



Heladas. Factores, tendencias y efectos en frutales y vides

Editores: Rodrigo Bravo H., Juan Quintana A. y Marisol Reyes M.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias

BOLETÍN INIA / N° 417



ISSN 0717-4829



Editores:

Rodrigo Bravo Herrera
Ingeniero agrónomo. Dr Cs. Agrarias
Juan Quintana Arena
Meteorólogo. Ms. Sc.
Marisol Reyes Muñoz
Ingeniero agrónomo, Dr Cs. Agrarias

Director Responsable:

Sergio Iraira Higuera.
Ing. Agrónomo, M. Sc., Dr. INIA Remehue.
Director Regional INIA Remehue

Comité Editor:

Manuel Muñoz D.
Investigador. INIA Remehue. Dr. Cs. Agrarias.
Rodrigo de la Barra A.
Investigador. INIA Remehue. Dr. en Producción ovina.

Autores:

Diego Arribillaga García, Ingeniero Agrónomo, INIA-Tamel Aike.
Rodrigo Bravo Herrera, Ingeniero Agrónomo, INIA-Remehue.
Cristóbal Campos Muñoz, Ingeniero Civil Agrícola, INIA Quilamapu.
Marcel Fuentes Bustamante, Ingeniero Civil Agrícola, INIA Quilamapu.
Jorge Gatica Velázquez, Ingeniero Civil en Informática, INIA Remehue.
Patricio Luchabeche Vera, Meteorólogo. Dirección Meteorológica de Chile.
Juan Quintana Arena, Meteorólogo, Dirección Meteorológica de Chile.
Marisol Reyes Muñoz, Ingeniera Agrónomo, INIA Raihuen.
Carolina Salazar-Parra., Bióloga Ambiental por la Universidad de Chile. INIA-La Platina.
Jaime Salvo del Pedregal, Ingeniero Agrónomo, INIA-La Cruz.
María Carolina Vidal Guajardo, Meteoróloga, Dirección Meteorológica de Chile.

Boletín INIA N° 417

ISSN 0717-4829

© 2020, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA,
Centro Regional de Investigaciones Remehue

Cita Bibliográfica:

Bravo, R., Muñoz, M. y Quintana, J.(eds.). 2020. Heladas. Factores atmosféricos, tendencias y efectos en frutales y vides. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Boletín N° 417. 102 pp.

Permitido su reproducción total o parcial citando la fuente y autores.

Diagramación e Impresión

Comercial SERVIGRAF

Osorno, Chile, 2020.



Heladas. Factores, tendencias y efectos en frutales y vides

Editores:

Rodrigo Bravo Herrera

Ing. Agrónomo, Dr. Cs. Agrarias
INIA-Remehue

Juan Quintana Arena

Meteorólogo, Ms.Sc.
Dirección Meteorológica de Chile

Marisol Reyes Muñoz

Ing. Agrónomo, Dr. Cs. Agrarias
INIA-Raihuén

Boletín INIA / N° 417

INIA, Osorno 2020

ÍNDICE

PRÓLOGO	7
Capítulo 1. DEFINICIONES	9
Capítulo 2. FACTORES ATMOSFÉRICOS ASOCIADOS A LA OCURRENCIA DE HELADAS EN CHILE	20
Capítulo 3. CLIMATOLOGÍA DE LAS HELADAS	36
Capítulo 4. HELADAS EN VIDES	55
Capítulo 5. EFECTO DE LAS BAJAS TEMPERATURAS EN EL DESARROLLO DEL CULTIVO DEL CEREZO EN LA REGIÓN DE AYSÉN	71
Capítulo 6. EL PALTO Y LAS HELADAS	78
Capítulo 7. SISTEMA DE MONITOREO Y ALERTA DE HELADAS	90

PROLOGO

Entre las amenazas climáticas que más preocupan a los productores agrícolas se encuentran los eventos de heladas que pueden afectar a las plantas cultivadas provocando pérdidas de rendimiento y calidad de los productos cosechados. Estos fenómenos atmosféricos han sido estudiados ampliamente pero con frecuencia se solicita más información al respecto, especialmente, la actualización de datos estadísticos o nuevos estudios que aporten a saber más sobre la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas que pueden verse amenazados producto de estos fenómenos. En nuestro país, se ha documentado eventos de heladas que han causado alto daño a diferentes zonas agrícolas tales como el del 2007 en la zona centro norte, o en septiembre 2013 que afectó la actividad agrícola entre la zona central y centro sur.

Este boletín es parte del trabajo conjunto entre el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), y busca aportar información adicional a lo que ya se ha presentado en trabajos como "Las Heladas entre Copiapó y Puerto Montt" editado por la DMC el año 2010, "Efectos de las heladas en la agricultura" de INIA el año 2007, y el trabajo del Centro de Pomáceas de la Universidad de Talca denominado "Heladas en fruticultura. Conceptos y sistemas de control" que abarca los efectos de las heladas especialmente en manzanos y que fue editado en el año 2017.

El trabajo está organizado con una revisión de los aspectos meteorológicos y climáticos asociados a los eventos de heladas: conceptos y revisión de los orígenes sinópticos de las heladas. Los factores y forzantes atmosféricos relacionados a la ocurrencia de heladas en Chile, y el análisis de la climatología de las heladas, mediante las tendencias y variabilidad temporal y espacial de la ocurrencia de heladas. Luego, se presenta una revisión de elementos de la fisiología de plantas asociada a la susceptibilidad y daño que producen las heladas en tres especies frutícolas (vides, cerezos y paltos), además se analizan algunas técnicas de manejo y prácticas agronómicas que pueden ayudar a mitigar o reducir los efectos de las heladas sobre estas especies. Finalmente, se exponen los principales aspectos metodológicos y de uso de un sistema de alerta de heladas, que fue desarrollado por INIA y la Dirección Meteorológica, en conjunto con la Fundación de Desarrollo Frutícola, y la Asociación Vinos de Chile con el co-financiamiento de la Fundación de Innovación Agraria (FIA).

El equipo de profesionales que escribió este boletín espera que la información vertida sea de utilidad para los agricultores, profesionales y técnico del agro, como una orientación para la toma de decisiones.

Rodrigo Bravo H.
Juan Quintana A.
Marisol Reyes M.

CAPÍTULO 1

DEFINICIONES

Patricio Luchabeche Vera

Meteorólogo.

Dirección Meteorológica de Chile

1.1 Introducción

Las heladas meteorológicas tiene gran impacto en muchas actividades, como son la agricultura, la ganadería, el sector energético, como también sobre la salud de la población. La helada meteorológica, es aquella donde la temperaturas del aire es de 0°C o inferior, medida por un instrumento a un metro y medio de altura, nivel de cobertizo meteorológico o del sensor de temperatura en una estación meteorológica automática. En este capítulo se revisan las definiciones y clasificaciones relacionadas a las heladas como eventos meteorológicos y que potencialmente pueden dañar las plantas cultivadas.

HELADAS

Temperatura
Mínima ($^{\circ}\text{C}$)

Los registros y pronósticos de la temperatura del aire se refieren al valor medido en la estación meteorológica, ubicado a 1.5 m de altura de la superficie.



	Helada Superficial	Helada Meteorológica
Altura 1.5 m	1°C	0°C

Superficie 0°C -2°C

Figura 1. Cobertizo de medición de temperatura en una estación meteorológica convencional.

Dentro de las clasificaciones habituales se acostumbra a señalar que también existen las heladas agronómicas, las que con temperaturas mínimas cercanas o menores a 2°C (medida a 1.5 metros) y que ocasionan daños en algunos cultivos específicos a nivel de superficie del suelo y que son sensibles al frío.

También existe la helada superficial registrada a nivel de superficie del suelo, es decir, a 10 cm y que pueden registrarse aún con temperaturas de cobertizo que son habitualmente superiores a cero grados Celsius (1 a 2°C).

Las heladas, cualquiera sea su tipo, son un elemento meteorológico que puede provocar graves daños en la agricultura, entendiéndose ésta en su más amplio espectro. Sus efectos adversos dependen tanto de la intensidad y duración, como del estado de desarrollo de los cultivos, llegando a producir cuantiosas pérdidas en la producción agrícola. El conocimiento oportuno de la intensidad de las heladas que ocurren en una región, el número de veces que se presentan al año, su intensidad y duración, así como los períodos normales de ocurrencia, interesan al público en general, pero muy especialmente al agricultor en especial y a los encargados de planificar la actividad agrícola regional.

1.2 Definición de helada

Varias son las definiciones que puede indicar la literatura, pero la siguiente engloba las ideas recurrentes en ellas. Se considera helada meteorológica cuando la temperatura del aire a 1,50 m. del suelo desciende a un valor igual o inferior al punto de congelamiento del agua, es decir, a 0 °C, independiente de su duración o intensidad.

Desde el punto de vista agrometeorológico podría definirse una helada como la temperatura a la cual los tejidos de la planta comienzan a sufrir daño. A medida que la temperatura desciende y la helada se prolonga, los daños en los vegetales aumentan.

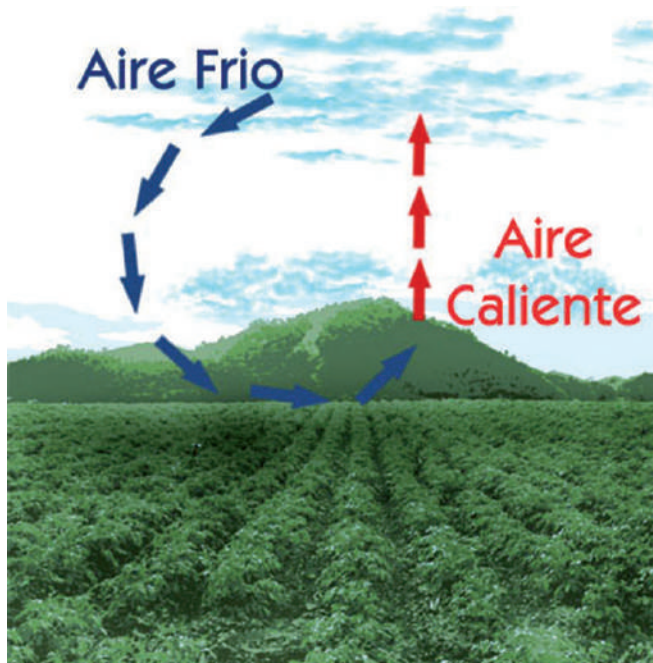
Generalmente la helada ocurre en la madrugada o cuando está saliendo el Sol. Sin embargo, en invierno es muy frecuente que la duración de ellas sea de varias horas. Sin embargo, es necesario señalar que para fines más específicos del agro, puede indicarse la existencia de la **helada agronómica**, la cual se define como aquella en que el descenso de la temperatura del aire a niveles críticos para los cultivos ocurre sin llegar necesariamente a 0 °C. No obstante, se considera la temperatura igual o menos a 0 °C como la señal para la toma de decisiones en las medidas de manejo utilizadas para minimizar el posible daño de heladas. Independiente de la clasificación, es factible definir

una helada como toda condición energética del medio ambiente que alcanza valores suficientemente bajos, que provocan alteraciones en el metabolismo vegetal, resultando daños fisiológicos en las plantas (Ometto. 1981).

En la práctica, el daño debido a las heladas es el efecto conjunto de la baja temperatura y de la extensión en el tiempo en que persiste dicha temperatura.

Para cada uno de estos fenómenos el grado de daño a los cultivos depende de la intensidad de las bajas temperaturas, pues no es lo mismo alcanzar una temperatura mínima de -1°C o de -4°C . También influye el tiempo de duración de la temperatura inferior a 0°C . Cuando la helada se prolonga por varias horas, produce un efecto dañino más intenso que si sólo durara una hora o menos. La magnitud de la helada puede experimentar diversos grados de intensidad, dependiendo de las condiciones topográficas del lugar, del tipo de cultivo, del grado de humedad y laboreo del suelo.

Los efectos dañinos de las heladas son mayores en sectores bajos, debido a la mayor densidad del aire frío que tiende a desplazarse y rellenar esos espacios. Por lo tanto, cultivos ubicados en esas condiciones, están mayormente propensos a recibir daños. Si no fuera posible contar con otros terrenos, el agricultor debiera, en lo posible, considerar las variedades más precoces en las zonas más altas y las más tardías en las más bajas.



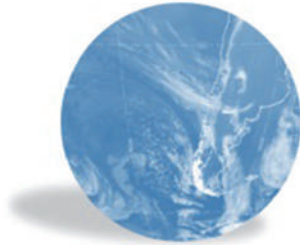
1.3 Clasificación de las heladas

La literatura cita varias clasificaciones de las heladas (Castillo, E. 2001, Da Mota, F. 1987). Estas se pueden agrupar desde los puntos de vista de su génesis u origen sinóptico, la época de ocurrencia o el aspecto visual. Algunas de las categorías se relacionan entre sí; por ejemplo, una helada puede ocurrir en toda época del año. La severidad de las heladas varía considerablemente con las condiciones generales de la atmósfera y depende de las condiciones locales, tales como topografía y vegetación, entre otras. Las clasificaciones más comunes son:

De acuerdo al origen sinóptico

Heladas advectivas: Se producen debido al movimiento de una masa de aire frío sobre una región específica. En nuestro país, las heladas por advección se producen generalmente tras el paso de un sistema frontal. Luego de la lluvia y el paso del frente frío, ingresa una masa de aire frío con altas presiones, proveniente desde zonas subpolares o de altas latitudes con temperaturas cercanas al punto de congelación. Un ejemplo se presenta en la Figura 1.3. En ocasiones,

HELADA
ADVECTIVA



Ingreso de masa de aire de características polares, asociado a circulación anticiclónica (Alta Presión Fría). Dicha condición atmosférica acompañada la mayoría de las veces a un sistema frontal frío que ingresa al continente.

- CARACTERISTICAS**
- Ingreso de masa de aire frío
 - Cielos despejados
 - Viento intensidad variable
 - Heladas en extensas zonas
 - Persistencia de días

Figura 1.3. Características de las heladas advectivas.

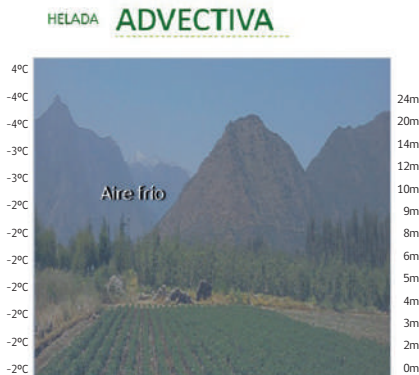


Figura 1.4. Conformación espacial de una helada advectiva.

las heladas advectivas se deben al establecimiento de un anticiclón, sin que haya pasado un frente por la zona. Estas heladas tienden a ser muy intensas, especialmente si se advecta aire desde zonas subpolares o altas latitudes.

Se produce principalmente en épocas de otoño, invierno y primavera de cada año. El origen de esta helada, ocurre por el desplazamiento de una masa de aire frío, de origen polar o subpolar, con temperaturas cercanas al punto de congelación. Suelen afectar a amplias zonas del territorio, tanto en superficie como en altura. Por su cobertura territorial, duración e intensidad son las más dañinas. Es la denominada "helada negra", llamada así por el color que presentan las plantas quemadas por las heladas (Ledesma, 2000). Por sus características los métodos de control contra este tipo de helada suelen ser ineficaces (Castillo, 2001). La extensión de la masa fría es desde la superficie hasta niveles medio de la atmósfera, lo que hace prácticamente imposible contrarrestar sus efectos adversos en los cultivos, pues la inestabilidad atmosférica existente impide la generación de una inversión térmica en los niveles inferiores, resultando imposible modificar artificialmente el comportamiento térmico (Figura 1.4).

Helada radiativa: Se producen durante noches despejadas, debido a la pérdida de radiación desde la superficie durante una noche despejada y atmosfera seca. La



Figura 1.5. Características de una helada radiativa.



Figura 1.6. Conformación espacial de una helada radiativa

radiación que el suelo ganó durante el día se emite al espacio, enfriando significativamente la superficie terrestre. Por otro lado, durante noches nubladas, la presencia de la cobertura nubosa y alta humedad, impide que la radiación se escape al espacio, redistribuyendo la mayor parte de ese calor en la atmósfera y evitando descensos abruptos de la temperatura en superficie.

En noches despejadas sin viento, la superficie del suelo comienza a enfriarse por pérdida radiativa nocturna y este enfriamiento, si es intenso, puede llegar a formar una capa en que el aire cercano a la superficie tiene temperaturas bajo 0°C (helada radiativa). Bajo condiciones anticiclónicas (altas presiones) se produce la inversión térmica, es decir, el aire cercano a la superficie se encuentra más frío que en su nivel superior, por la cual se presenta una capa donde la temperatura aumenta con la altura.

Durante el día la temperatura en la superficie se mantiene sobre el congelamiento; durante la noche, la pérdida de energía de la superficie por emisión de radiación de onda larga se acentúa, provocando una caída rápida de la temperatura del aire próximo a la superficie del suelo (Castillo, 2001). Estas heladas se producen preferentemente en invierno, principios de primavera y finales de otoño (Ledezma, 2000).

Este tipo de heladas es factible de combatir, por cuanto la sola existencia

de una inversión térmica por subsidencia, indica que a muy baja altura existe aire más cálido y por lo tanto, basta con iniciar un calentamiento desde la superficie, para que se inicie un proceso convectivo en los niveles inferiores de la atmósfera que, conjuntamente con aportar calor al medio ambiente, haga también rotar el aire cálido existente en los niveles inmediatamente superiores y evite que el enfriamiento superficial prosiga.

Heladas Mixtas: Son la combinación de los factores revisados anteriormente (advección más radiación), pudiendo ser las heladas mixtas las más intensas debido a la pérdida de calor durante la noche y a la masa de aire frío que se desplaza por una determinada región.

Más que un tipo de heladas propiamente tal, las denominadas heladas mixtas corresponden a una etapa de transición entre la invasión de aire muy frío e inestable y el restablecimiento de las altas presiones que conduce a la subsiguiente estabilidad de la masa en cuestión. De acuerdo a lo anterior, se puede aducir que la etapa inicial de una helada mixta se produce cuando en una determinada región, después de haber sido invadida por una masa de aire muy frío (generalmente polar), se despeja el cielo y permite un enfriamiento adicional (presencia de masa fría + pérdida de calor por radiación desde la superficie terrestre), comenzando recién a generarse una inversión térmica por subsidencia, que por aún muy débil, no permite que la helada sea combatida con efectividad.

Helada de evaporación: A veces la literatura cita este tipo de heladas y se produce al evaporarse el agua depositada sobre las plantas, con el consiguiente enfriamiento al ser absorbido del aire el calor latente necesario para la evaporación. Si después de una precipitación desciende la humedad relativa del aire, lo que es frecuente después del paso de un frente frío, el agua que recubre los vegetales se evapora rápidamente. La intensidad de estas heladas depende de la cantidad de agua que se evapora, de la temperatura del aire y de la humedad relativa (Castillo, 2001).

Según la época de ocurrencia.

De acuerdo con la estación del año en que se presentan, se identifican tres clases de heladas.

Heladas primaverales o tardías: Reciben dicha denominación por el hecho de que se registran una vez terminado el invierno, es decir, al principio o en plena primavera. Este tipo de helada afecta principalmente a los cultivos

de ciclo anual (como el maíz, papas y otros) y también a los frutales en su proceso reproductivo. En general, se caracterizan por su intensidad moderada, siendo raros los casos en que las intensidades alcanzan valores catastróficos. Sin embargo, dependiendo de la especie y de su estado fenológico, los daños pueden ser severos, dependiendo de la duración de la temperatura dañina. Por ejemplo, en la vid se puede tener muerte de brotes suculentos y racimos florales con temperaturas inferiores a $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$; si la temperatura letal es menor a $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un período corto, se tiene daño ligero (Winkler, 1965).

Heladas otoñales o tempranas: Son aquellas que se producen antes de que llegue el invierno. Son perjudiciales para varios cultivos porque pueden interrumpir bruscamente el proceso de cosechas, afectando en Chile principalmente a cultivos frutales o perennes y en menor medida a hortalizas propias de la estación.

Heladas invernales: Se producen cuando la temperatura ambiente disminuye notablemente. Estas heladas afectan a todo tipo de cultivos, incluyendo a especies frutales perennes (paltos, cítricos, etc), hortalizas específicas de invernaderos, flores de invierno, viveros forestales y cuando el frío es muy intenso, a la masa ganadera, en especial a los animales recién nacidos. Sin embargo, no afectan significativamente a frutales caducifolios (que pierden sus hojas en invierno), debido a que estas plantas se encuentran en periodo de receso, adaptación que les permite soportar las bajas temperaturas.

Según su aspecto visual.

La designación de estos tipos de heladas obedece a los efectos visuales producidos por el fenómeno. Atendiendo a la apariencia de los cultivos expuestos a las bajas temperaturas del aire, se tienen dos tipos de heladas: la blanca y la negra. El contenido de humedad en las masas de aire determina estos tipos de heladas (Da Mota, 1987).

Helada negra: Recibe esta denominación porque si bien la temperatura ha bajado a 0°C o menos, no se presenta escarcha. En estos casos la planta afectada adquiere un color negro al día siguiente de producirse la helada. El vegetal, o parte de él afectada por el frío, muere. Los factores que provocan heladas son los mismos que influyen en la formación del rocío: nubosidad, velocidad, del viento, exposición de los objetos, diferencia de densidad entre el aire caliente y frío, capacidad de emisión de radiaciones, conductividad del calor de los cuerpos. Además de las causas mencionadas, otras dos situaciones están relacionadas con la formación de heladas. Ellas son: sequedad del aire que contribuye a una

mayor irradiación de calor de las plantas y al proceso de evapotranspiración generando que se pierda más calor, tanto por la planta como por el suelo.

Ocurre cuando la atmósfera tiene baja concentración de vapor de agua y se produce una pérdida radiativa intensa, causando enfriamiento acentuado de la vegetación, llegando a la temperatura letal. En función a la baja humedad del aire, no hay formación de hielo. Este tipo de helada es la más severa, pues una baja humedad del aire permite la ocurrencia de temperaturas bastante menores.

