada equipo en cada proyecto individual depende básicamente de la topografía de cada finca y de la severidad del daño observado. Ello lo determinará el correspondiente Estudio de Control de Heladas (ECH) asociado al sistema SIS. El número, modelo y localización de los SIS en cada finca se determina en el ECH que se realiza para cada instalación SIS en el mundo.
- 2) Los equipos M2.5 y M3.5 no necesitan base de hormigón. Los equipos M15 y M25 necesitan base de hormigón, cuyo plano constructivo se entrega con los aparatos.
- 3) Los equipos M2.5, M3.5 y M15 se pueden automatizar muy fácilmente.
- 4) Para motorizar el modelo M25 mediante tractor, se necesita un tractor con un mínimo de 55 HP.

4.2 - Comparación entre los distintos métodos de protección de cultivos contra heladas

4.2.1- Costos de inversión y operación

Los costos de inversión y operación por hectárea son muy inferiores a los costos correspondientes de los sistemas tradicionales.

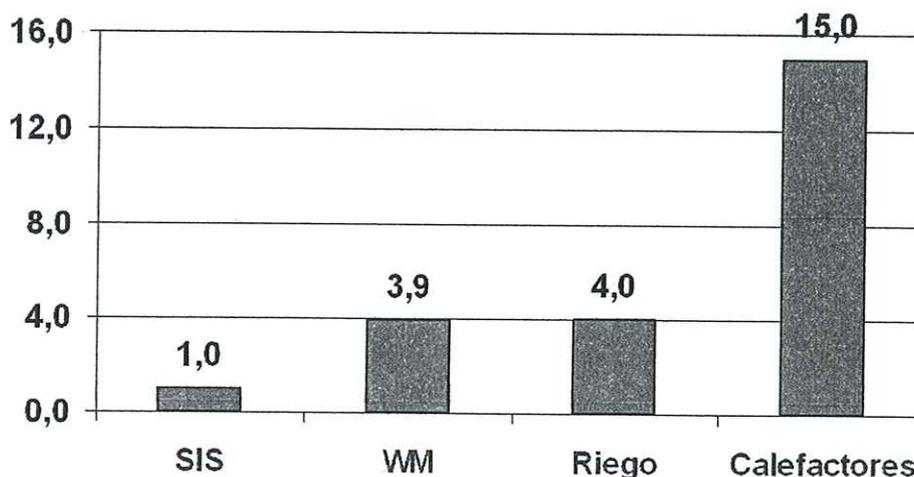
Se tomó un período de 3 años de amortización de la inversión inicial y se consideraron 20 episodios de helada por año con una duración de 6 horas cada uno, a los efectos de la comparación.

El costo anual por hectárea protegida que se compara, corresponde al período de amortización (3 años).

La gráfica siguiente muestra la relación entre los costos anuales de inversión y operación por hectárea de las diferentes tecnologías.

Los datos sobre costos de inversión y operativos de las tecnologías de protección contra las heladas han sido tomados de CTIFL, 1998, capítulo 5 ("Comparaison des différents systemes") y de Evans, R., 2000.

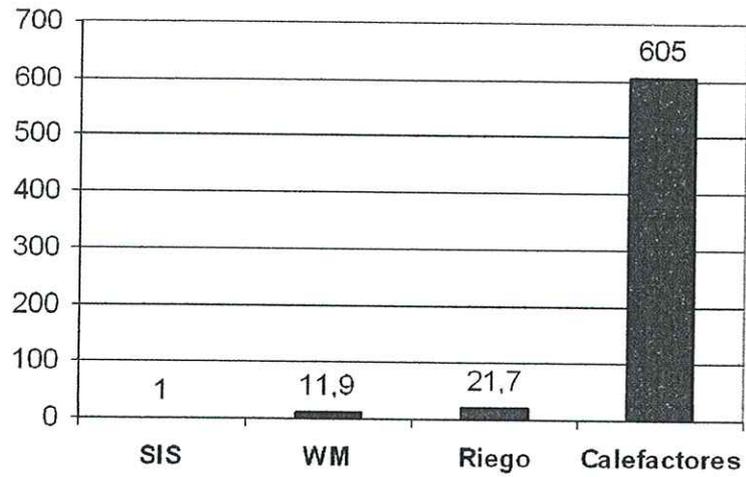
Relación entre los costos anuales de inversión y operación por hectárea de las diferentes tecnologías



4.2.2 - Costos operativos

En la gráfica siguiente se muestra una comparación que tiene en cuenta solamente los costos operativos de las distintas tecnologías. A los efectos de la comparación se consideraron 20 episodios de helada por año con una duración de 6 horas cada uno.