Helada blanca o escarcha: Ocurre cuando un intenso enfriamiento nocturno produce condensación de vapor de agua y su congelamiento en la superficie de las plantas. Cuando se tiene más humedad en el aire, se produce una condensación con liberación de calor latente, hecho que ayuda a reducir la disminución de la temperatura. Por lo tanto, una helada blanca es menos severa que una negra.

No es otra cosa que el congelamiento del rocío. Este congelamiento se produce cuando la superficie de los cuerpos alcanza una temperatura inferior o igual a los 0° C. Cuando la cantidad de vapor del aire que se encuentra en contacto con los cuerpos es muy escasa, no se produce rocío sino que directamente se forma escarcha.

1.4 Factores que influyen sobre la intensidad de una helada

Nubosidad

Las nubes actúan como una barrera que evita las pérdidas de energía. Absorbe la radiación del suelo y vuelve a emitir. En consecuencia reduce las diferencias entre ganancias y pérdidas de energía moderando las variaciones térmicas.

Velocidad del viento

El viento contribuye a mezclar las capas de aire igualando las temperaturas de la masa del aire. Mezcla el aire cálido que está a cierta altura con el aire frío a nivel del suelo provocando un calentamiento del aire frío y de esta forma disminuye el riesgo de helada. Por ello, si no hay viento, hay mayor posibilidad de que se produzca una helada. Las hélices usadas para control de heladas tratan de imitar este efecto.

Humedad del aire

Cuando la temperatura disminuye en la noche, y el aire está húmedo puede

saturarse. Si el enfriamiento continúa, el agua contenida en el aire precipita la aparición del rocío o hielo frena el enfriamiento del aire por liberación de calor del agua al condensarse (600 cal/gr) en agua o al congelarse (80 cal/gr). Esta energía no es suministrada si el aire está seco y el riesgo de helada es mayor (helada negra). La emisividad del aire aumenta con la humedad atmosférica.

El laboreo del suelo y la cubierta vegetal

Un suelo trabajado es más poroso que uno no trabajado y su conductividad térmica disminuye. Una vegetación uniforme juega un rol de aislante y se observa una disminución sensible de la temperatura del suelo. La paja, las malezas o el trabajo en el suelo frenan el aporte de calor de las capas profundas del suelo.

El relieve o pendiente del terreno.

La inclinación del terreno es muy importante. La helada será más intensa en el fondo de un valle debido a la acumulación de aire frío (tiene una densidad mayor). Ejemplo: en la cima de una colina, la temperatura puede ser de sólo 1°C. A medida que se desciende, disminuye hasta -5°C en el fondo del valle, donde se acumula el aire frío. El aire frío se desliza a lo largo de las pendientes y se acumula en los lugares más bajos.

La altura sobre el suelo

En la noche la superficie del suelo se enfría primero, lo que a su vez hace disminuir la temperatura del aire en contacto con él. Así, durante la noche la temperatura aumenta con la altura.

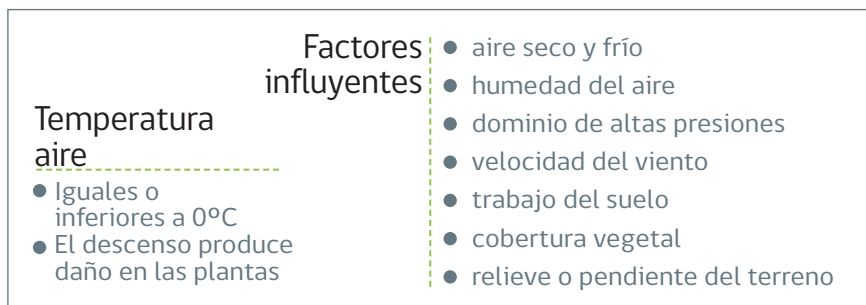


Figura 1.7. Factores influyentes en las heladas



Figura 1.8. Esquema del comportamiento del aire con la altura.

1.5 Referencias

- Castillo, E. 2001. Agrometeorología. 2da edición corregida. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 517 pp.
- Da Mota, F. 1987. Meteorología Agrícola. Universidad Federal de Pelotas, Sao Paulo, Nobel, 2º reimpresión, 376 p.
- Ledesma, M. 2000. Climatología y Meteorología Agrícola. Paraninfo, 451 p.
- Ometto, J.1981. Bioclimatología Vegetal. Editora Agronómica Ceres Ltda., Sao Paulo, 435 pp

CAPÍTULO 2

FACTORES ATMOSFÉRICOS ASOCIADOS A LA OCURRENCIA DE HELADAS EN CHILE

Juan Quintana Arena

Meteorólogo. Ms. Sc.

Dirección Meteorológica de Chile.

2.1 Introducción

La helada, considerada como un fenómeno meteorológico de superficie (helada meteorológica), ocurre cuando la temperatura del aire desciende y alcanza un valor menor o igual a 0 ° C, medida que se realiza a través de un termómetro ubicado a una altura de entre 1,25 y 2,0 m sobre el suelo, ya sea dentro un cobertizo meteorológico apropiado (FAO, 2005) o a través de un sensor de una estación meteorológica automática (OMM N°134, 2012). La mayoría de los eventos de heladas ocurren durante las noches y madrugadas de invierno, acompañadas de cielos claros y sin viento, posterior al paso de un sistema frontal frío. Este tipo de heladas se origina por la pérdida de radiación de onda larga saliente desde la superficie terrestre debido a la ausencia o reducida cobertura de nubes y baja humedad de aire, además de la estratificación del aire cerca del suelo que se desarrolla bajo condiciones de viento débil o calma. Este tipo de helada se clasifica, en relación con su origen, como una “helada de radiación”. Otro tipo de helada menos común pero relevante es la “helada de advección”, que se origina a partir de la advección o desplazamiento de masa de aire frío proveniente de latitudes mayores o subpolares.

Dada la importancia que tienen las heladas a nivel mundial, especialmente para el sector agrícola y en lo referido a sus impactos, es que lo ha hecho ser unos de los temas de mayor preocupación, sobre todo cuando se presentan en Chile central durante la temporada de primavera, coincidiendo con el desarrollo fenológico de cultivos, plantas y árboles frutales, pudiéndose cuantificar los peores daños. Ejemplo de ello, fueron las heladas de septiembre de 2013, con millonarias pérdidas en el sector frutícola (ODEPA, 2013). El daño económico que pueden producir las heladas es una de las principales preocupaciones en buena parte de las zonas agrícolas. Solo una fracción de los suelos de cultivo está libre de heladas y pocos cultivos nunca experimentan daños por heladas. Las heladas reducen sustancialmente la producción mundial de hortalizas, plantas ornamentales, cultivos en campo y en hileras, pastizales, forrajes y ensilajes, árboles frutales (caducifolios y perennes), vides y bayas. Algunas veces los árboles

forestales también se ven afectados (FAO, 2005). En este capítulo, se presenta los principales elementos para entender la ocurrencia de heladas en Chile, y se describen dichos fenómenos atmosféricos que son causa de estos eventos.

2.2 Ocurrencia de heladas y forzantes atmosféricos

En Sudamérica, algunos estudios sobre eventos de heladas, en particular, para los meses fríos de invierno (mayo-agosto), con una alta frecuencia de eventos de heladas que cubren una amplia región del sector centro de Argentina y sur de Brasil, se han explicado utilizando estudios de circulación atmosférica de escala sinóptica (Müller et al., 2007, 2012), y otros estudios referidos a la circulación de gran escala y su relación con la heladas en Sudamérica (Müller y Ambrizzi 2007; Müller et al. 2008).

En Chile, los primeros trabajos de investigación para entender los mecanismos físicos de circulación atmosférica que explican la ocurrencia de heladas por la irrupción de masas de aire frío proveniente de latitudes altas y que afectan la regiones subtropicales y tropicales de Sudamérica, especialmente en invierno, fueron desarrollados a partir del año 1998 (Garreaud, 1998; Garreaud, 1999, Garreaud, 2000). La ocurrencia de heladas en Chile central y sur, presentan su mayor frecuencia entre mayo y agosto de cada año, reduciéndose drásticamente a partir de septiembre y octubre. Lo anterior obedece a que, en épocas de invierno, se observan incursiones a escala sinóptica de aire frío de latitudes medias que penetran profundamente por sobre Sudamérica. Estas incursiones son una característica distintiva durante todo el año de la climatología sinóptica de esta parte de América del Sur (Garreaud, 1999). Por otra parte, la frecuencia, duración e intensidad de un evento de helada depende de la latitud y altitud, así como de la proximidad con el océano Pacífico y de la topografía del terreno. Mientras más alejado de la costa y en zonas bajas de valles, el efecto de continentalidad en el descenso de las temperaturas nocturnas se hace aún mayor.

El forzante atmosférico que mejor caracteriza la ocurrencia de heladas en Chile, asociada a la escala sinóptica, se relaciona fuertemente con la presencia de los sistemas frontales, que una vez que cruzan al sector argentino, comienza a posicionarse en Chile un centro de altas presiones migratorio en superficie (circulación anticiclónica) acompañada de una masa de aire frío y seco proveniente desde latitudes más altas. Dicha condición de enfriamiento, cuya duración, va entre 1 y 3 días, hará que por pérdida radiativa nocturna (escape de la Radiación de Onda Larga emergente desde la superficie terrestre al espacio) sumado a la advección horizontal de aire frío, se produzca un descenso significativo de la temperatura nocturna y matinal alcanzando valores mínimos negativos en la mayoría de veces (ocurrencia de heladas).

2.3 Compuesto de Heladas

Un análisis de los patrones de circulación que dominan en Chile en días con la temperatura menor a 0°C, fueron estudiados entre los años 1981 y 2019, concentrándose el mayor número de eventos de heladas entre mayo y agosto. Dos estaciones meteorológicas como Curicó y Chillán fueron seleccionadas para representar los patrones de circulación atmosférica que afectan en Chile central y sur, tanto a nivel de superficie como en la troposfera media (500 hPa) y alta (250 hPa). Al contabilizar el número de eventos de heladas que afectaron a Chile central, entre 1981 y 2019, estos sumaron 378, con una duración entre 1 a 3 días y distribuidos entre abril y octubre. El año con mayor número de episodios de heladas fue el año 1993, con 17 eventos, le sigue el año 2007, con 15 casos, luego los años 1983, 1988, 2010, 2013 y 2018, con 14 episodios. Contrariamente, el año con menos heladas fueron 1986, con 3 episodios, le sigue 2006 y 2008, con 4 eventos (Figura 2.1).

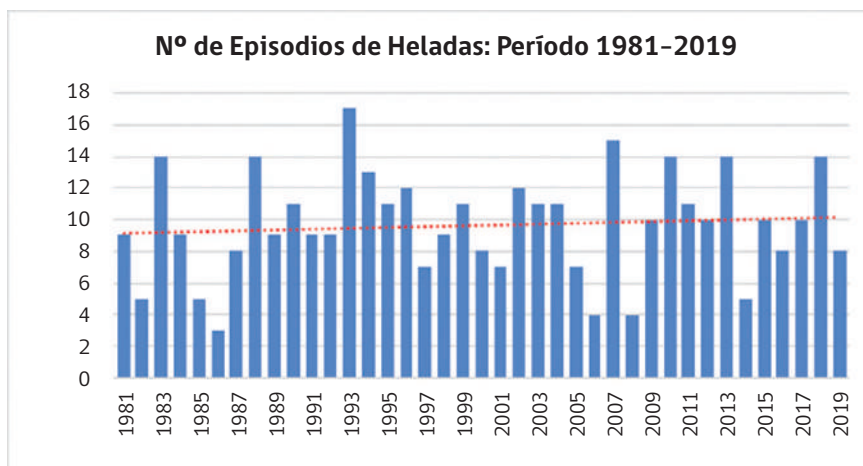


Figura 2.1. Número de eventos de heladas por año entre 1981 y 2019, registrados en la zona central de Chile, entre Chillán y Curicó.

La ocurrencia de días con heladas para la zona central de Chile se presenta entre abril y octubre de cada año, siendo la mayor frecuencia, en torno a las 10 heladas, entre la última semana de julio y comienzo de agosto de cada año. A partir de inicios de abril y hasta fines de julio, se observa un incremento gradual en la ocurrencia de heladas alcanzando un máximo de 10 a 12 heladas. Posteriormente, se observa un descenso rápido en su disminución, desapareciendo a comienzos de octubre. Entre noviembre y marzo de cada año, la ocurrencia de heladas es nula (Figura 2.2).

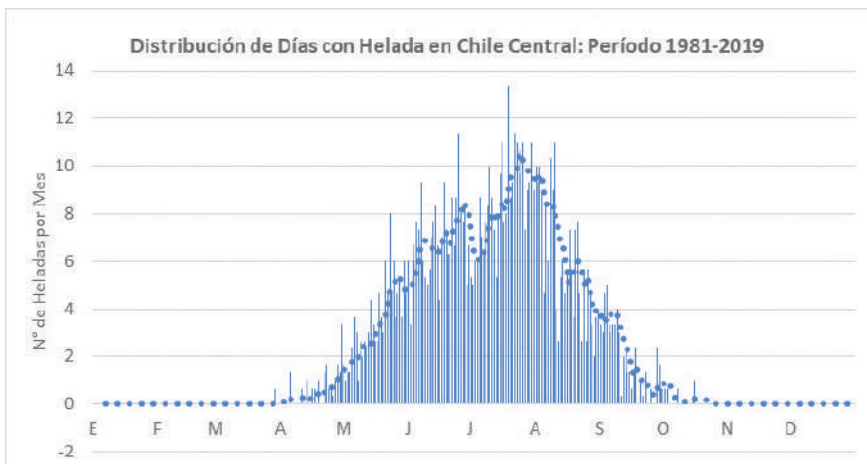


Figura 2.2. Evolución de la ocurrencia diaria de heladas para el período 1981-2019, en la región de Chile central, Valores fueron calculados utilizando la información de las estaciones meteorológicas ubicadas en Curicó y Chillán. Fuente: elaboración propia en base a datos de la DMC.

2.4 Mecanismos atmosféricos asociados a la ocurrencia de las heladas

Una de las variables atmosféricas que mejor representa la presencia de heladas que afectan la zona central de Chile, corresponde a la presión atmosférica a nivel del mar, cuyos valores superan en más de 2 hPa (anomalía positiva) el valor medio climatológico (1981-2010). La presencia de la Alta Subtropical del Pacífico Sur (indicada con A), que se presenta en días sin heladas, coincide justamente con la condición media de la presión a nivel del mar, donde su núcleo de máximo valor se ubica en la región del océano Pacífico en la latitud 30°S y 90°W. Al comparar la presión a nivel del mar (hPa), con días con heladas, se aprecia que el área del Anticiclón (A) se desplaza hacia el territorio argentino y extendiéndose también por el Pacífico sureste hasta los 20°S. (Figura 2.3).

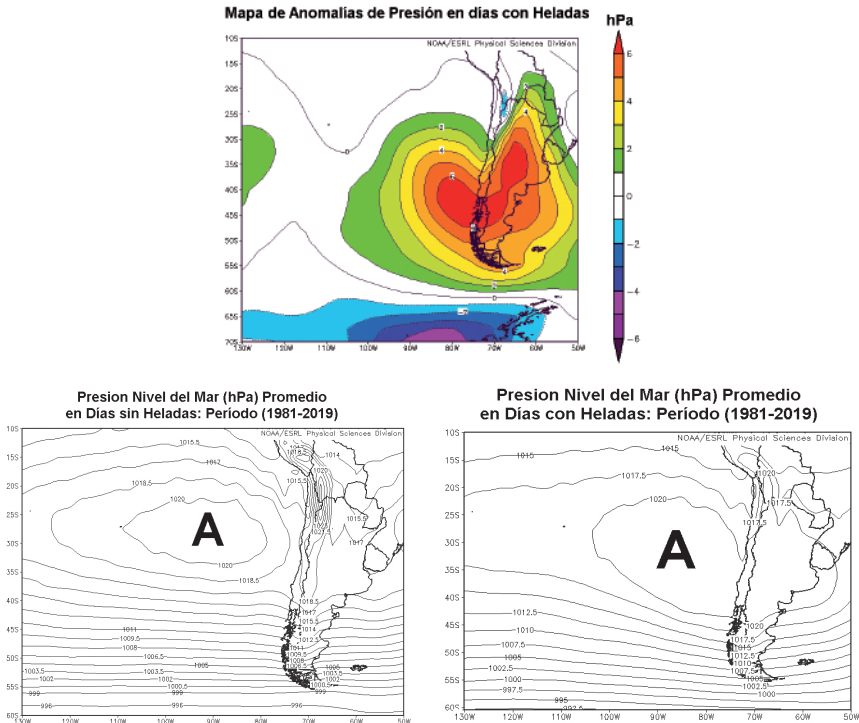


Figura 2.3. Superior: campo de anomalías de la presión a nivel del mar en días con heladas, donde valores por sobre lo normal entre 1 y 6 hPa, se observa en la zona central y sur de Chile con extensión al territorio argentino. **Inferior izquierda,** se muestra la presión atmosférica en días sin heladas y en **inferior derecha** la distribución espacial de la presión con días con heladas.

La *temperatura del aire a nivel de superficie* en días con heladas se presenta con descenso de las temperaturas respecto del promedio climatológico (1981-2010) en más de 2°C en Chile central y sur y hasta 4°C en territorio argentino (Figura 2.4). Una extensa región con anomalías negativas que cubre gran parte de Chile, Argentina, Paraguay y Uruguay, obedece al desplazamiento de una masa de aire frío, de origen post-frontal, que cruza desde la región del Pacífico sur e ingresa al continente sudamericano, y alcanzando en los siguientes 3 días latitudes próximo a 10°S (Amazonía). En la región oceánica austral del océano Pacífico, se observa un área de calentamiento, con una anomalía positiva de 1°C, asociado a un desplazamiento de masa de aire más cálido proveniente de la región subtropical. La proyección de la masa de aire frío al ingresar al continente presenta una extensión que va desde la superficie hasta una altitud cercana a los 12 Km de altura (100 hPa), donde anomalías negativas máximas se presentan próximo a la superficie con -2.5°C y un segundo núcleo de anomalía negativa se

ubica en altura (200 hPa) y más al sur entre, los 45° y 50° de latitud sur. Dicha condición demuestra que las masas de aire frío en días con heladas provienen desde latitudes de más del sur y se proyectan al norte alcanzando las cercanías de los 20° de latitud sur.

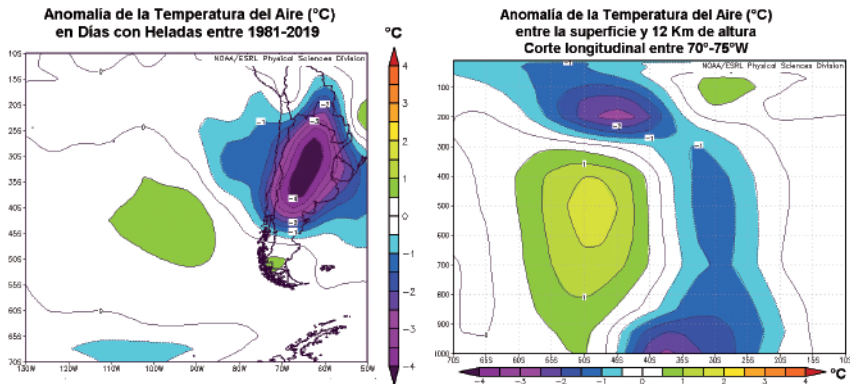
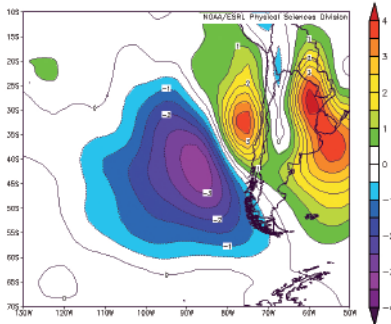


Figura 2.4. Campo de anomalías de la Temperatura del aire a nivel de superficie en días con heladas (izquierda), expresada en grados Celsius, calculadas respecto del promedio climatológico (1981-2010). La proyección de la masa de aire más frío en días con heladas respecto de su condición normal (anomalía negativa), alcanza valores de -2°C a nivel de superficie, entre 33° y 41° de latitud Sur y se extiende por toda la troposfera hasta los 12 Km de altura (100 hPa). Más al sur de los 40° de latitud sur, aparece una área de anomalías positivas que abarca entre la superficie y los 9 Km (300 hPa).

Respecto a la característica del *viento en superficie*, cuando se presentan días con heladas, aparece un reforzamiento de viento de dirección del sur (componente meridional positiva), donde el fortalecimiento o intensificación del anticiclón subtropical del Pacífico sur, refuerza que el viento se mantenga más intenso que su condición normal (anomalía positiva) y se intensifica en la zona central y sur próximo a la costa chilena. Otra zona de viento del sur se observa entrando por la región de Buenos Aires hacia la región central de Sudamérica. Ambas condiciones de transporte de masas de aire frío proveniente desde el sur favorecen el enfriamiento continental en Chile y Argentina. Dicha condición de transporte se conoce como advección de aire frío, factor que contribuye de manera significativa a generar las heladas advectivas o heladas polares (Figura 2.5).

Anomalia del Viento Meridional (m/s) en Días con Heladas en el Período 1981-2019



Anomalia del Viento Meridional (m/s) entre la Superficie y los 12 Km de Altura en Días con Heladas - Período 1981-2019 Corte Longitudinal entre 70°-75°S

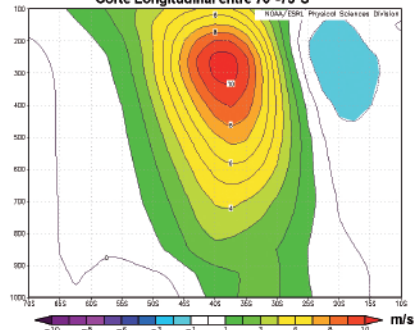


Figura 2.5 Campo de anomalías del viento meridional a nivel de superficie en días con heladas (izquierda), expresada en m/s, cuyas anomalías fueron calculadas respecto del promedio climatológico (1981-2010). La proyección del viento en toda la troposfera respecto de su condición normal (anomalía negativa), alcanza valores positivos que se intensifican hasta una altura de 9 Km (300 hPa), con anomalías positivas de 10 m/s.