**Relación entre los costos anuales de
operación por hectárea de los
diferentes tecnologías**



4.3- Datos generales de instalaciones de aplicación de la TSIS al control de heladas

Se presentan aquí algunos ejemplos reales de los beneficios del sistema SIS (en dólares americanos)

Cliente	País	Cultivo	Dispositivo	Área protegida (ha)	Costo de inversión (USD por ha)	Costos operativos totales ¹ (USD por ha)	Ahorros anuales ² (USD por ha)
Brian Heywood	MZ	Kivi	2 unidades M2,5 Eléctricos	2,6	5.000	2,89	2900
Yalumba Vineyard	AUS	Uva para vino	2 unidades M3,5 motor a gasolina	3	6.533	8,03	2400
Robert Sinskey	USA	Uva para vino	2 unidades M2,5 Units, motor a gasolina	4	4.400	5,1	6900
Mc Naughton	NZ	Kivi	5 unidades M2,5 motor a gasolina	7	6.285	7,28	1940
Varela Zamanz	URU	Uva para vino	1 unidad M25 Unit, propulsada a tractor	17	1.300	1,55	600
Whitby Farms	EEUU	Cherries	5 M5 Units, motor a gasolina	20	2.700	3,45	4160
Cornerstone Orchards	EEUU	Durazno	3 M15 Units, propulsados a tractor	40	1.275	1,8	1673
El Río Vineyard	EEUU	Uva para vino	12 M5 unidades, motor a gasolina	75	1.728	1,92	1350
Bethlehem Farmers Trust	S.A	Manzana	30 unidades M3,5 eléctricos	110	1.960	0,68	570
Jocot SA	ARG	Jajoba	15 unidades M15, Eléctricos	120	1.375	0,57	400

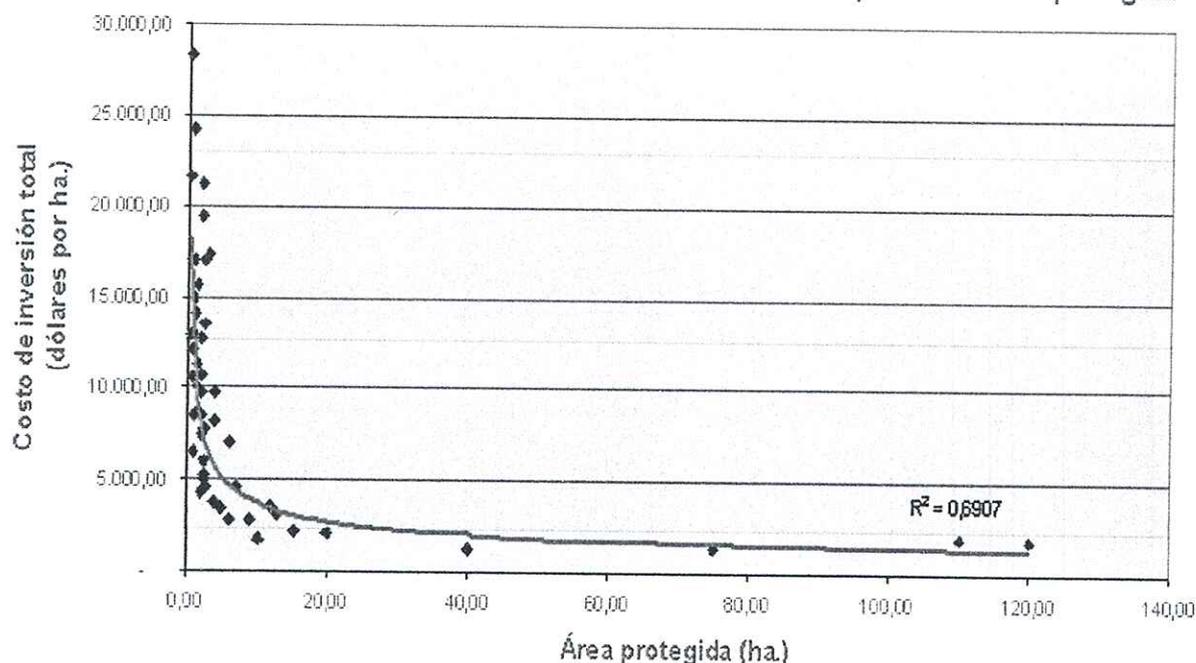
¹ Los costos operativos incluyen el consumo de gasolina o electricidad. Estos valores dependen fuertemente del país y la ubicación de la finca. La base de cálculo es una helada de 6 horas de duración.

² Los ahorros anuales, debido a la acción del SIS, son estimados utilizando el rendimiento, el precio del cultivo, información sobre daño y un período de retorno de 5 años para una helada de 20% de daño. La fórmula utilizada es: Ahorros anuales por ha. Annual savings = rendimiento (tons./ha.) * precio (USD por ton.) * daño por helada (%) * 1/5 (años).

Cabe observar que los costos de inversión del sistema SIS se reducen al aumentar el área protegida en la plantación. Esto muestra la capacidad del sistema SIS de reducir costos por ha al crecer la escala de la aplicación. Ello se explica por el hecho de que a medida que el área protegida es mayor la solución diseñada puede incluir máquinas mayores y más eficientes, lo que lleva a menores costos de inversión por ha.

La referida capacidad del sistema SIS puede ilustrarse en un gráfico basado en valores reales, para ello se utiliza como base diferentes instalaciones de la TSIS para mostrar empíricamente como el costo de inversión por ha disminuye con el aumento del área protegida

Gráfico 3. Costo total de inversión en el sistema SIS por ha. vs. área protegida



4.4- Consideraciones ambientales

La operación del sistema SIS efectúa una extracción selectiva del aire frío que no daña los cultivos, de manera limpia y sin ocasionar ningún tipo de impacto ambiental negativo (sonoro, hídrico, atmosférico) al ecosistema al cual pertenece la plantación (incluyendo poblaciones vecinas y operarios del SIS).

Frost Protection Corporation, con su principal producto el Sistema SIS, fue galardonada en 2004 con el premio Intel Environment Award (ver [Tech Awards](#)) en California, EEUU, en la categoría Medio Ambiente. De los 580 nominados al premio provenientes de 80 países, sólo 25 fueron seleccionados, estando Frost Protection Corporation entre ellos.

Asimismo esta condición amigable con el medio ambiente que presenta el Sistema SIS ha llamado la atención a los productores que practican la denominada Agricultura Orgánica. Estos productores procuran que toda la metodología agrícola empleada para desarrollar sus cultivos, no contamine en ningún aspecto y reduzca al máximo el gasto energético.

5- La TSIS hoy en el mundo y patentes y premios nacionales e internacionales recibidos por la Tecnología SIS

Actualmente (2012) la TSIS se encuentra operando en 15 países en el mundo, tal como se indica en el planisferio presentado en la **Figura 5.1**.



Figura 5.1- Presencia de la TSIS en el mundo, 15 países y 5 continentes

En cuanto a las patentes otorgadas a dicha tecnología estas corresponden a dos dispositivos mecánicos diferentes. Se trata del SIS ya comentado y del Jet-SIS que es un dispositivo que es capaz de sustituir las cortinas auxiliares en la operación de los SIS por cortinas neumáticas.

Todas las patentes solicitadas en el extranjero fueron otorgadas. En el Uruguay fue otorgada la correspondiente al SIS pero aún está en trámite la correspondiente al Jet-SIS. En el **Cuadro 5.1** se presenta un estado de situación de las patentes asociadas directamente a la TSIS.

País	Patente SIS	Patente Jet- SIS
Argentina	250341	
Australia		28161
Chile	652-92	
España	09201324-4	
Estados Unidos de Norteamérica	5647165	7654035
Italia	1255171	1364590
México		267424
Uruguay	13387	En trámite.

Cuadro 5.1 Patentes otorgadas y en trámite de la TSIS al 2012

Finalmente, en el **Cuadro 5.2** se presenta un listado de los premios que ha recibido la TSIS en el Uruguay y en el mundo, al día de hoy.