Respecto a la *humedad del aire* (Figura 2.6), bajo condiciones de días con heladas, se caracteriza por presentar un secamiento (humedad del aire menor a su condición normal), entre la superficie y hasta los 9 km de altura (300 hPa), siendo el mayor secamiento en la troposfera baja en torno a los 1.5 km de altura (850 hPa), con una disminución de 20% por debajo de su valor medio climatológico. Es importante señalar que una columna de aire al encontrarse más seca que su condición normal, especialmente entre la superficie y los primeros 3 km de altura, donde el contenido de humedad disminuye en más de 0.001 Kg de aire húmedo respecto de aire seco (equivalente a 1gr/kg), va a favorecer una mayor pérdida radiativa nocturna (onda larga saliente), generando una caída significativo de la temperatura nocturna a nivel de superficie. Dicha condición atmosférica es una de las principales causas físicas que contribuye a generar heladas nocturnas y matinales sobre el continente, especialmente en los meses entre abril y octubre de Chile central y sur.

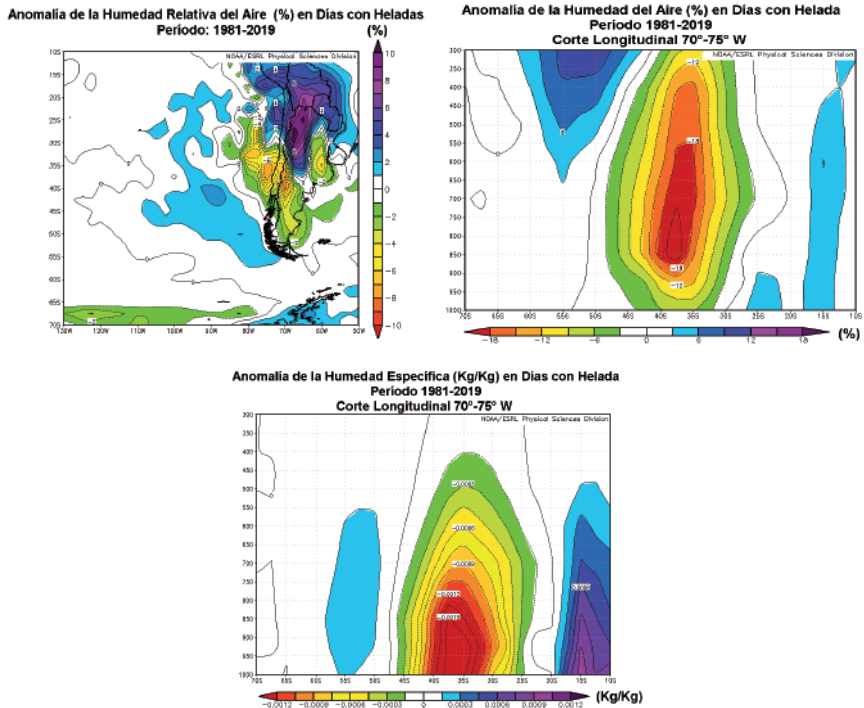


Figura 2.6. Campo de anomalías de humedad relativa del aire a nivel de superficie en días con heladas (izquierda), expresada en %, cuyas anomalías fueron calculadas respecto del promedio climatológico (1981–2010). La proyección de la humedad relativa del aire en toda la troposfera respecto de su condición normal (anomalía negativa), alcanza valores negativos que se intensifican entre los 1,5 y 5 km de altura (850 - 500 hPa), con anomalías negativas mayores al 10%. En la figura inferior, la humedad específica, que es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire seco, presenta un mayor secamiento entre la superficie y los 3 km de altura respecto de su valor medio climatológico. Los valores están expresados en Kg aire húmedo por Kg de aire seco.

2.5 La influencia del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur y las heladas en Chile

La zona de alta presión atmosférica asociada a un sistema anticiclónico, como es el Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (ASPS), ubicado en el hemisferio sur frente a Chile, va a estar relacionada directamente con el enfriamiento nocturno, especialmente si la columna de aire contiene un bajo contenido de humedad o vapor de agua. El contenido de humedad o vapor de agua en la columna atmosférica dentro de un sistema de altas presiones (mayor que 1020

hPa), se caracteriza por contener la mayor humedad por sobre el 70%, en la capa marina próxima a la superficie del borde costero como en las superficies oceánicas. Por encima de los 2000 m, este valor de contenido de humedad descendiendo rápidamente y alcanza valores por debajo del 10%. Una explicación, de por qué en zonas de valles de interior en la región norte de Chile (región desértica), las noches son muy frías con temperaturas menores a 0°C y en la costa, a una misma latitud, las temperaturas son más templadas, tiene que ver que el regulador principal de la temperatura es la humedad o vapor de agua con contenido en la columna de aire.

Cuando se evalúa como la región del ASPS, expresado a través de su índice, llamado Índice de Presión del Pacífico Sur (IPPS), se correlaciona linealmente a través de períodos móviles de 30 años entre 1970 y 2019, con la ocurrencia de días con heladas en Chile central, se encuentra que existe un deterioro de la correlación entre el período 1970-1999 y 1990 y 2019, iniciándose la correlación significativa con un valor de +0.55 a decaer a un valor de +0.31 (no significativa a nivel del 95%). Una posible explicación de este deterioro de la correlación se podría deber a que a pesar de darse condiciones anticiclónicas asociadas a altas presiones intensas por sobre su condición normal, especialmente a partir del año 2000, el factor térmico a nivel de superficie no reduce significativamente la caída de la temperatura del aire (factor asociado a heladas). Por ejemplo, los cambios observados en la circulación de la troposfera baja en Chile central, el mayor contenido de humedad en la capa baja atmosférica, predominio de flujo de los oestes en la troposfera media y alta, podría ser parte de la respuesta a los cambios de las correlaciones observadas.

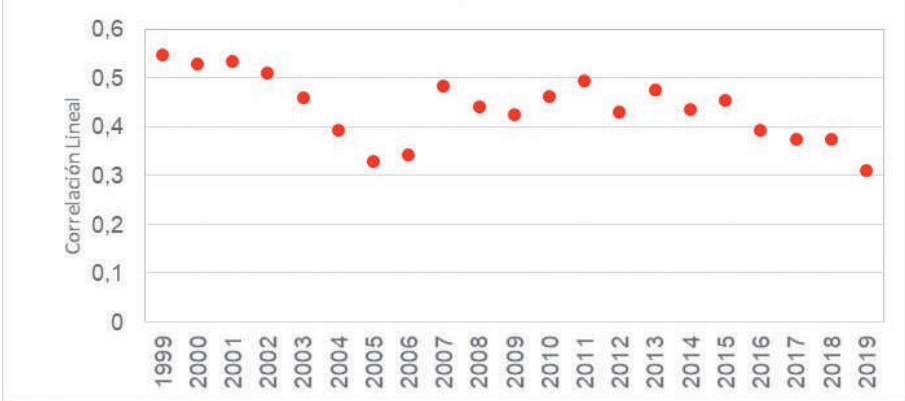


Figura 2.7. Cálculo de la correlación lineal entre el índice de Presión del Pacífico Sur (IPPS) y la ocurrencia de heladas en Chile central, expresado en anomalías estandarizadas, para períodos móviles de treinta años siendo el primer valor el período 1970-1999 y el último punto 1990-2019.

Al evaluar dos períodos, el primero entre 1970 y 1994 y el segundo, entre 1995 y 2019, es posible apreciar un deterioro de la correlación lineal positiva (relación directa) de +0.60 (puntos rojos) a un valor de +0.45 (puntos azules).

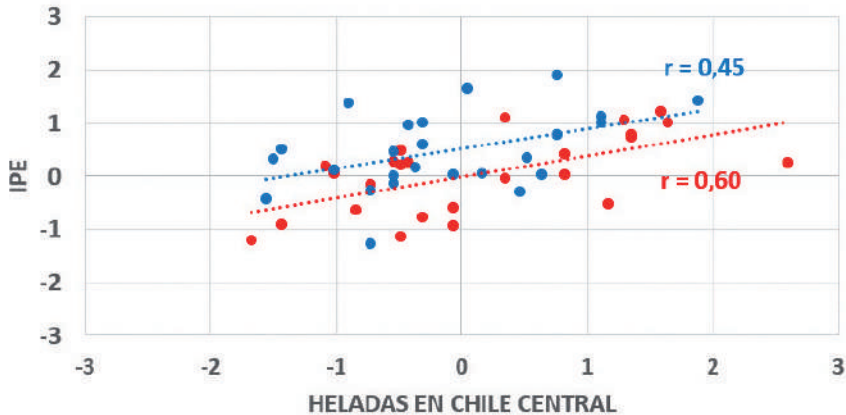


Figura 2.8. Correlaciones realizadas en los períodos 1970–1994 (círculos en rojo) y 1995–2019 (círculos en azul), entre las Heladas ocurridas en Chile Central y el Índice de Presión Estandarizado (IPE), asociada a Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur.

2.6 La influencia del fenómeno del ciclo El Niño – La Niña y las heladas en Chile

En presencia de un evento La Niña, el anticiclón subtropical del Pacífico suroriental, se intensifica aún más, aumentando su área de acción más al sur de lo normal e impidiendo el normal desplazamiento de los sistemas frontales que provienen de la región oeste del Pacífico. Esta condición atmosférica permite la menor frecuencia de bandas nubosas frontales hacia la zona central y norte, y además inhibe el normal desarrollo de la nubosidad de los frentes, que son imprescindibles para la generación de la precipitación. Los anticiclones subtropicales, se caracterizan por tener una gran extensión en la vertical (15–20 km) y horizontal (1000–3000 km) y poseer una mayor estabilidad atmosférica que impide la formación de nubes de origen frontal que causan las precipitaciones. Esta condición también favorece un mayor enfriamiento nocturno incrementando la caída de la temperatura y la consecuente aparición de un mayor número de heladas, especialmente como se presentó durante el invierno de 2007. Un anticiclón subtropical más intenso, también favorece el desplazamiento de masas de aire más frío, moviéndose desde el sur hacia la

zona central y norte del país, además de un mayor incremento en la intensidad del viento costero de componente sur-suroeste. Por el contrario, en los años de El Niño, donde las aguas oceánicas son anormalmente más cálidas en el Pacífico ecuatorial central y los vientos de los oestes en toda la troposfera se hacen más intenso que su condición media (corriente en chorro muy intensa cruzando los 35°S), favorece que las masas de aire frío, entre mayo y septiembre, que se mueven por la zona de latitudes altas, no se aproximen con mayor frecuencia a la zona central y sur del país, reduciendo de esta manera la mayor frecuencia de heladas y períodos fríos prolongados.

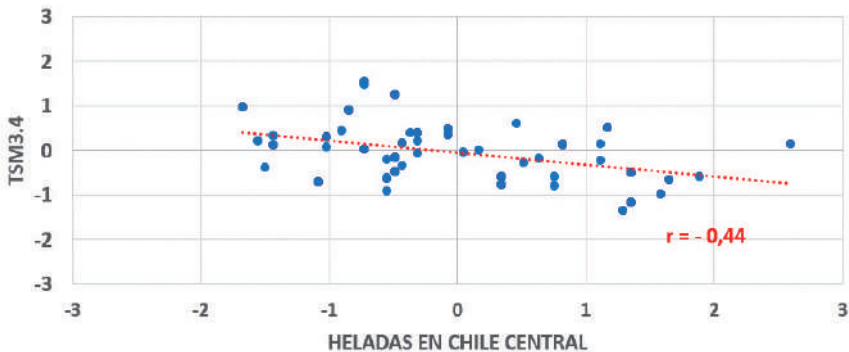


Figura 2.9. Correlación lineal entre el índice de la temperatura superficial del mar (TSM) correspondiente al área de El Niño3.4 (5°N-5°S; 120°W-170°W) y el número de días con heladas que se registraron en la zona central del país (Curicó-Chillán), entre los años 1970-2019.

2.7 La Oscilación Antártica y las Heladas en Chile

La Oscilación Antártica (OA) presente en latitudes medias y altas del hemisferio sur, describe un patrón dominante de las variaciones de la circulación troposférica no estacional al sur de los 20°S y en distintas escalas de tiempo. El primer modo de variabilidad de la OA, muestra un dipolo de anomalías en el campo de la presión a nivel del mar entre dos regiones, uno al norte de los 50°S, y otro de signo opuesto y más significativo, en la región antártica al oeste de la Península Antártica. Lo indicado en la Figura 2.10., corresponde a la fase positiva de la OA, donde presiones bajo lo normal (en color azul) están sobre la región antártica, y presiones por sobre lo normal (en color amarillo y naranja), corresponde a regiones al norte de los 50° de latitud sur. Su estructura simétricamente zonal, presenta un patrón de circulación que responde a intercambios de masas de aire entre latitudes medias y altas, llamado también, Modo Anular del Pacífico

Sur (SAM, por sus siglas en inglés), debido a su marcada estructura zonalmente simétrica (de forma de anillos), entre las regiones de latitudes altas (Antártica) y latitudes medias (~45°S) del Hemisferio Sur.

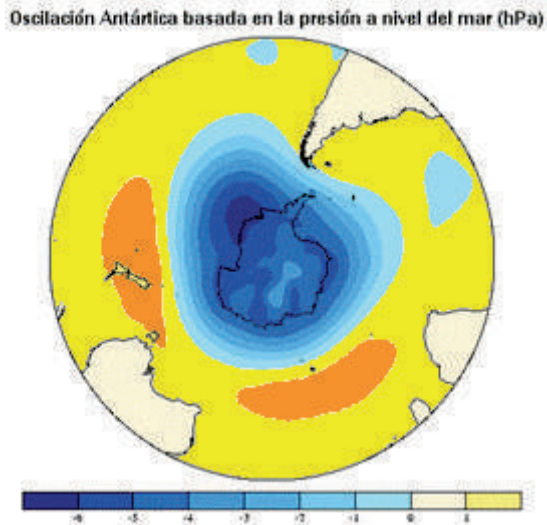


Figura 2.10. Patrón espacial definido como fase positiva de la Oscilación Antártica o Modo Anular del Pacífico Sur, obtenido de la regresión entre las anomalías estandarizadas de presión a nivel del mar y la serie de la 1ª Componente Principal de la Oscilación Antártica (expresadas en unidades de hPa por desviación estándar). Las mayores anomalías de signo negativo (en hPa), están centradas sobre el Polo Sur y las anomalías más débiles de signo positivo se centran entre 40–50°S. Fuente: Thompson y Wallace, 2000.

La OA también ha permitido monitorear y caracterizar la variabilidad de la circulación atmosférica en latitudes medias y altas del Hemisferio Sur y vincularlo con la variabilidad climática extratropical, permitiendo identificar posibles mecanismos físicos asociados a las tendencias de la circulación troposférica que se vinculan, por ejemplo, con los cambios en la temperatura del aire en superficie en gran parte de Sudamérica incluyendo Chile.

Con el propósito de explorar el grado de vinculación entre los patrones de circulación presente entre latitudes medias y altas del hemisferio sur referido a la OA, se desarrolló un índice regional de la OA, basado en datos de la presión a nivel del mar obtenidos del Reanálisis, correspondiente al área 20–45°S; 80–90°W y 55–70°S, 80–90°W, llamado Índice de Oscilación Antártico Regional (IOAR).

El IOAR permitió evidenciar que existe una relación directa entre la fase positiva de la Oscilación Antártica Regional y la ocurrencia de Heladas en Chile central y sur. Esto se fundamenta porque bajo fase positiva de la OA aparecen condiciones de la presión a nivel de superficie mucho más frecuente que favorece el transporte de masas de aire fríos desde latitudes altas, además que dominan condiciones atmosféricas con menor nubosidad y carencia de sistemas frontales activos, lo que intensifica el descenso de la temperatura matinal (temperatura mínima) por pérdida radiativa nocturna (radiación de onda larga terrestre) a nivel de superficie terrestre.

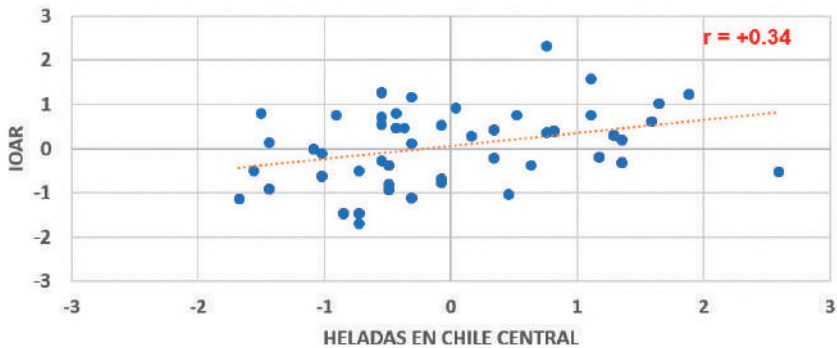


Figura 2.11. Correlación lineal entre el índice de la Oscilación Antártica Regional temperatura superficial del mar (TSM) correspondiente al área de El Niño3.4 (5°N-5°S; 120°W-170°W) y el número de días con heladas que se registraron en la zona central del país (Curicó-Chillán), entre los años 1970-2019.

2.8 Heladas ocurridas en septiembre de 2013 y sus efectos en la agricultura.

La condición meteorológica más extrema ocurrida en septiembre de 2013, asociada a tres episodios de heladas en Chile central se presentó los días 17, 23 y 28, con pérdidas millonarias en el sector agrícola, especialmente en la fruticultura de la zona central de Chile (ODEPA, 2013).

La ocurrencia en el número de días con heladas durante los períodos de primavera en Chile central (Santiago-Curicó) y sur (Chillán - Temuco) evidencian que en esta última región existe una tendencia positiva (mayor ocurrencia en el número de días con heladas), a diferencia de la zona central donde, que tiende más bien

a la disminución (Figura 2.12). Sin embargo, hay que considerar que las heladas de primavera representan menos del 20% de días con heladas del total anual, sin embargo, sus efectos en la agricultura pueden llegar a ser catastróficos, como lo ocurrido el año 2013.

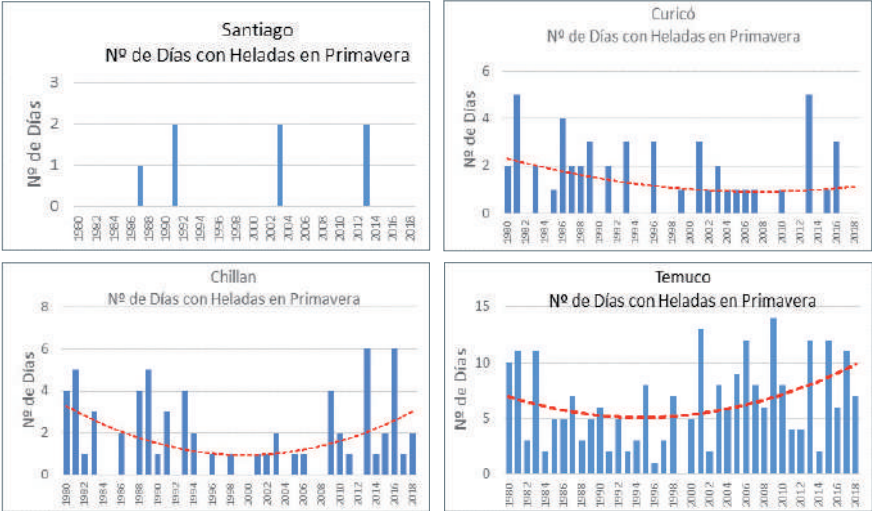


Figura 2.12. Número de días con heladas en el trimestre de primavera (Sep-Oct-Nov) indicado con barras en azul, para el período comprendido entre 1980 y 2018, para las ciudades de Santiago, Curicó, Chillán y Temuco. La curva en rojo corresponde a un ajuste polinomial de 2° grado.

Los tres episodios de heladas ocurridos en septiembre de 2013, estuvieron asociados al paso de vaguadas en altura (circulación ciclónica) 2 a 3 días previos al enfriamiento nocturno observado los días 17, 23 y 28, no generando precipitación en Chile central pero si un arrastre importante de masa de aire frío de origen subpolar que se depositó en toda la zona central de Chile y Argentina y Paraguay. En la Figura 2.13, se puede observar con flechas azules el transporte de masa aire provenientes de latitudes altas ingresando por la zona central de Chile y pasando al sector argentino. El centro de baja presión ubicado en el sector del atlántico sur próximo a Argentina mantiene con circulación ciclónica y arrastre permanente del aire frío proveniente del sur por el lado de Chile. Dicha condición se caracteriza con bajas temperaturas, alcanzando anomalías negativas de más de 8°C en una extensa región del continente sudamericano y un extenso cinturón de anomalías positivas de la presión atmosférica en superficie, por sobre los 10 hPa, cubriendo gran parte del océano Pacífico sur.