FECHA	PAÍS	PREMIO	OTORGADO POR
1994	Montevideo – Uruguay	Génesis a la mejor patente de Invención	Ministerio de Industria, Energía y Minería
1998	Ginebra – Suiza	World Rolex Prize for Innovation	Empresa Rolex
2003	Zaragoza – España	FIMA (Novedad técnica)	Organizadores de la Feria Internacional de Maquinaria Agrícola (Zaragoza, España)
2004	California - EEUU	Tech Museum Award (Categoría Medio Ambiente)	Universidad de Naciones Unidas, PNUD, Universidad de Santa Clara (California), principales empresas de Silicon Valley (INTEL, etc.)
2009	Montevideo - Uruguay	Premio Anual a la Pyme Innovadora 2009	Fundasol, Corporación Nacional para el Desarrollo, Banco República, Crédit Uruguay, LATU, Institución Kolping, Ministerio de Industria, Energía y Minería, Cámara de Industrias del Uruguay
2009	Montevideo - Uruguay	Distinción de la Unión Europea a la Innovación en Uruguay	Entregado por la representación local de la UE

Cuadro 5.2- Premios nacionales e internacionales recibidos por la TSIS al 2012

II - LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DEL DAÑO POR HELADA EN LA AGRICULTURA

1- Los Estudios de Riesgo de Helada (ERH)

Cuando se compra un predio no plantado anteriormente para desarrollar en él un cultivo determinado o, en un predio ya cultivado se desea plantar una variedad diferente a los cultivos anteriormente plantados, la información sobre el posible daño que pueden causar las heladas a ese nuevo cultivo es un factor muy importante a tener en cuenta para quien debe tomar decisiones en la materia.

Aplicando el conocimiento que se ha desarrollado en los años de aplicación de la Tecnología SIS es posible efectuar, dado un predio determinado, un Estudio de Riesgo de Heladas (ERH) aplicado a dicho predio.

Un ERH provee información de gran importancia y utilidad para el productor que le permitirá evaluar el riesgo de sufrir daño por heladas antes de que éste ocurra y mitigar la posible afectación de la forma más económica posible.

Entre la información que se obtiene del Estudio de Riesgo de Heladas se destaca: selección de lugares apropiados para plantar disminuyendo el riesgo de daño por heladas, herramientas para diseñar nuevos esquemas de plantación, factibilidad de plantación en zonas con riesgo de heladas, diseño específico de medidas pasivas de control de heladas para la finca, evaluación de protección activa contra las heladas en caso de ser necesaria.

2- Cómo se realiza un ERH

El estudio se basa fundamentalmente en los resultados de una campaña de medición de temperaturas en la finca mediante termógrafos electrónicos y en el traslado a la finca de la historia térmica de la región, disponible en la Estación Meteorológica más cercana.

En lo que refiere a las mediciones a efectuar en la finca ello se realiza mediante la instalación de un pequeño número de termógrafos en puntos clave de la finca para poder medir las diferencias de temperaturas de las distintas zonas microclimáticas (en las que puede dividirse la finca) durante noches de estratificación atmosférica. Usualmente el número de termógrafos instalados se encuentra entre 10 y 25 dependiendo de la micro- topografía y el tamaño de la finca en estudio.

Durante condiciones de estratificación atmosférica (noches sin nubes y sin brisas, que son las condiciones en las que ocurren las heladas de radiación), se cuantifican las diferencias de temperaturas naturales existentes entre las distintas zonas de la finca y de esta manera se determinan las características de los flujos de aire frío existentes en la misma.

En la **Figura 2.1** se presentan los registros de temperatura durante un evento de helada en un predio determinado. Como puede observarse en dichos registros en el referido predio se tiene una diferencia de temperatura de casi 7° C entre las zonas bajas y las zonas altas del predio.