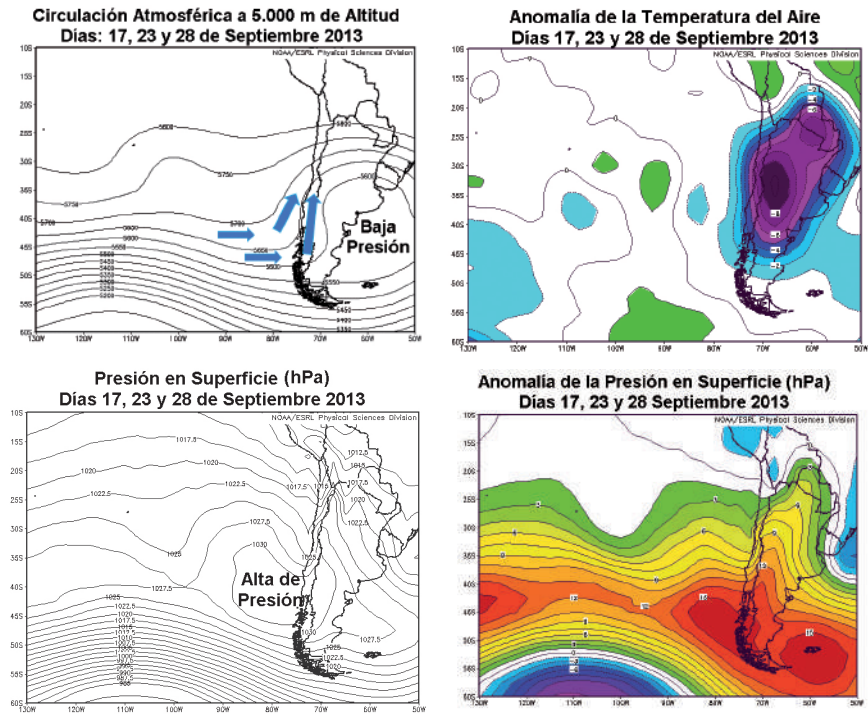


Figura 2.13. Campos de circulación en los días 17, 23 y 28 de septiembre de 2013, donde la figura **superior izquierda** muestra la circulación atmosférica a 5000 metros de altitud, con las flechas azules indicando el desplazamiento de masa de aire frío ingresando hacia la zona central de Chile. **Superior derecha**, representa el campo de anomalía de la temperatura del aire en superficie. **Inferior izquierda**, muestra el campo de presión a nivel del mar (hPa), con la ubicación de la Alta de Presión en la zona sur de Chile. **Inferior derecha**, se presenta el campo de anomalías de presión en hPa.

La evolución de la temperatura del aire observada en Curicó los días 17, 23 y 28 de septiembre de 2013, muestran que el día 17 fue el más frío, iniciándose la helada meteorológica (T° mínima $<$ a 0°C), exactamente a las 04 horas 05 min de la madrugada y extendiéndose hasta las 08 horas 39 min de la mañana, con un período de duración de 4 horas 29 min. El valor mínimo registrado de la temperatura fue de -2.1°C a las 07:15 hora local. El segundo día más frío correspondió al 28, con una temperatura mínima de $-1,4^{\circ}\text{C}$, a las 07:17 hora local seguido del día 23, con una temperatura de -1.0°C a las 07:30 hora local (Figura 2.14).

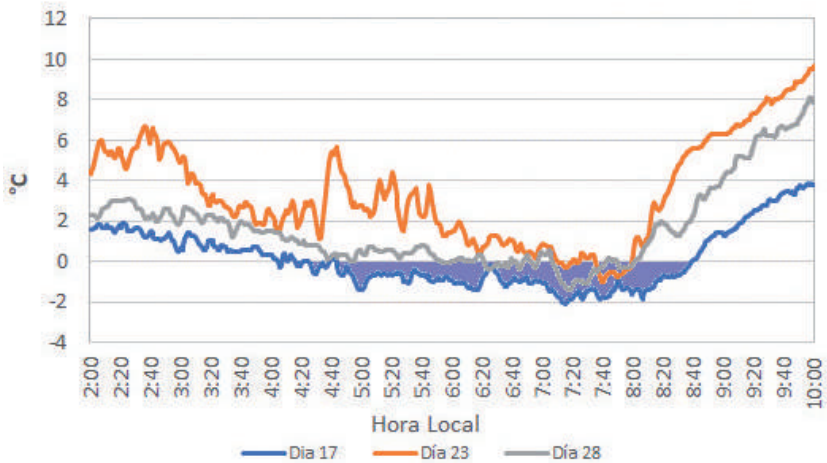


Figura 2.14. Evolución de la temperatura del aire registrada en la estación automática de Curicó, los días 17, 23 y 28 de septiembre de 2019, entre las 2:00 y 10:00 hora local. El área achurada en azul representa las temperaturas bajo el 0°C, evidenciando la extensión de la helada meteorológica.

2.9 Referencias

- Garreaud, R. y Wallace, J. 1998. Summertime incursions of mid-latitude air into tropical and subtropical South America. *Mon. Wea Rev.*, 126, 2713-2733.
- Garreaud, R. 1999. Cold air incursions over subtropical and tropical South America. A numerical case study. *Mon. Wea. Rev.*, 127, 2823-2853.
- Garreaud, R. 2000. Cold air incursions over Subtropical South America: Mean structure and dynamics. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 2544-2559.
- Muller, G. y Berri, G. 2007: Atmospheric circulation associated with persistent generalized frosts in central-southern South America. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 1268-1289.
- Muller, G. y Berri, G. 2012: Atmospheric circulation associated with extreme generalized frosts persistence in central-southern South America. *Climate Dyn.*, 38, 837-857.
- Muller, G. y Ambrizzi, T. 2007: Teleconnection patterns and Rossby wave propagation associated with generalized frosts over southern South America. *Climate Dyn.*, 29, 633-645.

CAPÍTULO 3

CLIMATOLOGÍA DE LAS HELADAS

Rodrigo Bravo Herrera

Ingeniero agrónomo. Dr. Cs. Agrarias
INIA Remehue

María Carolina Vidal Guajardo

Meteoróloga
Dirección Meteorológica de Chile.

3.1 Introducción

Las heladas son eventos meteorológicos que gatillan algunas decisiones en diferentes sectores económicos. En el caso de la agricultura hay actividades especialmente sensibles a la ocurrencia de estos eventos por el daño económico que pueden provocar, de acuerdo al momento y estado fenológico de los cultivos, la duración e intensidad de la helada.

Las consecuencias de eventos como heladas pueden producir, la merma total o parcial del capital de trabajo, contraer deudas que sobre pasen su capacidad de pago, barreras que les impiden invertir, riesgo de perder su actividad productiva, e incluso pueden llegar a perder sus bienes y activos (Aldunce et al., 2009).

Por el impacto económico a nivel predial y regional, es particularmente útil conocer la climatología de las heladas para la toma de decisiones. Esto considera el patrón de ocurrencia a través del tiempo o largo plazo como una variable de caracterización de los territorios.

La localización y características geográficas de nuestro país lo hacen poseedor de diversos climas, lo cual permite una diversidad de actividades en cuanto a agricultura y ganadería, sin embargo, existe un ciclo anual en el cual podemos distinguir fácilmente un periodo cálido (verano) y uno frío (invierno) y también las estaciones de transición entre ambos periodos (otoño y primavera). En general, el crecimiento de las plantas se activa o comienza con el inicio en el aumento de la temperatura hacia fines del invierno e inicio de primavera, momento en que se producen las últimas heladas del año. Hacia fines del verano y principios del otoño comienza a disminuir la temperatura, se han producido los eventos fenológicos reproductivos de las plantas, y en la agricultura se han cosechado los productos cultivados. Entre ambos momentos se produce lo que se denomina el periodo libre de heladas (PLH), el que se puede definir como el número de días

entre la última helada de primavera y la primera helada de otoño durante el periodo de crecimiento de las plantas.

Durante el periodo de crecimiento, la temperatura del aire se va volviendo favorable para el crecimiento y desarrollo de las plantas, sin embargo, es recurrente la ocurrencia de heladas en primavera. El periodo libre de heladas tiene variabilidad anual en función de las fechas de la última helada y la primera helada, sin embargo, para cada sitio se puede observar un patrón a través del tiempo, que permite establecer estadísticas para la toma de decisiones.

Las heladas, a lo largo de nuestro país se presentan, aumentando su frecuencia a medida que se avanza de norte a sur, por lo cual, el periodo libre de heladas va disminuyendo de norte a sur, con fechas de última helada más tardías en primavera, y fechas de primera helada más tempranas en otoño, lo que se transforma en una limitante para la diversidad de cultivos hacia el sur.

En este capítulo se presenta una descripción de la climatología de heladas analizando registros meteorológicos de temperaturas mínimas entregando información de largo plazo respecto a la ocurrencia de heladas, las tendencias, estimación de heladas por mes, probabilidad de heladas por mes, estimación de la periodo libre de heladas, y las fechas de última y primera helada, para diferentes localidades el país como información referencial que puede ser utilizada para la toma de decisiones

3.2 Definición de indicadores utilizados para la caracterización de heladas

- **Días con helada:** En el marco de los estudios de cambio climático, se han definido una serie de índices para monitorear los patrones de cambio producidos en regiones o a nivel local a partir de las series de datos meteorológicos disponible. El indicador días con helada, corresponde simplemente al número total de días al año en que la temperatura mínima está bajo 0°C. Como indicador de cambio climático se analiza la tendencia de largo plazo en este indicador.
- **Fecha de última helada:** corresponde a la fecha de ocurrencia de la última helada que se presenta normalmente a fines de invierno o en primavera.
- **Fecha de la primera helada:** es la fecha del año en que ocurre la primera helada. Frecuentemente en inicios del otoño de cada año.
- **Periodo libre de heladas:** la cantidad de días entre la ultima helada de primavera y la primera helada del otoño siguiente.

- **Heladas por mes:** cantidad de heladas ocurridas por mes.
- **Probabilidad mensual de heladas:** es el cociente entre el número promedio de eventos de heladas a través de los años y el número de días del mes.
- **Fecha probable de última helada:** es la fecha del año en que ocurre la última helada del año a una probabilidad “p”.
- **Fecha probable de la primera helada:** es el día del año o fecha en que ocurre la primera helada a una probabilidad “p”.

En este trabajo la probabilidad “p” se definió de acuerdo a la metodología descrita por Ortiz (1987) en que la ocurrencia de heladas se trata como una distribución normal. Se muestra la probabilidad de un 20 % que estadísticamente representa lo que ocurriría 1 de cada 5 años (Fernández, 2016), o en forma inversa representa la no ocurrencia el 80 % de las ocasiones.

Para diferencias espacialmente la ubicación de los diferentes sitios se utilizan zonas (agrupación de regiones) y las Áreas Ambientales Homogéneas de (Apey et al., 2011)

3.3 Tendencias y variabilidad.

3.3.1 Zona Central (regiones de Valparaíso a O’Higgins)

En esta zona, que ha sido golpeada fuertemente por la sequía que ha afectado al país durante la última década, los eventos de helada no son inusuales durante el invierno en los sectores interiores, aunque sí lo son en la costa. En la zona central, la tendencia de días con heladas en Pudahuel muestra una disminución de 3 días con helada por década, sin embargo, en primavera la tendencia a la disminución es a una tasa por década mucho menor. En la estación San Felipe, en la Región de Valparaíso, no se observa una tendencia a la disminución en los 46 años de datos analizados, tanto en número de heladas ocurridas anualmente como las heladas contabilizadas en los meses de primavera. No obstante al observar la serie de tiempo de fecha de última helada y primera helada en ambas localidades tienen una trayectoria inversa. Mientras en San Felipe, la fecha de última helada tiende a ser levemente más tardía y la de primera helada tiende a ser más temprana, en Pudahuel ocurre lo contrario, es decir, la tendencia es a tener un periodo libre de heladas más amplio, adelantándose la última helada en unos 30 días en promedio respecto de inicios de los '70 (Figura 3.1).

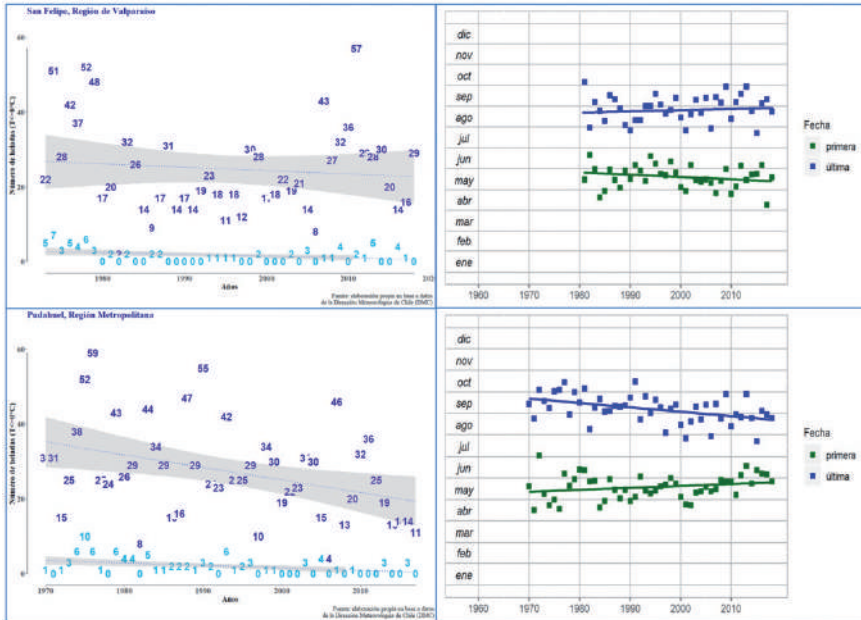


Figura 3.1 Número de heladas anual y en primavera (izquierda). Fecha de primera y última helada a través de los años (panel derecha).. Estaciones meteorológicas en San Felipe y Pudahuel. La línea corresponde a la tendencia lineal observada en el periodo analizado.

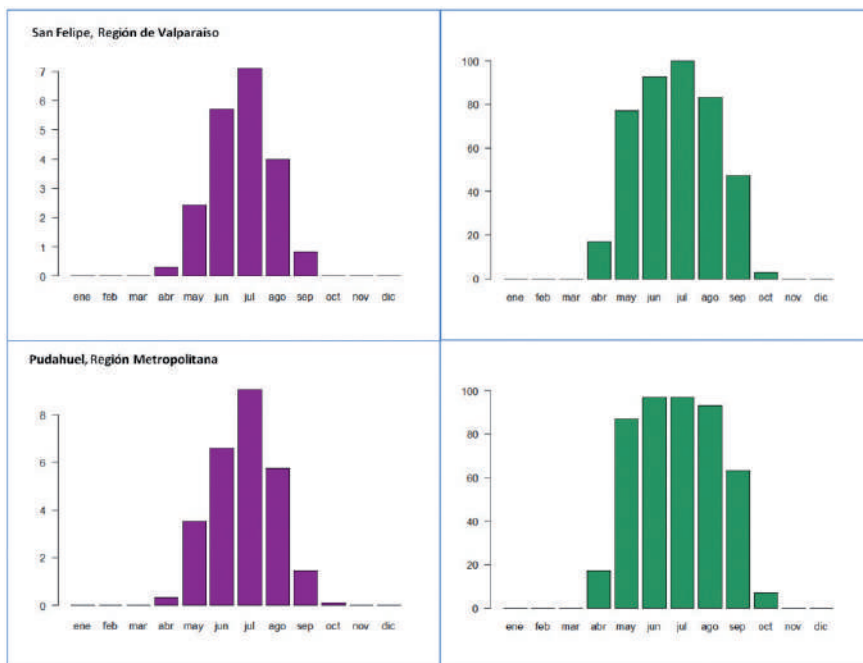


Figura 3.2. Número de días con helada (panel izquierdo), probabilidad de ocurrencia de heladas en cada mes (panel central en San Felipe y Pudahuel).

En la comuna de San Felipe, Región de Valparaíso ocurren un promedio 20 días de helada al año, con 47% de probabilidad de ocurrencia de un evento de helada durante septiembre. El 6 de octubre de 1981 se presentó la helada más tardía ocurrida entre 1973 y el 2018. La fecha media de última helada es el 31 de agosto, sin embargo, con una probabilidad del 20 % la fecha de última helada es el 14 de septiembre. La fecha de primera helada es el 31 de mayo. Lo que permite tener un periodo libre de heladas de 259 días en San Felipe (Figura 3.3).

Por su parte, en la Región Metropolitana, la estación Pudahuel, ubicada en el aeropuerto de Santiago, tiene registros de heladas entre abril y octubre, con un promedio de 27 días de heladas al año. En los meses primaverales, periodo importante en el monitoreo de heladas, existe un 63% de probabilidad de que al menos ocurra un evento de helada en septiembre y un 7% durante octubre, sin embargo, desde 1991 que no se observan temperaturas bajo 0°C en este último mes. En aquella ocasión, la temperatura descendió a los -1.8°C durante el martes 15 y al día siguiente, miércoles 16, bajó aún más: -2.8°C. La fecha media de la última helada es el 7 de septiembre y de la primera helada el 18 de mayo, con un periodo libre de heladas en promedio de 254 días. No obstante, en

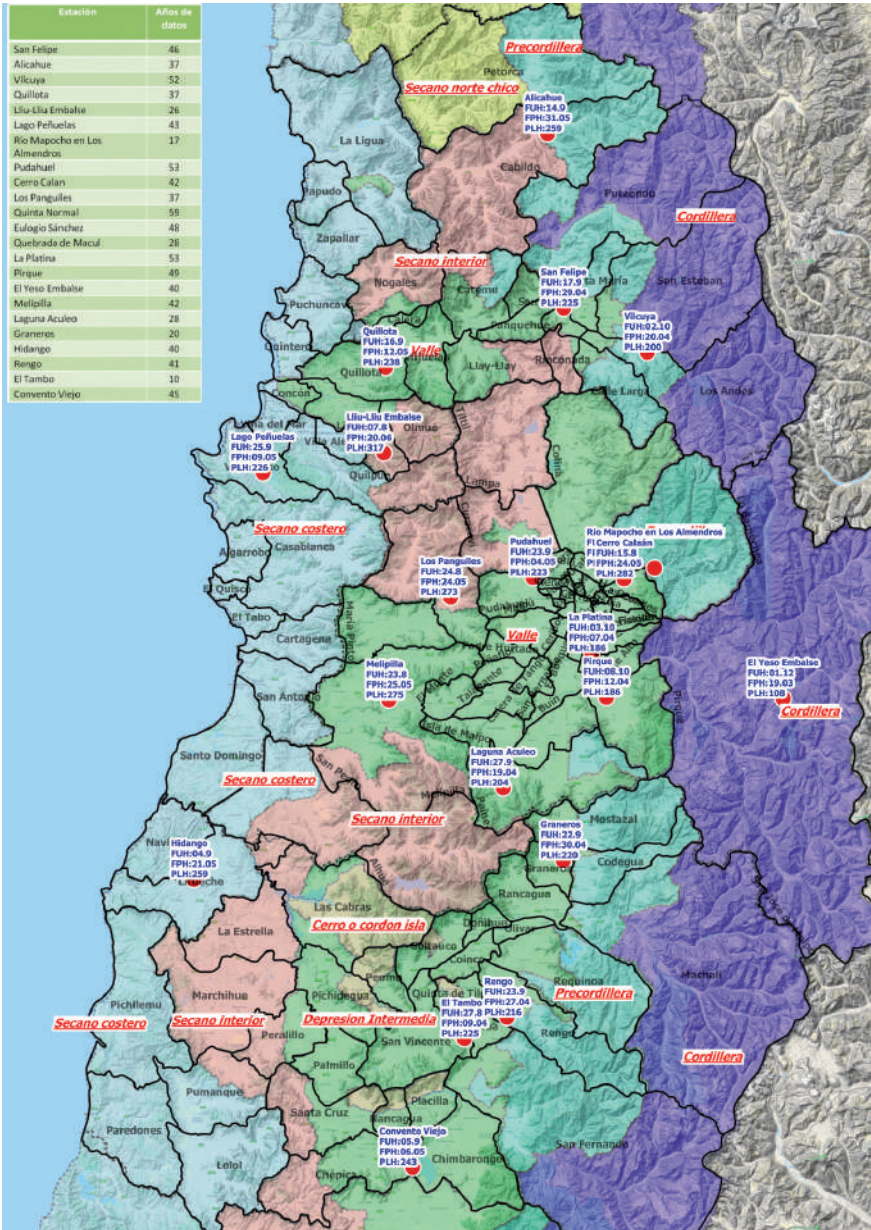


Figura 3.3. Periodo libre de heladas (PLH) entre la última helada de primavera y la primera helada de otoño. Fecha de última helada (FUH) y fecha de primera helada (FPH) con una probabilidad del 20 % entre temporadas. **Zona Central** (regiones de Valparaíso a O'Higgins)

Pudahuel con una probabilidad del 20% la fecha de la última helada es el 23 de septiembre y de la primera helada el 4 de mayo, lo que permite tener un periodo libre de heladas de 223 días (Figura 3.3).

En la Figura 3.3 se muestran los indicadores del fecha de última helada (FUH), fecha de primera helada (FPH), y periodo libre de heladas (PLH) estimados con una probabilidad del 20 % utilizando series históricas de datos de estaciones meteorológicas ubicada en diferentes puntos. En la tabla anexa en el mapa se muestran la cantidad de datos disponibles para cada estación.

Las estaciones meteorológicas Lago Peñuelas e Hidango ubicadas en el secano costero presentan PLH bastante amplio con 226 y 259 días, respectivamente. En el secano interior, solo se registran datos en la estación Lliu-Lliu en Quilpué donde el PLH es muy amplio con 317 días, la estación Los Panguiles en Curacaví con 273 días.

En la zona de Valle, que abarca territorios en la Región de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, PLH adquiere valores que van desde 282 días en el Cerro Calan a 857 msnm hasta 186 días en La Platina y Pirque al sur de Santiago y a unos 650 msnm. Las estaciones meteorológicas Laguna de Aculeo y hacia la Región de O'Higgins, presentan PLH mas cortos que van desde 204 días a 243 días en Convento Viejo. Graneros, Rengo y El Tambo, en San Vicente, presentan 220, 216 y 225 días como PLH, entre mediados a fines de septiembre y principios a mediados de abril.

En general, en las estaciones meteorológicas ubicadas entre la pre-cordillera y la cordillera andina, los PLH se acortan en forma significativa, con fechas de últimas heladas entre fines de septiembre y mediados de octubre, y fechas de primeras heladas es a fines de marzo.