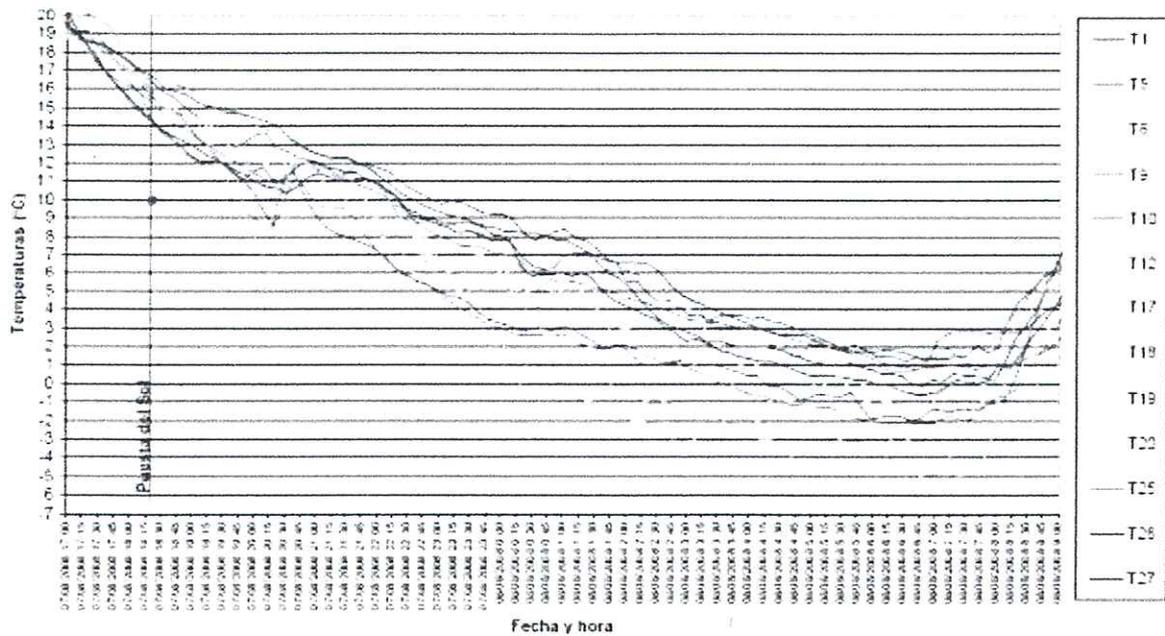


Figura 2.1- Típica evolución de temperaturas durante una noche estratificación atmosférica

En la **Figura 2.2** se muestra un termógrafo protegido de la radiación operando en un campo cultivado. A los efectos de la realización de un ERH el número de termógrafos a colocar en el predio estudiado se determina a partir de la topografía que presenta el terreno del predio y sus alrededores inmediatos.

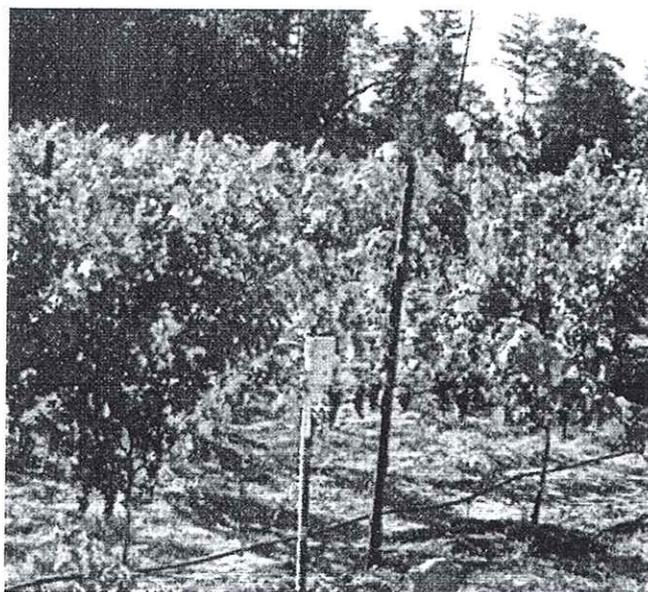


Figura 2.2- Vista de un termógrafo durante una campaña de medición de temperaturas

Para lograr un mayor detalle en el análisis de la finca, ésta se divide en sectores de acuerdo a sus características microclimáticas indicadas por las medidas de temperatura. El riesgo de ocurrencia de heladas en cada uno de estos sectores se determina mediante la correlación de las temperaturas medidas en la finca con las de una estación meteorológica cercana que incorpora la historia térmica de la región. Para contemplar la evolución fenológica del cultivo, el riesgo de ocurrencia de daño por heladas se evalúa para cada quincena comprendida dentro de la temporada de heladas.