3.2.2 Zona Centro Sur (regiones del Maule, Ñuble y Biobio)

En la zona centro-sur, la tendencia también es a la disminución de los días con helada anualmente, y con comportamiento diferente en la primavera. En Curicó la tasa de decrecimiento es de 2 días por década entre 1961 y 2018, observándose una gran diferencia entre la década de los '60 y parte de los '70, cuando en promedio se tenían sobre 35 días con helada al año, respecto de lo que ocurre desde el año 1977 en adelante, cuando se tiene en promedio en torno a 20 días con helada. Bajo este escenario, si solo se considera entre los años 1977 y 2018, la tendencia a una disminución de los días con helada desaparece y se obtiene una muy leve tendencia positiva, la cual en la práctica

no muestra aumento en los días con helada. Este cambio observado en los días con helada ha sido documentado, ya que se observó también con otras variables meteorológicas y en otros lugares, y se conoce como salto climático 1976-1977 (Jaques et al., 2014). En el caso de las heladas ocurridas en primavera en Curicó, la tendencia también es a la disminución a una tasa de 0,4 por década.

Más al sur y hacia la costa de la Región del Biobío, la tendencia a la disminución es cercana a 1 día por década en todo el periodo. En Concepción, la tendencia del número de días con helada es negativa entre 1961 y 2018 (-0.5 días de helada por década) y también se aprecia el salto climático de mediados de los '70, con lo cual la tendencia entre 1977 y 2018 cambia de signo a una magnitud similar (+0.5 días por década). En los meses de primavera, la tendencia de largo plazo es que el número de heladas no cambia y se mantiene estadísticamente igual entre 1960 y 2018 (Figura 3.4, panel izquierdo).

No obstante lo anterior, la tendencia en el periodo libre de heladas se ha ido incrementando a través del tiempo en Curicó y en forma menos notoria en Concepción. En Curicó la fecha de última helada ha sido más temprana en 23 días en los últimos diez años respecto a los años 60 y la fecha de primera

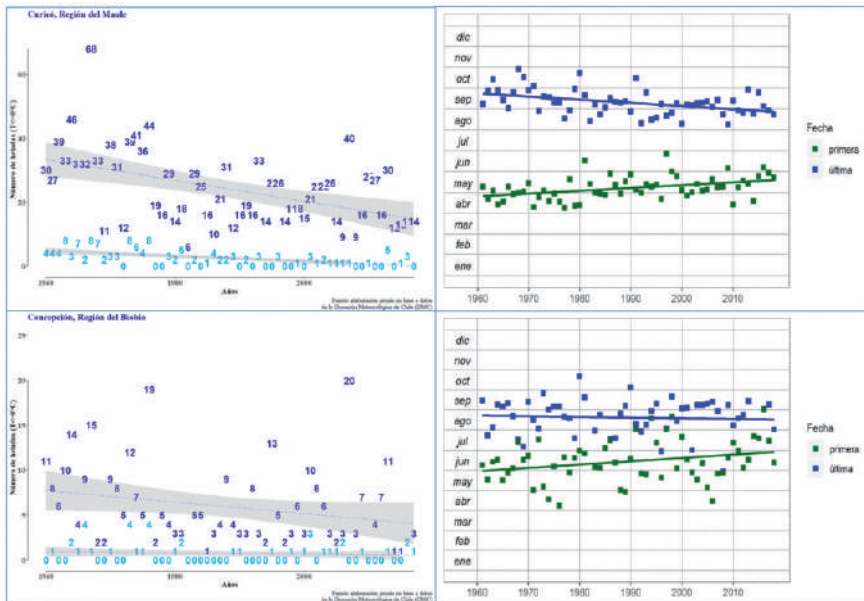


Figura 3.4 Número de heladas anual y en primavera (izquierda). Fecha de primera y última helada (panel derecho). Estaciones meteorológicas en **Curicó y Concepción**. La línea corresponde a la tendencia lineal observada en el periodo analizado.

helada se ha retrasado en 16 días. Con ello el PLH se ha incrementado en 39 días considerando el promedio de la década de los 60. En el caso de Concepción, la FUH se han mantenido igual muy similar a través del las décadas, no así la FPH, que se ha vuelto más tardía con una diferencia de 9 días respecto a los años 60 (Figura 3.4, Panel derecho).

En esta zona, los meses con probabilidad de heladas comienzan en abril y termina en octubre, pero el numero de heladas se incrementa desde la costa (Concepción) hacia los valles interiores (Curicó) y precordillera. En Curicó la mayor cantidad de días con temperaturas bajo 0° C se da en el mes de julio, con probabilidades cercanas al 100% en cuanto a ocurrencia de helada en ese mes. De hecho, entre los meses de mayo a agosto las probabilidad que ocurra al menos una helada por mes es superior al 80%, con un promedio de 16 días de helada al año solo esos meses. En septiembre la probabilidad de ocurrencia de heladas es cercano a 60 %, con al menos un evento de helada (Figura 3.5).

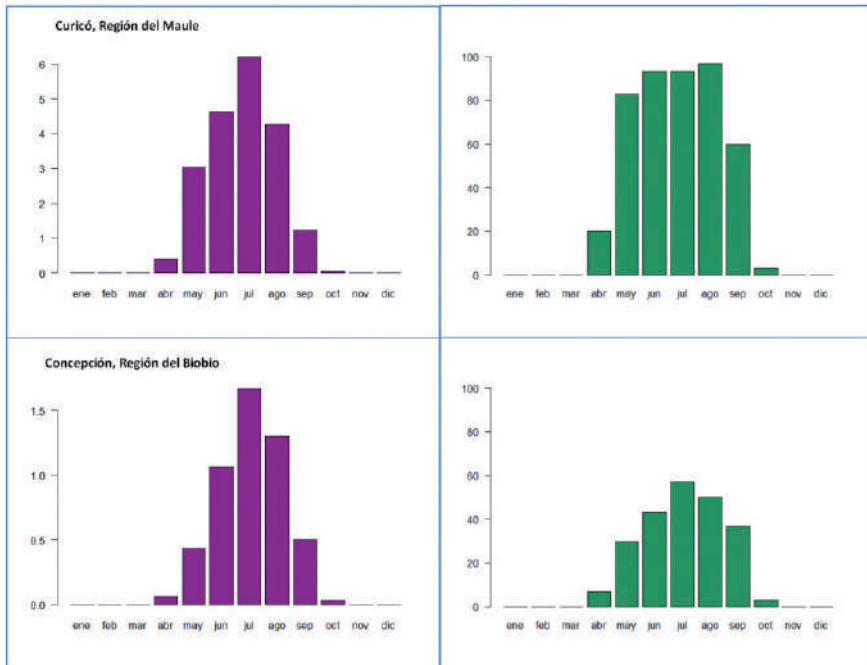


Figura 3.5. Número de días con helada (panel izquierdo), probabilidad de ocurrencia de heladas en cada mes (panel derecho) en Curicó y Concepción.

En la Figura 3.6 se muestran los indicadores de fecha de última helada (FUH), fecha de primera helada (FPH), y periodo libre de heladas (PLH) estimados con una probabilidad del 20 % utilizando series históricas de datos de estaciones meteorológicas ubicada en diferentes puntos de la zona centro sur. En la tabla anexa en el mapa se muestran la cantidad de datos disponibles (en años) para cada estación. En el secano costero, se encuentran las estaciones meteorológicas de Carriel sur (Concepción), Coronel, Peleco (Cañete) y Contulmo. En estas estaciones la FUH ocurren entre fines de agosto y la primera quincena de de septiembre, mientras que la FPH entre mediados de abril y la primera quincena de mayo. De esta manera, el periodo libre de heladas es 238 días en Peleco (Cañete), 225 días en Coronel, 241 días en Concepción y 265 días en Contulmo.

En el secano interior, se encuentran las estaciones meteorológicas Pencahue por el norte hasta Portezuelo por el sur. En este grupo la FPH ocurre entre el 9 de septiembre en Cauquenes hasta el 23 de septiembre en Pencahue y El Sauzal. Los Despachos y Portezuelo, presentan FPH entre el 14 y el 15 de septiembre. La FPH se presenta primero en El Sauzal, de tal manera que en esta zona el PLH es el más corto del secano interior con 183 días. Le siguen Los Despachos Portezuelo y Pencahue, con FPH en entre el 10 y el 21 de abril, y finalmente Cauquenes que presenta la FPH el 10 de mayo, siendo la más tardía en el grupo del secano costero y con el PLH más largo con 243 días. Las estaciones meteorológicas Pencahue, Los Despachos y Portezuelo, tienen PLH de 210, 207 y 218 días, respectivamente,

En la depresión intermedia, se encuentra las estaciones General Freire en Curicó por el norte de la zona centro-sur hasta Humán en el Centro Experimental del mismo nombre de INIA en Los Ángeles. En esta zona la FUH con una probabilidad del 20 % es el 24 de septiembre, más tardía en Talca y Rio Claro donde ocurre dentro de los primeros 10 día de septiembre. Parral, Bernardo O'Higgins (Chillan), y Humán la FPH al 20 % de probabilidad ocurre entre el 24 y el 28 de septiembre. Santa Rosa (en Chillan) registra la FPH en forma más tardía el 18 de octubre. La diferencia entre Santa Rosa y Bernardo O'Higgins, ambas en Chillan, se debe probablemente al corto periodo de registros de la primera, como se indica en el cuadro anexo al mapa en la Figura 3.6. En este sentido los valores representados por Bernardo O'Higgins son más representativos de la zona de Chillan ya que son cálculos realizados sobre 59 años de datos.

Finalmente entre la pre-cordillera y cordillera de la zona centro sur, se pueden encontrar las estaciones meteorológicas Potrero Grande por el norte hasta Quilaco por el sur. En estos sectores la FUH es más tardía. Ocurre entre la primera quincena de Octubre en Colorado (San Clemente), Ancoa (Colbún), Digüa (Parral), Caracol (Coihueco) hasta la primera quincena de noviembre en Potrero Grande

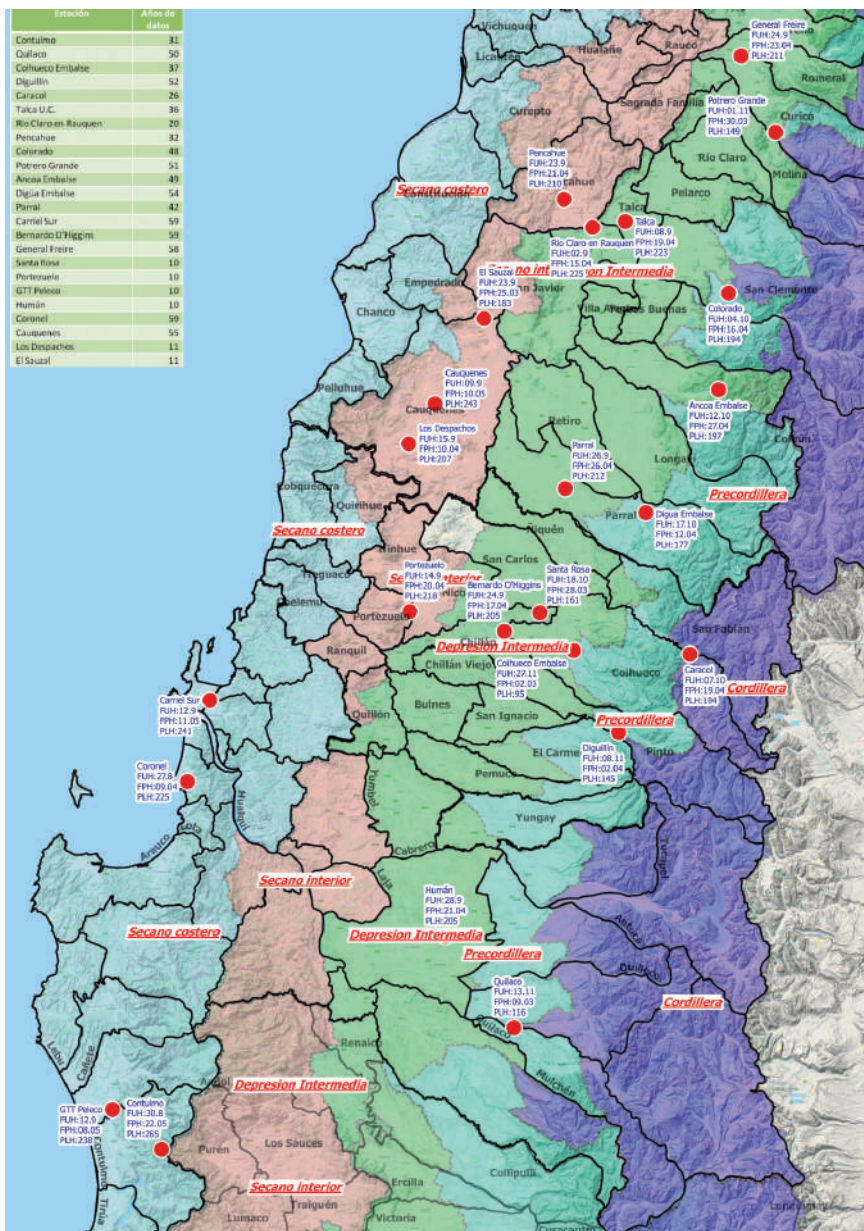


Figura 3.6 Periodo libre de heladas (PLH) entre la última helada de primavera y la primera helada de otoño. Fecha de última helada (FUH) y fecha de primera helada (FPH) con una probabilidad del 20 % entre temporadas. **Zona Centro Sur (regiones del Maule al Biobío).**

(Curicó), Diguillín (El Carmen) y Quilaco, en la comuna del mismo nombre. La FPH en estos sectores precordilleranos y cordilleranos comienza el 30 de marzo en Potrero Grande y hacia el sur se van presentando dentro de la primera quincena de abril. El PLH más corto lo presenta Quilaco, Diguillín y Potrero grande con 116, 145 y 149 días, respectivamente. Los demás sectores son Colorado, Ancoa, y Caracol con PLH de 194, 197 y 194 días, respectivamente.

3.3.3 Zona Sur (regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos)

Para la zona sur se han escogido dos estaciones meteorológicas representativas para analizar las tendencias. Estas estaciones corresponden a Temuco, y a Osorno. Ambas ubicadas en la depresión intermedia, donde se desarrolla gran parte de la actividad agrícola y que cuentan con un registro de largo plazo. En el caso de Temuco, el número de heladas anuales y en el periodo de primavera no muestran una tendencia en el periodo 1960- 2018. En cambio, en Osorno la tendencia lineal es a la disminución en el número de heladas anuales en 1 día por década, no así en primavera donde no hay una tendencia a la disminución o incremento en el número de heladas.

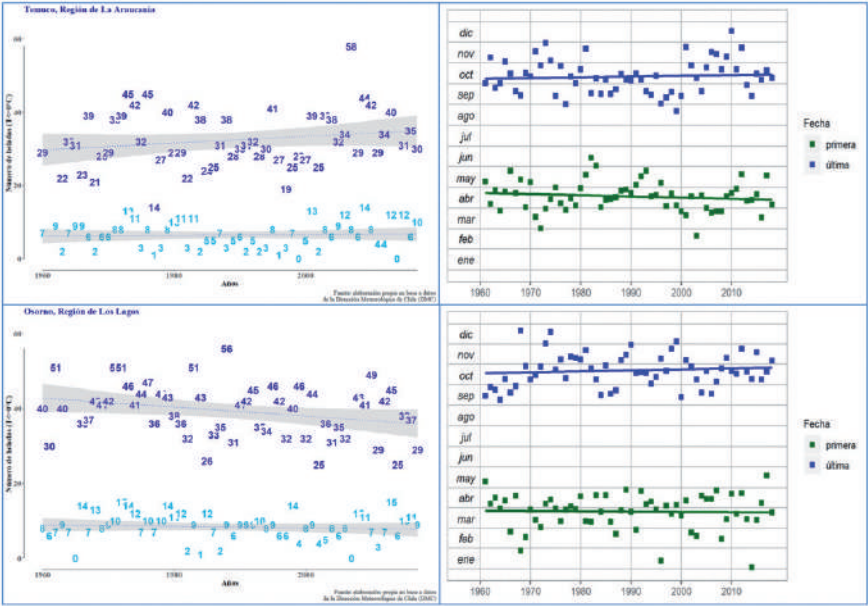


Figura 3.7 Número de heladas anual y en primavera panel izquierdo. Fecha de primera y última helada (panel derecho). Estaciones meteorológicas en **Temuco y Osorno**. La línea corresponde a la tendencia lineal observada en el periodo analizado.

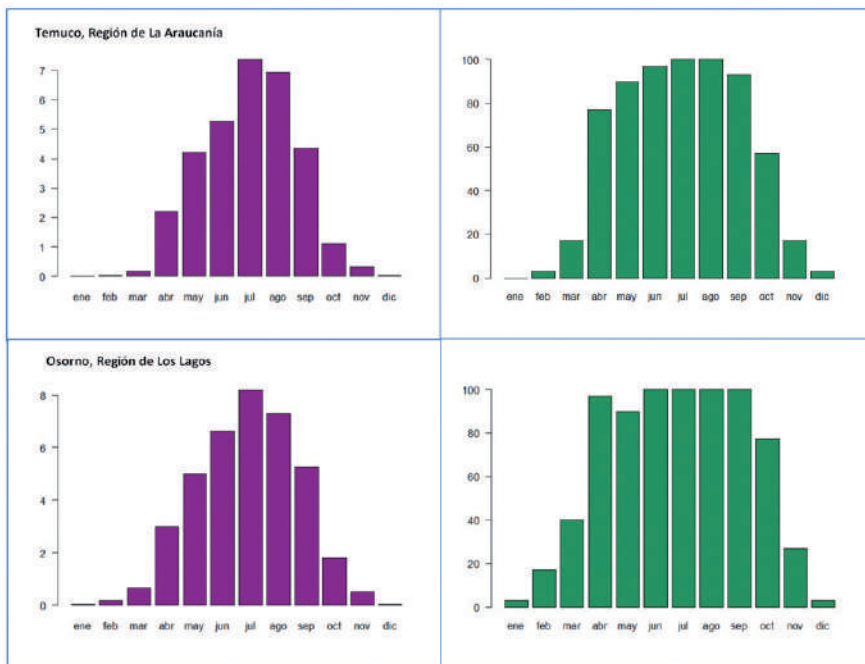


Figura 3.8. Número de días con helada (panel izquierdo), probabilidad de ocurrencia de heladas en cada mes (panel derecho) en Temuco y Osorno.

Entre las regiones de La Araucanía y Los Lagos, además del lógico aumento de número de días de helada, que en promedio va de 30 a 40 días al año, se observa lo opuesto de la zona central en cuanto a la evolución de la duración del periodo de heladas. La tendencia en la zona sur es al aumento del periodo de heladas, el cual se ve apoyado tanto por una fecha de primera helada más temprana (11 días de diferencia entre la media de los últimos 10 años respecto a la media de los años 60) y una fecha de última helada más tardía con 14 días de diferencia entre la media de la última década respecto a la década de los 60. En Osorno, se observa algo similar pero menos acentuado (Figura 3.7), con un retardo en la fecha de la primera helada de 10 días en la última década respecto a los años 60, pero una fecha de última helada promedio de la última década que permanece prácticamente igual que en los años 60. Esto tiene como resultado que el PLH, en ambos casos, se estrecha.

Dada la estadística observada en la Región de La Araucanía y la Región de Los Ríos para el periodo base de referencia (1981 a 2010), no hay probabilidad de heladas en enero. Sin embargo, debido al paso de una alta presión fría por la zona sur el 10 de enero de 2019, la temperatura descendió a valores bajo cero entre Victoria

y Dalcahue (-0.4°C en Valdivia y -0.2°C en Temuco y Osorno), convirtiéndose en un evento extraordinario en lugares como Temuco y Valdivia donde, al menos desde 1961, no había habido helada durante el primer mes del año. Más al sur, ya se habían visto heladas durante el mes de enero, como es lo registrado en Osorno, que desde 1961 en tres oportunidades la temperatura descendió bajo cero grados. Más al sur, no existe una tendencia clara definida, ya que en Valdivia, al igual que en la zona central, existe una tendencia a la disminución de los días con helada, pero en lugares como Temuco, Puerto Montt y Futaleufú se da la tendencia opuesta. Por ejemplo, en Puerto Montt, se observa un aumento de 1.5 días por década, con un promedio de 30 heladas al año en los últimos 10 años (datos no mostrados).

La Figura 3.9 muestra las estadísticas de FUH, FPH y PLH con una probabilidad del 20% para las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Varias estaciones meteorológicas corresponden a registros de 10 y 11 años, por lo cual es necesario observar la consistencia con estaciones meteorológicas vecinas que tengan más años de datos.

Por el sector del secano costero, se encuentran las estaciones Tranapunte en Carahue, Puerto Saavedra, Teodoro Schmidt, Valdivia en Isla Teja. La primera y segunda mencionadas registran FUH en forma muy temprana, probablemente por la exposición a sectores de costa, en cambio las otras dos, presentan FUH entre el 1 de octubre y el 12 de octubre respectivamente. La FPH en Tranapunte y Puerto Saavedra es a mediados de mayo, lo que es tardío. De esta forma, estas estaciones meteorológicas, presentan un PLH con probabilidad del 20%, de 243 y 268 días, respectivamente. En cambio, en Teodoro Schmidt y Valdivia Isla Teja, la FPH es la primera quincena de marzo, con lo cual el PLH se reduce a unos 150 días.

En el valle secano, desde Angol por el norte hasta La Pampa en Purranque hay una diversidad de situaciones. La FUH va desde el 04 de septiembre en Angol, entre el 21 y el 23 octubre de octubre en Ercilla, Traiguén y Lautaro. Y más al sur entre Temuco, Carillanca en Vilcún, y hacia la Región de Los Lagos en Remehue en Osorno y La Pampa, en el mes de noviembre para la FUH.