3- Cómo se presentan los resultados del ERH

Los resultados se presentan en un informe técnico conteniendo los siguientes capítulos:

- 1) Descripción general de la finca, su topografía local y regional y descripción del esquema de medición utilizado.
- 2) Presentación de las medidas de temperaturas durante las noches analizadas. Identificación de zonas microclimáticas y elaboración de un mapa microclimático que se muestra en la **Figura 3.1** para un caso particular.

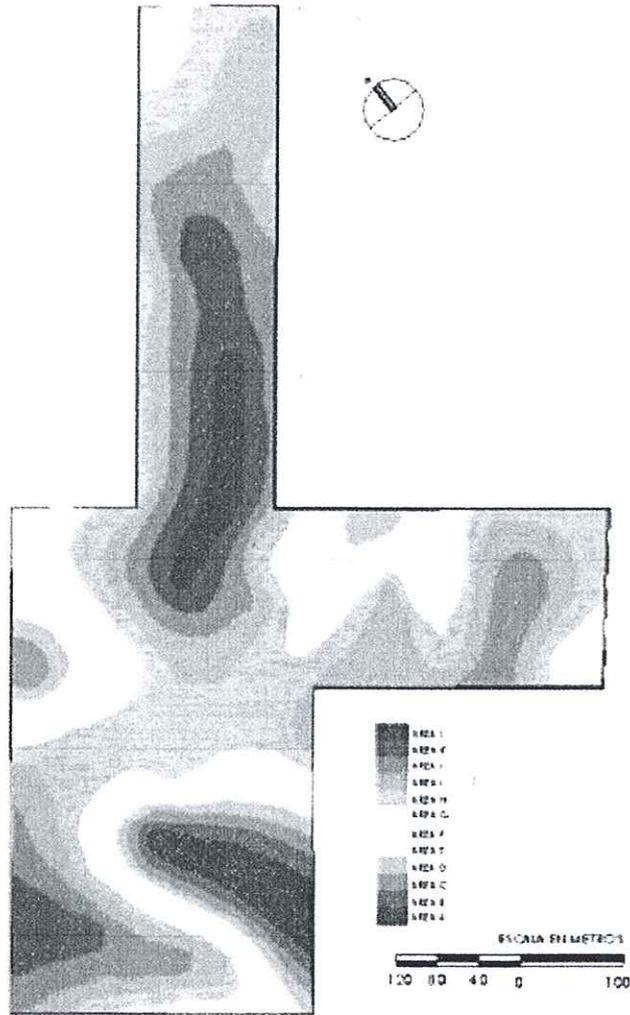


Figura 3.1- Mapa microclimático de una finca estudiada. Cada zona microclimática es representada por un color. Las diferencias de temperatura entre dos zonas adyacentes es de 0,5°C

- 3) Análisis del riesgo existente en cada una de las zonas micro climáticas detectadas. Dicho análisis se presenta en un cuadro semejante al que se indica a continuación. En dicho cuadro se relacionan las temperaturas en las distintas zonas microclimáticas de la quinta con los tiempos de retorno de los eventos de helada de distinta intensidad.