Al sur de la Región de Los Lagos, en Puerto Montt, en la zona de los Ñadis, se presentan los registros de las estaciones El Tepual en Puerto Montt y la estación Puerto Montt. Ambas registran FUH el 20 y el 21 de octubre, y FPH entre el 9 y el 10 de abril, lo que permite tener un PLH de 170 a 172 días en dicho sector.

En Chiloé, los registros del Centro Experimental Butalcura de INIA señalan una FUH al 20 % de probabilidad el 8 de noviembre, una FPH el 6 de abril, con un PLH de 149.

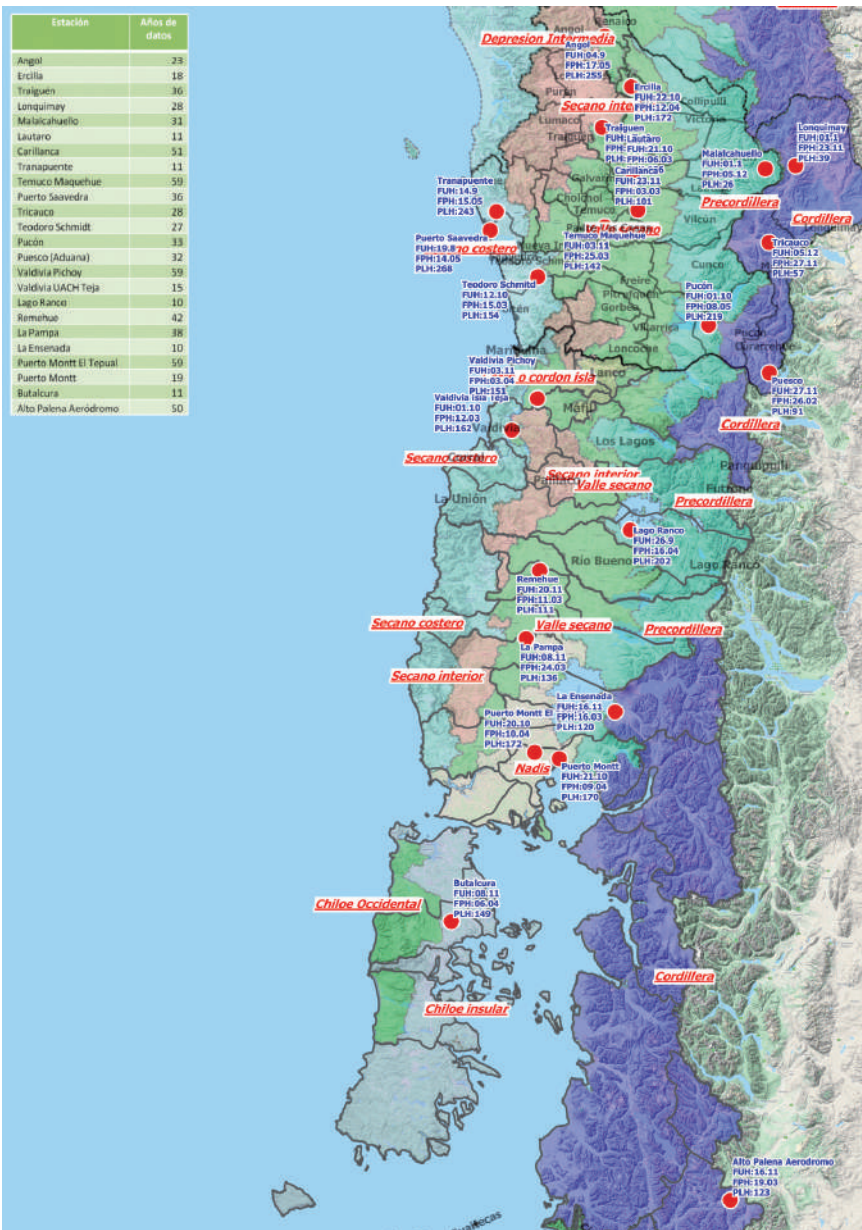


Figura 3.9. Periodo libre de heladas (PLH) entre la última helada de primavera y la primera helada de otoño. Fecha de última helada (FUH) y fecha de primera helada (FPH) con una probabilidad del 20 % entre temporadas. **Zona Sur** (regiones del La Araucanía a Los Lagos).

Los sectores de precordillera y cordillera de la zona sur, cuentan con los registros de Malalcahuello, Lonquimay, Tricauco, Puesto con PLH muy cortos con valores entre 26 y 91 días. Pero también sectores como Pucón, Lago Ranco y Alto Palena, que tienen PLH de 219, 202 y 123 días respectivamente. En el caso de Pucón y Lago Ranco, la FUH son el 1 de octubre y el 26 de septiembre, respectivamente. Mientras en Alto Palena, es el 16 de noviembre. La FPH, es 8 de mayo en Pucón y el 16 de abril en Lago Ranco. En ambos casos, puede ser favorecido por la presencia de los lagos vecinos. En el caso de Alto Palena, la FPH es el 19 de marzo, con una probabilidad del 20%.

3.3.4 Zona Austral (Región de Aysén)

En la zona austral, en Coyhaique, Región de Aysén, la tendencia aparente al aumento del número de heladas anual y en primavera no es significativa. Otras dos localidades de interés en esa Región son Chile Chico donde hay una tendencia al aumento en el número de heladas durante el año y en primavera, mientras que en Balmaceda no se observan tendencias en ningún sentido. Respecto a las fechas de última y primera helada, en Coyhaique se observa un desplazamiento hacia momentos más tardíos en ambos parámetros, pero el desplazamiento es mayor en la fecha de ultima helada, que en comparación del promedio de la última década respecto al promedio de los años 60, se ha desplazado en 15 días más tardía, mientras que la fecha de la primera helada sólo 6 días más tarde en la temporada. No obstante el periodo libre de heladas se ha reducido en 10 días entre el promedio de la última década y el promedio de los años 60.

Las temperaturas bajo cero son comunes en esta zona del país, con probabilidades de ocurrencia de 100 % de al menos una helada al mes en gran parte del año. Estadísticamente, el mes con mayor número de días de helada en la zona es

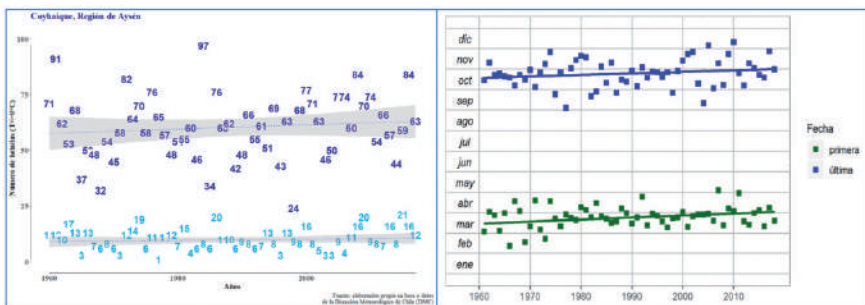


Figura 3.10 Número de heladas anual y en primavera (izquierda). Fecha de primera y última helada. Estaciones meteorológicas en **Coyhaique**. La línea corresponde a la tendencia lineal observada en el periodo analizado.

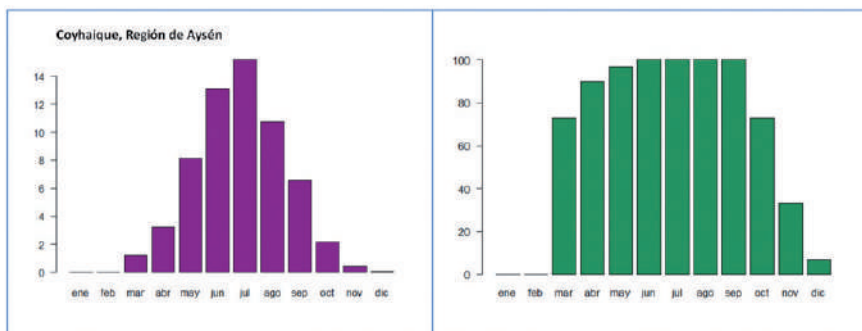


Figura 3.11 Número de días con helada (panel izquierdo), probabilidad de ocurrencia de heladas en cada mes (panel derecho) en **Coyhaique**.

julio, registrándose entre 15 y 20 días con temperaturas bajo cero durante ese mes. Por otra parte, en los meses de verano (diciembre, enero y febrero) también se han registrado heladas, aunque son eventos que no necesariamente se dan todos los años y en lugares como Coyhaique son poco frecuentes (Figura 3.11).

Las estadísticas de heladas a una probabilidad del 20 % en la zona austral se pueden ver en la Figura 3.12. En esta zona las fechas de última helada son más tardías y de primera helada ocurren en forma temprana con periodo libres de heladas mucho más estrechos que las zonas más al norte. Las estaciones meteorológicas en la sector llamado bosque lluvioso son el aeródromo de Puerto Aysén y Río Pascua, al sur de la región. En estos sitios, la fecha de la última helada (FUH) se estima el 19 de octubre, la fecha de la primera helada (FPH) el 13 de abril, lo que deja un periodo libre de helada (PLH) de 176 días en Puerto Aysén. En Río Pascua, es la misma FUH y la FPH el 17 de febrero, lo que deja 121 días de PLH.

En el sector de cordillera, se encuentran tres sitios. Al norte, Lago verde, y al sur de la Región, Bahía Murta y Puerto Guadal, con FUH el 28 de noviembre, el 30 de octubre y el 6 de octubre, respectivamente, a la probabilidad del 20%. La FPH, en el mismo orden es el 9 de marzo, el 15 de marzo y el 3 de abril. Esto deja un PLH de 101, 136 y 179 días.

El sector denominado precordillera trasandina se encuentran importantes sectores de la ganadería regional y la fruticultura, donde los cerezos conforman una alternativa muy rentable en el sector de Chile Chico. Los sitios que representan a este sector son Coyhaique Chile Chico, Lord Cochrane y Villa O'Higgins, nombrados de norte a sur. Las FUH, en el mismo orden, son el 12 de noviembre, el 20 de noviembre, el 18 de noviembre y el 15 de noviembre, mostrando una concentración bastante ajustada hacia la segunda quincena de

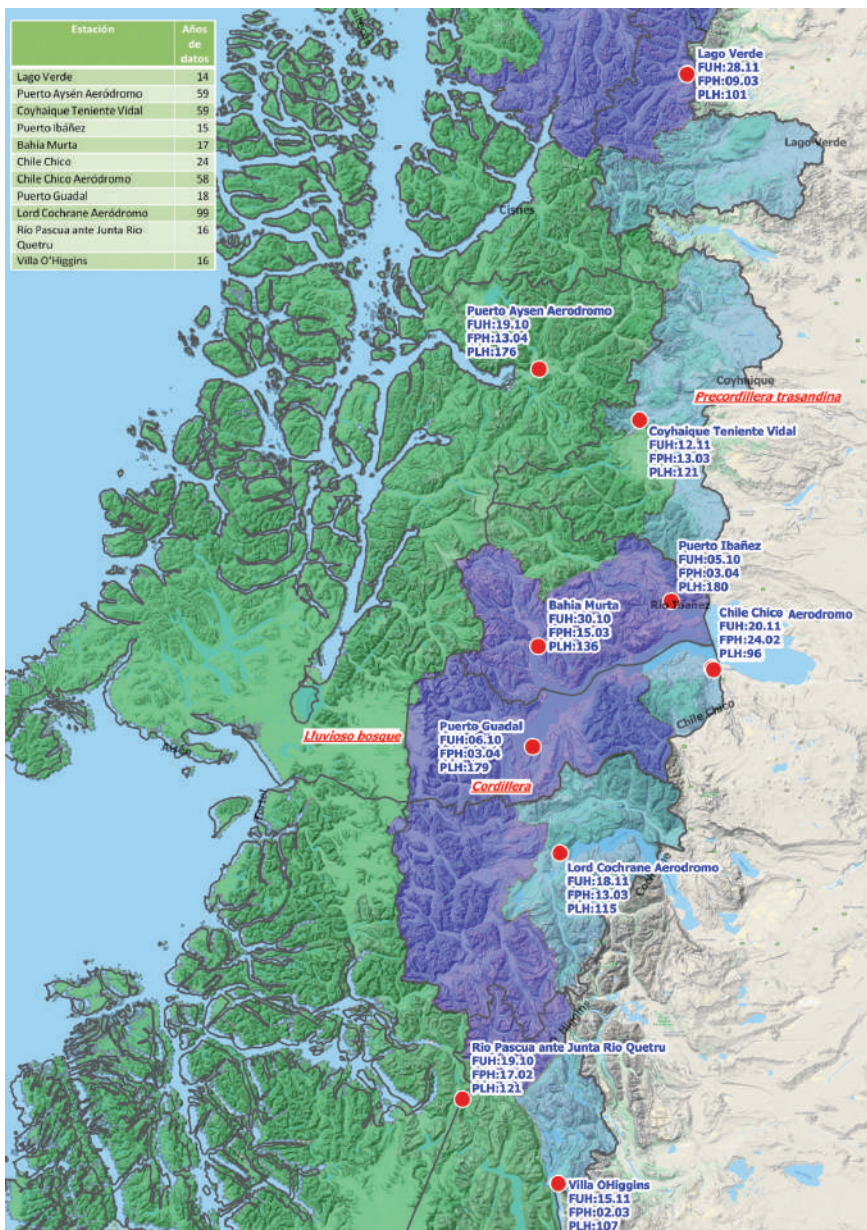


Figura 3.12. Periodo libre de heladas (PLH) entre la última helada de primavera y la primera helada de otoño. Fecha de última helada (FUH) y fecha de primera helada (FPH) con una probabilidad del 20 % entre temporadas. **Zona Austral (Región de Aysén)**

noviembre. Las FPH, también se ubican mas dispersas temporalmente, con el 13 de marzo en Coyhaique y Lord Cochrane, el 24 de febrero en Chile Chico y el 2 de marzo en Villa O'Higgins. El PLH en este sector de norte a sur, queda con 12i días en Coyhaique, 96 días en Chile Chico, 115 días en Lord Cochrane, y 107 días en Villa O'Higgins.

3.4 Referencias

- Aldunce, P. y González, M. 2009. Desastres asociados al clima en la agricultura y medio rural en Chile. Universidad de Chile. 119 p.
- Apey, A., Lopez, I., Ovalle, J. y Amunátegui, R. 2011. Agricultura chilena. Información social y productiva según tamaño del productor y localización geográfica. ODEPA. 18 pp.
- Fernández-Long, M. E., Barnatán, I., Dominici, C., y Murphy, G. 2016. Información agroclimática de las heladas en la Argentina: Generación y uso. *Meteorológica*, 41(2), 7-31.
- Jacques-Coper, M., y Garreaud, R. 2014. Characterization of the 1970s climate shift in South America. *International Journal of Climatology*, 2179 (August 2014), 2164-2179. <https://doi.org/10.1002/joc.4120>
- Ortiz, C. 1987. Elementos de Agrometeorología cuantitativa: con aplicaciones en la República mexicana. 3a edición. Universidad Autónoma de Chapingo. 327 p.

CAPÍTULO 4

HELADAS EN VIDES

Marisol Reyes Muñoz

Ingeniera Agrónomo

INIA Raihuen

Carolina Salazar-Parra

Bióloga Ambiental por la Universidad de Chile

INIA La Platina

4.1 Heladas primaverales y daño en la planta

En nuestro país los principales daños por heladas ocurren durante la brotación, dado que las temperaturas invernales de la zona de producción vitícola en Chile no son lo suficientemente bajas para generar daños en las vides en receso. Sin embargo, aquellas heladas que se producen entre septiembre y octubre han sido las que más han afectado la vitivinicultura en las últimas temporadas (Figura 4.1).



Figura 4.1 Efecto de las heladas, ocurridas entre el 3 de septiembre y el 3 de octubre de 2019, sobre vides brotadas.

Incluso, sin llegar a niveles de daño por frío en los tejidos, las bajas temperaturas cercanas a brotación pueden ser una de las causas de las variaciones interanuales en el rendimiento de los viñedos (Keller et al., 2010).

El cambio climático ha conllevado a una variación en la frecuencia o intensidad, de fenómenos climáticos extremos, como las heladas primaverales, afectando directamente la productividad del viñedo. Para evidenciar este fenómeno, en la estación meteorológica Cauquenes de INIA, se realizó un análisis de los días entre septiembre y octubre donde las temperaturas fueron inferiores o iguales a 0°C. Los datos evidencian, un incremento de las heladas primaverales a partir del 2010 (Cuadro 4.1). Estos datos podrían indicar que las variedades actualmente cultivadas en la zona puedan no ser tan aptas para ella, repitiéndose esta situación en varias zonas del país. Este fenómeno sumado a la falta de agua para riego podría poner en riesgo la sustentabilidad del rubro vitivinícola.

Cuadro 4.1 Número de heladas en los meses de septiembre y octubre entre 1964 y 2018.

Período	Septiembre	Octubre
1964-69	4	0
1970-79	9	0
1980-89	6	0
1990-99	2	0
2000-09	2	0
2010-18	29	3

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de agromet.inia.cl

Al entrar en receso las yemas inician un estado de aclimatación al frío, durante este periodo (hacia fines del verano e inicio de otoño) las yemas pueden soportar temperaturas inferiores a -6°C (LT₅₀*). Pero al iniciar el invierno la yema ha entrado en un segundo estado de aclimatación y su tolerancia al frío es máxima (Zabadal et al., 2007).

La yema invernal tiene diversas estrategias para protegerse durante el invierno. En primera instancia la pérdida de agua capilar y solutos es evitada con la presencia de una capa de células densa, compacta y lignificada, en la base de la yema. Justo debajo del tallo del brote primario existe una zona que actúa como barrera y aísla el brote primario de la yema. Finalmente los azúcares y solutos orgánicos aumentan la concentración en los brotes al tiempo que se produce la deshidratación celular y estabilización de las membranas, lo que permite el "sobreenfriamiento" de células y tejidos (Goffinet M., 2004).

* LT50: temperatura a la cual son dañadas el 50 % de las yemas.

El agua celular debe ser eliminada o quedar “ligada”, para evitar que con las bajas temperaturas se congele y se rompan las membranas de la célula. Este proceso de aclimatación es fuertemente influenciado por la magnitud de las temperaturas invernales, por lo tanto la temperatura absoluta a la cual la planta se puede dañar varía entre zonas. De la misma manera, las variaciones de la temperatura a mediados del invierno pueden llevar a las plantas a desaclimatarse, ya que este proceso es fuertemente dependiente del incremento de ésta (Zabadal et al., 2007). Cabe también señalar que en zonas donde se acumula una mayor cantidad de unidades de frío (bajo 10°C), la aclimatación y tolerancia de las plantas es mejor que en zonas más templadas (Pool et al., 1992; citado por Zabadal et al., 2007).

A salidas del invierno, cuando la temperatura del suelo en el área donde se ubican las raíces, sube de 7°C, se inicia el “lloro” en los brotes, lo que indica la reactivación de la actividad metabólica en las raíces. Almidón, proteínas, azúcares y aminoácidos se incrementan en las raíces haciendo subir la presión osmótica y movilizándolo el agua hacia el xilema, cuyo contenido es impulsado hacia la parte superior de la planta estimulando la activación de las yemas (Keller M. 2010).

4.2 Aclimatación y desaclimatación

Para sobrevivir al invierno la vid realiza un proceso de aclimatación al frío. Este proceso se inicia a medida que el largo del día se acorta y las temperaturas decrecen, generándose una serie de cambios metabólicos y genéticos en la planta. Después de pinta, el brote comienza a lignificarse desde la base hacia las puntas, lo que llevará a la vid desde un activo crecimiento y fotosíntesis hacia una fase dormante, en que progresivamente se va haciendo más tolerante a las bajas temperaturas. Las yemas van así entrando a un estado llamado de “endodormancia” donde son resistentes incluso al congelamiento, haciéndose aún más resistentes a medida que el invierno avanza (Londo y Martinson, 2016). Durante este período de bajas temperaturas las vides satisfacen sus requerimientos de frío y una vez que éstos son satisfechos las yemas están aptas para responder al incremento de la temperatura. Sin embargo, mientras las temperaturas son bajas las yemas se mantendrán en un estado de ecodormancia, es decir, las condiciones de crecimiento desfavorables rompen la endodormancia e imponen la ecodormancia (Keller, 2010). Cuando se inicia el ascenso de la temperatura en primavera, las yemas y brotes reiniciarán su hidratación y al mismo tiempo perderán su resistencia al frío o se desaclimatarán, lo que incluso puede ocurrir cuando las temperaturas invernales son extremadamente altas (Londo y Martinson, 2016).

4.3 Dinámica del daño por exposición al frío y congelación

El daño por frío o bajas temperaturas es aquel que se produce cuando la planta es expuesta a temperaturas menores a las que permiten su normal crecimiento, pero sin llegar a niveles de congelamiento. En plantas de clima templado los efectos o respuestas de ellas, al encontrarse expuestas a bajas temperaturas, serán variados según el estado de desarrollo en que ésta se encuentra, su condición general, la existencia de períodos previos de adaptación, etc.

Cuando la planta ya se encuentra brotada, uno de los primeros efectos de las bajas temperaturas se produce sobre las hojas: reducción de la fotosíntesis, ralentización del movimiento de carbohidratos, baja en la tasa respiratoria e inhibición y degradación de algunas proteínas. Todas estas respuestas serían determinadas por la pérdida de funcionalidad que se produce en las membranas, las que se vuelven menos fluidas y por lo tanto sus componentes proteicos (enzimas principalmente) ya no pueden funcionar normalmente. Adicionalmente, el mecanismo fotosintético también se ve dañado (Taiz and Zeiger, 2006).

En el caso del congelamiento, cuando éste es rápido, los cristales de hielo que se forman son demasiado pequeños para causar daño mecánico. Por el contrario, para el descongelamiento se requiere un calentamiento rápido del tejido congelado para evitar que los pequeños cristales se conviertan en grandes y para evitar la pérdida de agua por sublimación. Desgraciadamente en la naturaleza la velocidad de congelación y descongelación nunca son tan altas como para evitar el daño.

La formación de hielo se inicia en los espacios intercelulares y en los vasos del xilema, si la exposición no es muy larga y la planta no es muy sensible ésta puede recuperarse. Cuando la exposición se prolonga, el congelamiento del agua de los espacios intercelulares deriva en que el potencial de solutos se hace menor fuera de la célula, lo que provoca la salida de agua desde el citoplasma (interior de la célula) y genera una plasmólisis irreversible (la célula se contrae) y finalmente el tejido se muere.

Idealmente el descongelado deberá ser lento, de manera de no generar daños en las membranas y permitir la rehidratación de las células si estas no se han dañado.

4.4 Factores asociados al daño por heladas en vides

4.4.1 Respuesta varietal.

Se ha observado que tanto en la aclimatación como la desaclimatación existen respuestas diferentes según la variedad. Por ejemplo, Riesling y Chardonnay serían igualmente tolerantes al frío a mediados del otoño, sin embargo la tolerancia de esta última al frío es menor hacia fines del otoño y fines de invierno (Milles et al., 2006). El mismo ensayo, comparando sólo tintas, se encontró que Cabernet Sauvignon fue generalmente la variedad más resistente y Merlot el menos resistente, mientras que Malbec y Syrah fueron intermedios. Otros estudios corroboraron la mayor resistencia al frío invernal de Riesling frente a Cabernet Sauvignon, sin embargo esta última se desaclimataba más lentamente (Woolf and Cook., 1992). Al comparar Cabernet con Chardonnay, los resultados son similares, si bien Chardonnay es más tolerante al frío invernal, Cabernet se desaclimatiza más lentamente, siendo por tanto más apta sitios que presentan heladas primaverales (Cragin., 2015; Cragin et al., 2017), por lo que sería más adecuada para las actuales condiciones de Chile central. También se ha observado que la entrada en latencia en Cabernet es muy brusca (Hernández, 2011), lo que también le da ventajas frente a heladas tempranas en otoño. Merlot por el contrario tiene una ganancia y pérdida de resistencia más escalonada y su período de latencia es mucho más corto que Cabernet (Hernández, 2011).

La zona de origen de las variedades también tiene injerencia en su resistencia al frío y momento de brotación. Genotipos provenientes de zonas más heladas son más resistentes al frío y brotan más temprano, lo que hace que sean más vulnerables a heladas primaverales cuando se encuentran establecidos en zonas más cálidas (Ferguson et al., 2014).

Aunque en el mundo existen más de 10.000 variedades de vid, con diferentes requerimientos climáticos y aptitud para ser cultivadas en diversos climas y suelos, sólo 46 variedades cubren más del 80% de la superficie plantada con viñedos. Si bien en los últimos 15 años se han producido cambios en la composición varietal mundial, el mercado y el gusto del consumidor son concluyentes al momento de decidir qué variedad plantar (OIV, 2017). Así entonces, la exploración de otras variedades, de mayor rusticidad o mejor adaptación a condiciones adversas se ha visto limitada por las condiciones del mercado.

No obstante, las características genéticas de este amplio número de variedades, ofrecen una primera línea de acción para escapar a las bajas temperaturas. Experimentos realizados en condiciones de laboratorio han clasificado el nivel de tolerancia al frío de diferentes variedades, medido como la temperatura

necesaria para matar el 50% de las yemas (Cuadro 4.2). Otros estudios, para evaluar tolerancia de la yema primaria al congelamiento, clasificaron variedades de menor a mayor sensibilidad al frío: Chardonnay, Malvasía blanca, Carmenère, Cabernet Sauvignon, Sauvignon blanc, Cabernet franc, Malbec, Merlot, Sangiovese, Syrah y Tempranillo, entre otras (Dami et al., 2016).

Sin embargo, si se considera que bajo las condiciones de Chile central el mayor daño de heladas se produce en el momento en que la planta inicia la desaclimatación, factores como su precocidad para salir del receso e iniciar la brotación son más relevantes que la resistencia al congelamiento. Se ha registrado hasta dos semanas de diferencia en la brotación entre las distintas variedades (Cuadro 4.3), por lo tanto al planificar la plantación de un viñedo, se debiera considerar dejar las variedades más tempranas en brotar en aquellos sectores que presenten menos riesgo de heladas primaverales.

En orden descendente, especies como *Vitis riparia* (especies norteamericanas), *Vitis amurensis* (Especies asiáticas), *Vitis labruscana* e híbridos interespecíficos presentan mayor tolerancia al frío (Dami, 2007). También algunos portainjertos de estas especies podrían modificar la aclimatación y desaclimatación de las variedades, no así su tolerancia al congelamiento (Miller, 1998; Fennel, 2004).

Cuadro 4.1 Resistencia relativa al frío de diferentes genotipos de uvas.

Clasificación de resistencia	Rango de temperaturas críticas para matar el 50% de yemas (°C)	Ejemplo de variedades
Muy sensible	-20,55 a -15,55	Chenin blanc, Merlot, Semillón, Syrah, Sauvignon blanc, Zinfandel
Sensible	-22,22 a -17,77	Chardonnay, Cabernet Sauvignon, Gewürztraminer, Pinot gris, Pinot noir, Sangiovese Viognier
Moderadamente sensible	-23,33 a -22,22	White Riesling, Cabernet franc, Lemberger

Fuente: Adaptado de Dami I., 2007.

Cuadro 4.2 Diferencias en brotación (días) para algunas variedades de vid para vino.

Variedad	Momento de brotación (días)
Chenin blanc, Chardonnay	0
Gewürztraminer, Viognier	1
Pinot blanc	2
Pinos gris, Pinot noir, Merlot	3
Petite Verdot, Tannat	5
Riesling, Cabernet Franc, Semillon	6
Grenache, Muscat Ottonel	7
Sauvignon blanc, Syrah, Tempranillo	8
Carignan, Marsanne	10
Cabernet Sauvignon, Mourvedre	14

Fuente: Adaptado de Hellman E., 2019.

El nivel de carga y momento de cosecha también tendrían efectos variados en la aclimatación y resistencia de las diferentes variedades. Chardonnay, Pinot noir y Merlot habrían reducido su resistencia máxima al frío debido al nivel de carga y al momento de la cosecha: cosechas más altas y tardías disminuyen la resistencia al frío, en especial en temporadas más frías, húmedas y tardías. En el caso de Cabernet franc, Sauvignon blanc y Riesling, ni el nivel de cultivo ni la fecha de cosecha tuvieron efecto sobre el rendimiento o su resistencia al frío (Willwerth et al., 2014). Este estudio señala además que cuando se dan cosechas de elevados rendimientos, con condiciones climáticas más frías y húmedas que el promedio normal, se reduce la tolerancia al frío, con una aclimatación retrasada y reducción de la resistencia máxima al frío. Por el contrario, en temporadas cálidas y más tempranas, con altos rendimientos y cosecha tardía, no se afectan la resistencia al frío (Willwerth et al., 2014).

En algunas variedades también se ha observado una notoria adaptación a las condiciones climatológicas de la zona en la que se cultiva. Syrah, por ejemplo, refleja claramente las diferencias que hay de año en año en la duración e intensidad de su periodo de aclimatación (Hernández, 2012). Las condiciones meteorológicas otoñales afectan la entrada en dormancia y la adquisición de resistencia, pudiendo alterar la posterior vulnerabilidad al daño por frío, lo que sería relevante frente al cambio climático (Cragin et al., 2017).

En cuanto a la temperatura a nivel de raíces, esta tendría efecto en la brotación. Ensayos en Chardonnay y Cabernet Sauvignon, bajo condiciones controladas, demostraron que bajas temperaturas a nivel de raíces producía retardo en la brotación de ambas variedades y en un menor porcentaje, disminuyendo además la masa de raíces y brotes (Graham et al., 2002).

4.4.2 Estado fenológico.

Una vez que las yemas comienzan a desarrollarse y brotar, los efectos de las heladas tienen daños diferentes según el Estado Fenológico en que las yemas se encuentren y por supuesto según la intensidad y duración de la helada. La Cuadro 4.4 resume las temperaturas que matan el 10, 50 y 90% de las yemas en diferentes Estados fenológicos. Puede observarse que a medida que la yema se va desarrollando se daña con temperaturas menos intensas y que el diferencial de temperatura para pasar del 10 al 90% de yemas muertas es menor cuanto mayor es el desarrollo de la yema. En Chardonnay, se han observado diferencias de alrededor del 70% de incidencia de una helada entre yemas en el estado 1 y 4, siendo obviamente la más desarrollada la más afectada (Friend et al., 2011).

Cuadro 4.3 Temperaturas críticas para causar 10, 50 y 90% de muerte de yemas en diferentes Estados fenológicos.

Estado Fenológico	10% muerte	50% muerte	190% muerte
Yema hinchada	-10.5	-13.9	-19.4
Yema algodonosa	-3.3	-6.1	-12.2
Brotación	-2.2	-3.9	-8.9
Primera hoja	-1.9	-2.8	-6.1
Segunda hoja	-1.7	-2.2	-5.5
Tercera hoja	-2.2		-3.3
Cuarta hoja	-2.2		-2.8

Fuente: Modificado de <https://hortnews.extension.iastate.edu/2012/4-18/grapes.html>

Si bien el estado fenológico de una yema determina el nivel de daño que va a sufrir en un determinado momento, se ha visto que la posición de la yema también afecta su resistencia. Generalmente las yemas basales son más sensibles, lo que estaría relacionado con un mayor nivel de rafinosa en éstas (Grant y Dami., 2015).

En cuanto al nivel de pérdida en producción debido a una helada, también existe un componente varietal determinado por la fecundidad de las yemas secundarias. Psczółkowski (2015) citando a diversos autores, señala que Cabernet Sauvignon, Folle blanche, Pinot noir y Tokay reducen sólo un poco su producción debido a que sus yemas secundarias son fértiles, en tanto que Riesling reduce a 32%. Estudios en Chardonnay, determinaron que cuando se dañaba la yema primaria, la secundaria se desarrollaba en lugar de ésta y era capaz alcanzar el 32% de la producción, lo que se debía a que en los brotes primarios el 63% tenía dos racimos, el 26% tenía uno y 11% no tenía, en tanto que un brote secundario sólo el 11% poseía dos, 28% tenía uno y el 61% no tenía racimos. (Friend et al., 2011).

4.5 Manejos para evitar o disminuir el daño por heladas primaverales

4.5.1 Retraso en la fecha de poda.

Esta alternativa permite desplazar el desarrollo fenológico y con ello evitar que la planta tenga sus yemas expuestas a las heladas primaverales. En Cabernet, un desplazamiento de hasta 70 días de la fecha usual de poda en el valle central, permitió desplazar la brotación respecto del testigo hasta en 27 días (Concha, 2015). Estas diferencias sin embargo, no se mantienen, ya que la floración se produjo en la misma fecha, indistintamente del momento en que se podó. Tampoco se observaron efectos sobre la concentración de azúcar en las bayas. También se sabe que el retraso en la poda no tiene efecto en la pérdida de resistencia, ni en la caña ni la yema (Hamman et al., 1990).

Trabajos realizados en Malbec, desplazando la fecha de poda desde yema invernal hasta 8 hojas separadas (Estado 15 según Coombe), mostraron que cuando esta labor se hizo en brotación (Estado 4), no había efecto sobre la longitud de los brotes, el rendimiento, nivel de azúcar, pH ni composición química de la uva, respecto de cuando se hace en pleno receso, con yema invernal (Bustos, 2019). Por lo tanto, si bien la factibilidad de atrasar la poda al máximo, requiere una buena planificación y disponibilidad de personal, para superficies menores puede ser una alternativa de bajo costo y fácil implementación.

Otra práctica es dejar cargadores “largos” apuntando a que las yemas más apicales van a iniciar su desarrollo antes que las basales y por lo tanto estas últimas aumentarán sus probabilidades de escapar de las heladas primaverales. Una vez que ha pasado el período de heladas se poda dejando el número de yemas deseado. Igualmente, esta labor debe ser evaluada en términos económicos, en especial en superficies mayores, donde la consecuente contratación de personal para el repase de la poda debe ser puesta en el análisis de costos y beneficios.

4.5.2 Manejo de suelo.

Se sabe que la temperatura mínima es afectada por la textura del suelo y su contenido de agua. Las texturas francas y arcillosas son mejores almacenadores o conductores de calor que los arenosos. De manera similar, suelos más oscuros absorben más radicación y más temperatura en comparación a aquellos claros (Striegler, 2007)

Respecto de labrar el suelo versus el uso de herbicidas, estudios comparativos han visto que con el uso de herbicidas, temprano en la temporada, las temperaturas mínimas son de menor duración y entre 0.3 y 0.6°C más cálidas (Donaldson, 1993).

4.5.3 Uso de aceites invernales.

Si bien no se han desarrollado con el fin de proteger de las heladas, tienen un efecto indirecto al retardar la brotación. Dami (2007) evaluó diferentes tipos y concentraciones, concluyendo que dosis sobre 10%, de todos los aceites evaluados, eran tóxicas para casi todas las variedades y que la toxicidad dependía del tipo de aceite, concentración, momento de aplicación y variedad. También se concluyó que las plantas tratadas tenían una menor tasa de desaclimatación, lo que les permitiría escapar a las heladas tardías de primavera. La brotación podía ser retrasada hasta en 19 días según la variedad, sin embargo, cuando el retardo era superior a 10 días, había un efecto detrimental en el crecimiento de brotes y fruta.

4.5.4 Altura de formación de plantas.

Registros de temperatura, realizados durante septiembre de 2019 a diferentes alturas, en un viñedo ubicado en el Centro Experimental de INIA Cauquenes, dan cuenta del incremento de temperatura al incrementar la altura (Cuadro 4.5). El promedio del mes indica una diferencia de 0,3°C entre las 6 y 8 de la mañana al subir de 40 a 80 o 120 cm, lo que en términos absolutos puede no ser tan significativo, sin embargo si se considera que la magnitud del daño por heladas muchas veces está más determinada por la duración de las bajas temperaturas que por el valor mismo, esto es un factor a considerar. Especial importancia puede tener esto cuando se trata de viñedos formados en cabeza, los que en algunas zonas se caracterizan por la baja altura de sus plantas, lo que no solo tienen importancia en términos de exposición al frío sino que es además muy relevante para la sanidad de la fruta.

Cuadro 4.4 Diferencias de temperatura a través del día al subir de 40 a 80 cm y de 40 a 120 cm. Cauquenes, Septiembre 2019.

Hora	Diferencia de temperatura debida al incremento en altura	
	40 a 80 cm	40 a 120 cm
6:00	0,3	0,3
6:30	0,2	0,2
7:00	0,3	0,3
7:30	0,3	0,3
8:00	0,3	0,3
8:30	2,2	1,3
9:00	2,6	1,2
9:30	1,7	0,4
10:00	1,3	0,0
10:30	1,0	-0,2
11:00	0,7	-0,5
11:30	1,0	-0,6
11:00	0,8	-0,8
12:00	0,3	0,3

Fuente: Elaboración propia.

4.6 Uva de mesa: tecnologías para evitar o disminuir el daño por heladas

La vid es cultivada para la producción de vino, pasas y como fruta fresca. En Chile, el mercado del vino y la uva de mesa poseen relevancia a nivel mundial. La OIV 2019 ha ubicado a Chile como el 4to exportador de vino a nivel mundial y como el primer exportador de uva de mesa en el mundo. La fenología, fisiología y desarrollo de la vid, sea para consumo fresco o para la elaboración de vinos, siguen una línea común, ya que son la misma especie. Sin embargo, debido a los métodos de producción algunas tecnologías de control de heladas que son utilizadas en el cultivo de uva de mesa no se han implementado en la uva para producción vinífera, o aun no son una tecnología de uso masivo. Una de estas es el uso de cubiertas para la protección del cultivo ante fenómenos climáticos extremos.

El uso de cubiertas para la protección contra fenómenos climáticos extremos es una tecnología en crecimiento en diversos frutales. En viticultura, se ha desarrollado principalmente para el cultivo de uva de mesa con el uso de diferentes materiales de cobertura del follaje. Esta tecnología comenzó a utilizarse con el objetivo principal de proteger la fruta frente al creciente número

de fenómenos climáticos extremos que amenazan la producción, entre ellos el más relevante son las heladas primaverales y las lluvias en cosecha.

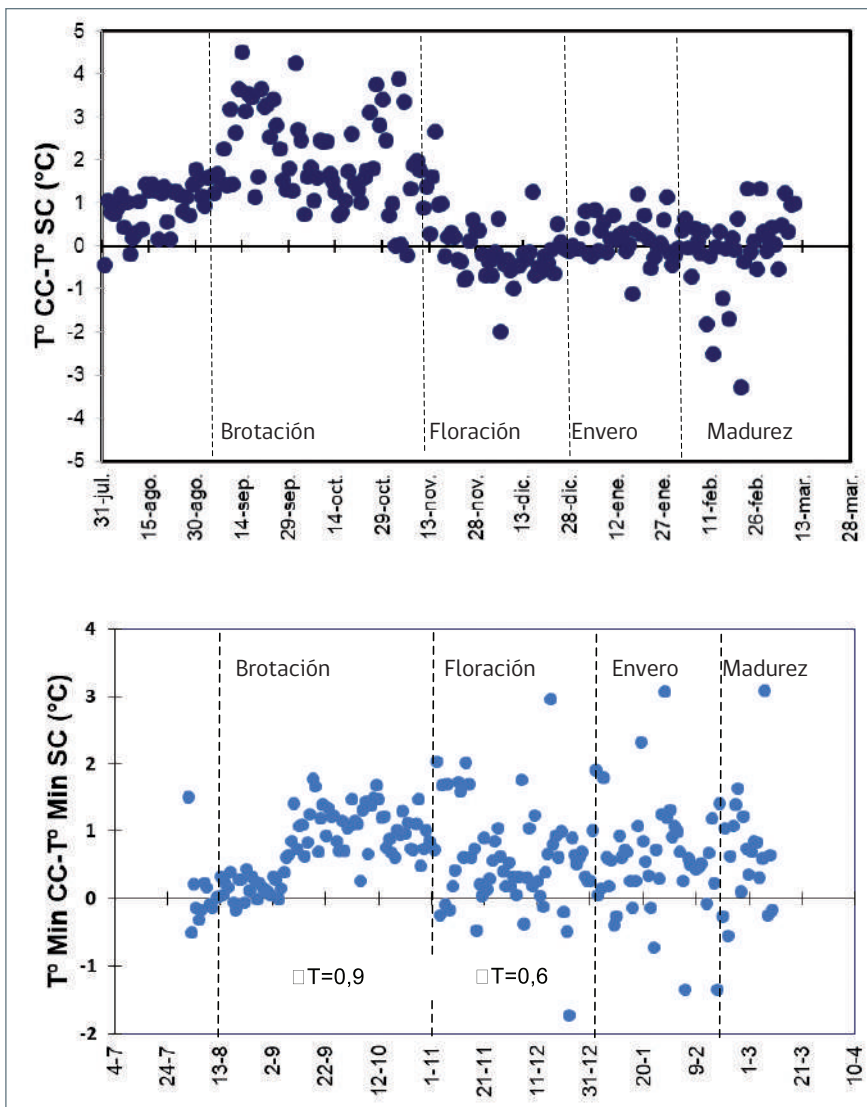
Entre los materiales utilizados como cubiertas están: (i) mallas, las cuales otorgan un porcentaje de sombra al cultivo y permiten reducir el paso de la luz; (ii) rafia, que a diferencia de las mallas no permite el paso del agua y han sido utilizadas principalmente en el cultivo del cerezo; y (iii) film plástico, es el más utilizado actualmente ya que a diferencia de los anteriores permite mayores modificaciones microclimáticas. Estos plásticos varían de espesor y se ha evidenciado su capacidad de prevenir el efecto de las heladas primaverales en el cultivo de uva de mesa.

Si bien los films plásticos han sido usados mayoritariamente en uva de mesa, si han existido experiencias en Chile en el cultivo de uva vinífera. Sin embargo, es una tecnología de alto costo por hectárea (aproximadamente 10.000 USD), por lo que agricultor debe considerar los costos y beneficios de su utilización.

La experiencia en uso de cubiertas plásticas en viticultura, ha demostrado que una estructura tipo invernadero capilla abierto a los costados y en la entrehilera (Figura 4.2) es capaz de producir modificaciones microclimáticas que permiten al plástico ser una barrera contra el frío, evitando los efectos de las heladas primaverales.



Figura 4.2. Cubiertas plásticas en uva de mesa. Fuente: Marfan y García. 2009.



Fuente: Salazar, *et al.* (2019)

Figura 4.3 Arriba. Diferencia de temperatura media diaria con cubierta (CC) y sin cubierta plástica (SC). Abajo. Diferencia de las temperaturas mínimas ($T^{\circ} Min$) con cubierta y sin cubierta durante una temporada de cultivo de uva de mesa en la región de O'Higgins.

Las temperaturas bajo cubiertas varían de acuerdo a la cobertura vegetal y la temperatura externa. La Figura 4.3 (Arriba) indica la diferencia de temperatura media entre un cuartel de uva de mesa con cubierta plástica y uno sin ella. El valor 0 (línea continua), indica que la temperatura se mantuvo sin variación a pesar de la cubierta plástica. Antes y después de la brotación, hasta la floración las temperaturas medias bajo cubierta pueden alcanzar valores hasta 4°C superiores que bajo la cubierta. Lo que disminuye, posterior a la brotación, cuando el follaje en ambos tratamientos permite un mejor control de temperatura.

Del mismo modo, al evaluar las temperaturas mínimas (Figura 4.3, Abajo) se observa que entre brotación y floración las temperaturas mínimas son en promedio 0,9°C superiores bajo cubierta, manteniendo durante el resto de la temporada en promedio 0,6°C más. Esto indicaría, que en caso de temperaturas de 0°C, la cubierta protegería los brotes. Del mismo modo, al proteger el cultivo de la lluvia o el rocío, los efectos de heladas en un ambiente húmedo también se verían favorecidos por el uso de este tipo de cubiertas.