Temp. Estación (medidas) (°C)	Temperaturas mínimas (calculadas)						Tiempos de retorno en años (a la altura seañada)					
	A 1m (°C)	B 1m (°C)	C 1m (°C)	D 1m (°C)	E 1m (°C)	F 1m (°C)	1o Quincena Agosto	2do Quincena Agosto	1o Quincena Septiembre	2o Quincena Septiembre	1o Quincena Octubre	2o Quincena Octubre
-3.0	-8.5	-8.0	-7.5	-7.0	-6.5	-6.0	1.1	>11	>11	>11	>11	>11
-2.5	-8.0	-7.5	-7.0	-6.5	-6.0	-5.5	5.5	>=11	>11	>11	>11	>11
-2.0	-7.5	-7.0	-6.5	-6.0	-5.5	-5.0	5.5	5.5	>=11	>11	>11	>11
-1.5	-7.0	-6.5	-6.0	-5.5	-5.0	-4.5	3.7	3.7	11.0	>11	>11	>11
-1.0	-6.5	-6.0	-5.5	-5.0	-4.5	-4.0	2.2	3.7	11.0	>11	>11	>11
-0.5	-6.0	-5.5	-5.0	-4.5	-4.0	-3.5	2.2	3.7	11.0	>=11	>11	>11
0.0	-5.5	-5.0	-4.5	-4.0	-3.5	-3.0	1.8	3.7	11.0	11.0	>11	>11
0.5	-5.0	-4.5	-4.0	-3.5	-3.0	-2.5	1.8	2.8	3.7	5.5	>11	>11
1.0	-4.5	-4.0	-3.5	-3.0	-2.5	-2.0	1.8	2.8	2.2	5.5	>11	>11
1.5	-4.0	-3.5	-3.0	-2.5	-2.0	-1.5	1.8	1.8	2.2	5.5	>=11	>11
2.0	-3.5	-3.0	-2.5	-2.0	-1.5	-1.0	1.6	1.6	1.8	3.7	>=11	>11
2.5	-3.0	-2.5	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	1.4	1.2	1.8	3.7	>=11	>11
3.0	-2.5	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	1.2	1.2	1.8	2.8	>=11	>11
3.5	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0.0		1.2	1.2	1.6	2.8	5.5	>11
4.0	-1.5	-1.0	-0.5	0.0			1.2	1.1	1.6	2.2	5.5	>11

Periodos de retorno de heladas

El cuadro de tiempos de retorno de heladas indica para cada zona micro climática identificada (A, B, etc.) la recurrencia de las temperaturas mínimas según la quincena del mes que se quiera evaluar. Ejemplo: la frecuencia con la cual se registra -3°C en la zona A en la primera quincena de agosto es en promedio 1,2 años

- 4) Diseño de un esquema de medidas pasivas de control de heladas a ser aplicado en la finca estudiada (manejo de cortinas naturales, esquemas de plantación, manejo del follaje propio del cultivo, manejo del suelo, etc).
- 5) Evaluación de medidas activas de control de heladas a ser aplicadas en caso de ser necesario.

III- CONCLUSIONES

- 1- A partir de un enfoque científico moderno de los fenómenos asociados a las heladas de radiación, se han presentado dos aplicaciones de una tecnología innovadora, la Tecnología SIS (TSIS).
- 2- Dichas aplicaciones refieren a una nueva forma de encarar el control activo de las heladas de radiación y a la elaboración de estudios de riesgo de heladas (ERH) basados en un número reducido de mediciones de temperatura en la finca estudiada y en la información existente en las estaciones meteorológicas cercanas.
- 3- El control activo de las heladas efectuado mediante los Sumideros Invertidos Selectivos, presenta usualmente considerables ventajas desde el punto de vista ambiental y económico, respecto a las metodologías hasta hoy aplicadas con ese propósito.
- 4- Los ERH, productos de la TSIS, dotan al productor de una herramienta de planificación estratégica de su finca en cuanto a conocer de antemano los posibles efectos de las heladas en los cultivos que habrá de plantar y, en consecuencia, poder organizar la plantación de manera de hacer mínimos los daños asociados.

REFERENCIAS

- Augsburger, H. K., "Frost Control in Temperate Climates through Dissipation of Cold Air". . Aspects of Applied Biology 61 (2000). IAMFE/AABB UK 2000. The International Conference and Exhibition on Mechanization of Field Experiments.
- Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL), "Gel de printemps, protection des vergers", 1998, (www.ctifl.fr).
- Evans, R, "The Art of frost protection grapevines from low temperature injury", Proceedings of the ASEV 50^o Anniversary Meeting, Seattle, Washington, 2000.
- Gerber, J., American Society of Agric. Eng., Monogr. 2 St. Joseph, Mich. pp. 315-324, 1979, "Mixing the bottom of the atmosphere to modify temperatures in cold nights".
- Guarga R. et al. "Evaluation of the SIS: New Frost Protection Method Applied in a Citrus Orchard". Proceedings of the 9th. Congress of the International Society of Citriculture (2000) (Orlando, Florida).
- Kalma, J.D. "The Bioclimatology of Frost: Its Occurrence, Impact and Protection", Springer Verlag, 1993).
- Turrel, F. M. "The Science and Technology of Frost Protection", The Citrus Industry, Chapter 10, pp 338-446, 1973.