4.7 Referencias

- Bustos, M., Prieto, J.A., Fanzone, M., Sari, S. y Perez J. 2019. La poda tardía podría mitigar el daño de las altas temperaturas en la calidad del vino. *Campo Andino*, 50:26–27.
- Concha, V. 2015. Efecto de distintas fechas de poda sobre la brotación y tiempo a envero en vides de cabernet Sauvignon. Memoria de Título, Escuela de Pregrado, Facultad De Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 28 p.
- Cragin, J. 2015. Viticulture performance and cold hardiness attributes of select winegrape cultivars in the western Snake River plain of Idaho. Boise State University Theses and Dissertations. 1042. <https://scholarworks.boisestate.edu/td/1042>
- Cragin, J., Serpe, M., Keller, M., and Shellie K. 2017. Dormancy and cold hardiness transitions in wine grape cultivars Chardonnay and Cabernet Sauvignon. *American Journal of Enology and Viticulture*. doi: 10.5344/ajev.2016.16078
- Dami I. 2007. Freezing and survival mechanisms of grapevine. En: Understanding and preventing freeze damage in vineyards Workshop Proceedings. University of Missouri–Columbia.
- Dami, Li, S. and Zhang Y. 2017. Evaluation of primary bud freezing tolerance of twenty-three winegrape cultivars new to eastern U.S. *American Journal of Enology and Viticulture*. doi: 10.5344/ajev.2015.15047

- Donaldson, D., Snyder, R., Elmore, C., and Gallagher, S. 1993. Weed control influences vineyard minimum temperature. *American Journal of Enology and Viticulture* 44(4):431-434.
- Fennell, A. 2004. Freezing tolerance and injury in grapevines. *Journal of crop improvement* 10:1-2:201-235.
- Graham, J., Montague, T., Durham, R. and Herring, A. 2002. Root-zone refrigeration delays budbreak and reduces growth of two containerized, greenhouse grown grape cultivars. *Texas Journal of Agriculture and Natural Resources* 15: 71-80.
- Grant, T. and Dami, I. 2015. Physiological and biochemical seasonal changes in *Vitis* genotypes with contrasting freezing tolerance. *American Journal of Enology and Viticulture*. doi:10.5344/ajev.2014.14101
- Goffinet, M. 2004. *Anatomy of Grapevine Winter Injury and Recovery*. Cornell University Department of Horticultural Sciences NY State Agricultural Experiment Station
- International organization of vine and wine (OIV), 2017. *Distribution of the world's grapevine varieties*. ISBN: 979-10-91799-89-8. 54 p.
- Ferguson, J. Moyer, M., Mills, L., Hoogenboom, G. and Keller, M. 2014. Modeling dormant bud cold hardiness and budbreak in twenty-three *Vitis* genotypes reveals variation by region of origin. *American Journal of Enology and Viticulture*, 5(1): 59-71. doi: 10.5344/ajev.2013.13098
- Hamman, R., Renquist, A. and Huges. 1990. Pruning Effects on Cold Hardiness and Water Content During Deacclimation of Merlot Bud and Cane Tissues. *American Journal of Enology and Viticulture* 41(3):251-260.
- Hellman E. 2019. Frost Injury, Frost Avoidance, and Frost Protection in the Vineyard. Available at <https://grapes.extension.org/frost-injury-frost-avoidance-and-frost-protection-in-the-vineyard/>. Revisado octubre 2019.
- Hernández, E., 2012. Estudio del riesgo de heladas y su incidencia en la capacidad productiva de la vid (*Vitis vinifera* L.). Tesis de Master. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 41 p.
- Keller, M., Tarara, J. and Mills, J. 2010. Spring temperatures alter reproductive development in grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 16: 445 - 454. doi: 10.1111/j.1755-0238.2010.00105.x
- Keller, M. 2010. *The Science of Grapevines - Anatomy and Physiology*. Elsevier: Academic Press, Burlington, MA. 510 p.

- Londo, J and Martinson, T. 2016. Grapevine winter survival and prospects in an age of changing climate. Research Focus 2016-1: Cornell Viticulture and Enology. 7 p
- Marfán, G. y García, V. 2019. Cubiertas plásticas: Características y aspectos prácticos. En: Salazar-Parra, C., Selles, G. y Marfán, G. 2019. Cubiertas plásticas en uva de mesa. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Boletín INIA N° 402. 86 p.
- Mills L, Ferguson J., Keller M. 2006. Cold-hardiness evaluation of grapevine buds and cane tissues. American Journal of Enology and Viticulture, 57: 194-200.
- Miller, D., G. S. Howell, G. and Striegler, R. 1998. Cane and Bud Hardiness of Selected Grapevine Rootstocks. American Journal Enology and Viticulture 39:55-59. Abstract.
- Salazar-Parra, C; Selles, G. and Marfán, G. 2019. Cubiertas plásticas en uva de mesa. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones agropecuarias, INIA. Boletín INIA N° 402. 86 p.
- Striegler, K. 2007. Passive freeze prevention methods. Workshops proceedings: Undersatanding and Preventing freeze damage in veneyards. University of Missouri-Columbia, Columbia. P: 39-46
- Taiz L, Zeiger E. 2006. Plant Physiology. Fourth Edition. Sinauer Associates, Sunderland, MA. 764 p.
- Willwerth, J., Ker, K. and Inglis, D. 2014. Best management practices for reducing winter injury in grapevines. Cool climate oenology and viticulture Institute. 81 p.
- Wolf T.K., Cook M.K. 1992. Seasonal deacclimation patterns of three grape cultivars at constant, warm temperature. American Journal Enology and Viticulture, 43:171-179.
- Zabada, T., Dami, I., Goffinet, M., Martinson, T. and Chien. M. 2007. Winter Injury to grapevines and methods of protection. Michigan State Extension. Bulletin E2930.

CAPÍTULO 5.

EFFECTO DE LAS BAJAS TEMPERATURAS EN EL DESARROLLO DEL CULTIVO DEL CEREZO EN LA REGIÓN DE AYSÉN

Diego Arribillaga García

Ingeniera Agrónomo

INIA Tamel Aike

5.1 Requerimientos climáticos

Para tener éxito en una plantación de cerezos, y obtener resultados económicamente satisfactorios, es importante considerar una serie de factores antes de la plantación. Uno de los más relevantes es la condición ambiental en la cual se desarrollaran las plantas, especialmente en lo que se refiere al clima y suelo, siendo importante disponer de información previa, como un registro de variables climáticas, como las temperaturas críticas, dado que esta especie en estados de fruto cuajado es altamente susceptible al daño por bajas temperaturas.

Esta especie es resistente al frío, sin embargo, sensible a las heladas durante el periodo de floración (octubre), en zona de Microclima e Intermedia de la Región de Aysén. La sensibilidad, varía según el estado fenológico, llegando a resistir hasta -8° C. En estado de yema dormida a $-2,2$ en fruto cuajado, órgano más afectado por este fenómeno climático.

El cultivo del cerezo, es una especie de alto requerimiento de frío, que requiere para superar o romper la latencia invernal. Al no cumplirse este requerimiento, la floración es tardía e irregular, lográndose una pobre cuaja y fuerte caída de frutos.

Esta especie frutal, es una de las últimas en florecer y la más temprana en cosecharse, ya que el desarrollo de sus frutos es bastante rápido (Cuadro 5.1).

Según trabajos realizados por INIA Tamel Aike, existen micro valles con condiciones especiales de suelo y clima, en la región de Aysén, como los valles bajo riego, localizados en la rivera del Lago General Carrera, como Chile Chico, Bahía Jara, donde desde el año 1998 se ha comenzado a desarrollar el cultivo del cerezo, en forma comercial y más recientemente en la comuna de Coyhaique. Según el catastro frutícola de Ciren (2016), existen 194,1 hectáreas cultivadas

Cuadro 5.1. Aspectos climáticos

Requerimientos climáticos para el cultivo del cerezo	
Sensibilidad a heladas	Medianamente sensibles
Etapa o parte más sensible a las heladas	Fruto recién cuajado
Temperatura crítica o de daño por heladas	Menor a 1,5 °C
Temperatura base o mínima de crecimiento	Menor a 7 °C
Rango de temperatura óptima de crecimiento	18 - 24°C
Límite máximo de temperatura de crecimiento	35°C
Suma térmica entre yema hinchada y cosecha	300-700 GD
Requerimiento de horas frío (<7°)	400 a 1500 horas
Requerimiento de fotoperiodo	Día neutro
Temperatura base o mínima de crecimiento	Medianamente sensibles
Rango de temperatura óptima de crecimiento	Fruto recién cuajado
Límite máximo de temperatura de crecimiento	Menor a 1,5 °C

Fuente, Leiva, 2017

en la Comuna de Chile Chico y un total de 15,3 hectáreas de cerezos, en el sector El Claro, Comuna de Coyhaique.

5.2 Factores climáticos adversos

Las heladas constituyen una de las variables climáticas más limitantes para el desarrollo comercial de las especies frutales presentes en la Zona de Micro clima e Intermedia de la Región de Aysén, como la ciruela, manzana, damasco, y cerezas (Arribillaga, 2002).

Las temperaturas que genera daño en desde el estado de yema hinchada, para la gran mayoría de las especies frutales es de -1,5°C.

5.2.1 Daño celular.

El daño directo por helada ocurre cuando se forman cristales de hielo dentro del protoplasma de las células (congelación o helada intracelular), mientras que el daño indirecto puede ocurrir cuando se forma hielo dentro de las plantas pero fuera de las células (i.e. congelación o helada extracelular). Lo que realmente daña las plantas no son las temperaturas frías sino la formación de hielo (Westwood, 1978).

En flores y frutos pequeños, el daño por heladas primaverales se manifiesta con la

necrosis de los tejidos (Figura 5.1). En las flores se produce la muerte del gineceo, mientras que en los frutos, éstos se pueden deshidratar, cambiar de color, caerse del árbol o, con daños menos severos, presentar superficies corchosas o deformaciones. Todos estos daños influyen negativamente en la producción, ya sea por disminución de los rendimientos o por aumento del descarte.



Figura 5.1. Daño por bajas temperaturas en frutos

Además de daño en frutos, se ha determinado en la variedad Kordia, producto de las bajas temperaturas daño en las puntas de las hojas (Figura 5.2).



Figura 5.2. Punta necrosadas de hojas juveniles debido a daño por frío.

5.2.2 Daño por heladas.

Los árboles frutales caducifolios poseen un periodo de reposo durante el invierno, que les permite tolerar temperaturas bajas extremas con un mínimo de actividad, minimizando también el daño a sus órganos. Durante este periodo ocurren modificaciones dentro de la planta en función de los factores ambientales, principalmente de la temperatura del aire, lo cual repercute en cambios en la susceptibilidad al daño por congelación.

El daño por congelación o heladas, se presenta a partir del proceso de la desaclimatación, donde las temperaturas cálidas de primavera inician la secuencia donde las yemas florales se activan e hinchan y durante todo el proceso de antesis (floración), la resistencia de las yemas florales a las bajas temperaturas cambia rápida y predeciblemente en respuesta tanto a los cambios de temperatura como al estado de desarrollo floral (Thompson, 1996).

En la zona frutícola de la Región de Aysén, las heladas más comunes son las de irradiación y de advección. Particularmente en Chile Chico, los principales daños se han presentado al comenzar de comenzar el estado de yema hinchada (principios de septiembre, que coincide con el estado de activación de las yemas, donde se han registrado temperaturas mínimas absolutas de $-5,6^{\circ}\text{C}$. (Cuadro 5.2).

Cuadro 5.2. Temperaturas mínimas absolutas registradas en Chile Chico.

Mes	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Septiembre	-5	-1,6	-5,1	-5,1	-2,6	-5,6	-3,8	-3,3	-3,4	-5,4
Octubre	-1,1	-1,3	-3,4	-2,8	-2,3	-2,5	-2,9	-1,4	-1,6	
Noviembre	-0,2	2,9	2,2	-1,5	-1,9	-0,4	4	1,9	0,3	

Fuente: Elaboración propia. 2019

En la Tabla 2.8 se aprecian las temperaturas críticas medias ($^{\circ}\text{C}$) para diferentes Estados fenológicos del cerezo, desde yema hinchada a fruto cuajado, donde se aprecia que con temperaturas inferiores a -3°C , se produce más de un 90 % de daño. Para un claro reconocimiento de cada Estado, éstos se muestran en la Figura 5.3.

Cuadro 5.3. Temperatura críticas medias ($^{\circ}\text{C}$), para diferentes estados fenológicos del cerezo.

Nivel de daño	Yema Hinchada	Puntas Blancas	Plena Flor	Cuaja
10 %	-3,3	-2,8	-2,2	-2,2
90 %	-7,8	-5	-3,9	-3,3

Fuente: Santibañez, 2014



Figura 5.3. Estados fenológicos del cerezo: (a) Yema hinchada, (b) Puntas blancas, (c) Plena flor, (d) Fruto cuajado.

Según las temperaturas registradas en los últimos 10 años en Chile Chico y la susceptibilidad de las yemas del cerezo al daño por congelamiento, se puede concluir que existe un alto riesgo de daño en flores y frutos de cerezo por bajas temperaturas, lo que hace necesario disponer de eficientes sistemas de control de heladas.

5.3 Control de heladas

Según experiencias realizadas por INIA en sistema de control de heladas en el cultivo del cerezo, durante el año 2005 en la localidad de Chile Chico, el sistema de control de heladas más recomendable, es aquel que evita el enfriamiento mediante protección directa de los tejidos (defensa activa). El sistema más recomendable y usado por la mayoría de los productores en la zona es el control por aspersión sobre la altura de los árboles, que se basa en el cambio de estado de la materia.

La defensa activa utiliza diferentes sistemas para elevar la temperatura del huerto durante la helada. Se debe destacar que la elección de un sistema no se debe basar únicamente en los costos directos, sino también según su eficacia y su adaptabilidad al sistema productivo de cada productor, en cuanto a la topografía, disponibilidad de agua, mano de obra, entre otros.

El sistema de control por "cambio de estado", permite según experiencias realizadas en la zona frutícola de la Región de Aysén, controlar heladas de hasta $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo una de las limitantes de la misma, la acumulación de hielo en yemas, flores, brotes tiernos, que por efecto del peso, puede producir daños mecánicos, por la excesiva carga de hielo, por tanto, como regla general se intensifica la precipitación de agua, según la intensidad de la heladas, es decir según el descenso de la temperatura, de manera de congelar solo el agua que se está depositando sobre los tejidos (Figura 5.3).



Figura 5.3. Yemas, flores y hojas cubiertas por una capa de hielo.

Este sistema aprovecha la aspersión de agua al follaje, aprovechando la liberación de calor (Figura 5.4) que se produce al congelarse el agua (80 cal/g). En términos simples, al colocar una delgada capa de agua sobre una hoja que se está enfriando, la energía liberada por el agua al congelarse es aprovechada por la planta.

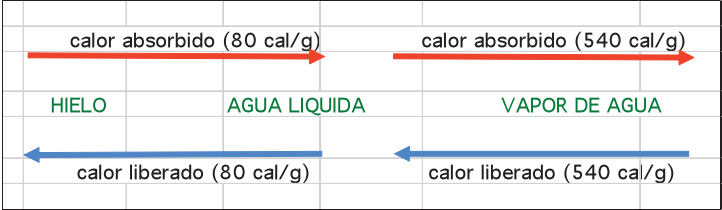


Figura 5.4. Transferencia o absorción de calor según Cambio de Estado del agua.

El método descrito anteriormente, se basa en el principio que un material, cuando pasa de un estado sólido a líquido y luego a gaseoso, requiere absorber energía. Si el material sufre el proceso inverso, de gaseosos a líquido y de éste a sólido, se libera la energía absorbida.

Si el sistema de aspersión se mantiene constante, durante el periodo de bajas temperaturas, hasta que la totalidad del hielo se haya fundido, por acción del

incremento de la temperatura ambiente, no se apreciaran daños en hojas, flores y frutos, debido a que la temperatura en estos órganos vegetativos no descenderá de 0°C (Figura 5.5).



Figura 5.5. Control de heladas por aspersión.

El control mediante riego por aspersión, requiere de un gran volumen de agua, necesario para poder regar durante la noche y parte de la mañana hasta que el peligro de congelamiento y quemaduras por gotas de agua sobre el follaje han disminuido y la permeabilidad del suelo, es decir, que sea capaz de infiltrar el agua que se está aplicando como riego y lo extra que se está aplicando por medio del control de heladas.

5.3 Referencias

- Arribillaga, D. 2002. Antecedentes técnicos del cultivo del cerezo en Aysén (*Prunus avium*). Boletín INIA N°78. Instituto de investigaciones Agropecuarias. Coyhaique, Chile. 49 p.
- CIREN. 2016. Catastro frutícola. Región de Aysén. Chile
- INIA. 1992. Las heladas y su importancia en la Agricultura. La Platina, Chile. N°70. P:38-43.
- Leiva, M. 2017 Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío. Ciren, Chile.
- Santibañez, F. 2014. Las Heladas y su control. Seminario Internacional de Cerezas. Chile Chico.
- Thompson, M. 1996. Flowering, pollination and fruit set. En: Webster, A.D.; N.E.
- Westwood, M. N. 1978. Temperate-Zone Pomology. W.H. Freeman and Company, New York. 1-19.

CAPÍTULO 6

EL PALTO Y LAS HELADAS

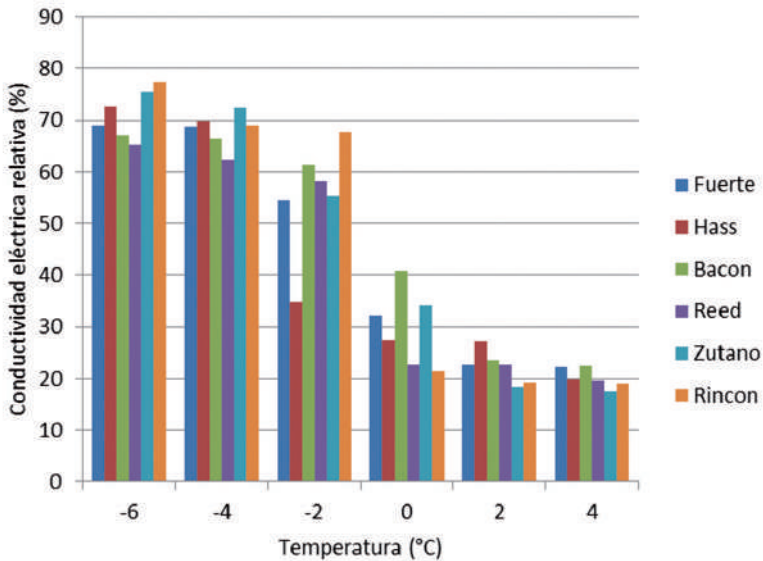
Jaime Salvo Del Pedregal

Ingeniera Agrónomo

INIA La Cruz

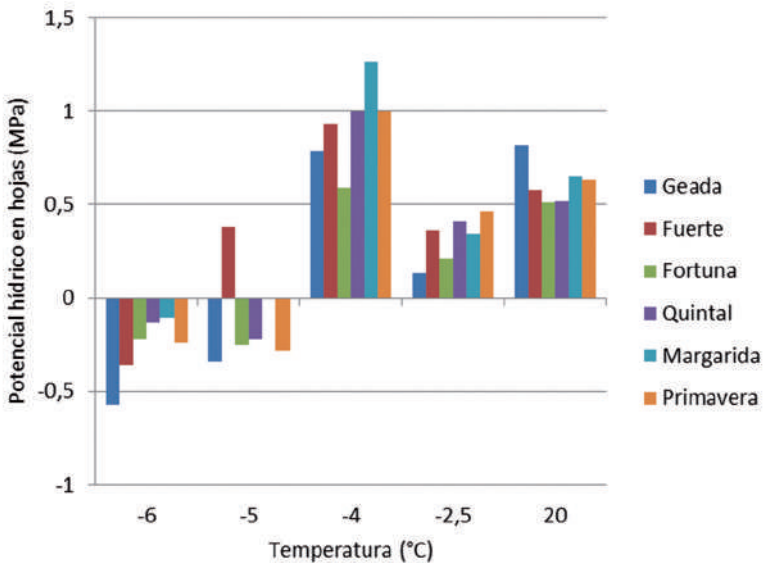
6.1 Temperaturas críticas para el cultivo de paltas

La tolerancia del palto a las bajas temperaturas muestra un fuerte componente genético (Chunlin et al, 2018; Weil et al., 2019). Se evaluó la tolerancia de 38 variedades de palto a bajas temperaturas de acuerdo con metodologías que toman en cuenta que parte del mecanismo genético de tolerancia a las heladas se asocia a la integridad de las membranas celulares del citoplasma, las cuales participan en procesos de transporte electrónico y de óxido reducción mediante transporte de ATP y NADPH. El estudio mostró que cuando la temperatura disminuye bajo 0°C, aumenta la pérdida intracelular de agua y gradualmente aumenta la conductividad eléctrica de las hojas del palto hasta un nivel que es letal (Figura 6.1), de acuerdo con una función matemática de tipo logístico (Chenh, 2014). El cultivar Hass mostró una mejor tolerancia a temperaturas de -2 °C cuando se evaluó el incremento de la conductividad eléctrica de las hojas de palto como síntoma de la disrupción de las membranas citoplasmáticas, en cambio con temperaturas de -4°C el cultivar Hass mostró un daño mucho mayor, similar a las otras variedades en estudio: Fuerte, Zutano, Rincón, Reed y Bacon. En cambio, en otro estudio, la aplicación de estrés térmico con temperaturas de -2,5 y de -4,0 °C durante lapsos de tiempo de 1 hora respectivamente, seguido de un periodo de recuperación de 1 día, no logró mostrar diferencias significativas en las tasas de asimilación de CO₂ de 6 cultivares de palta con niveles de fotosíntesis que fluctuaron en forma normal entre 6 y 12 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Más aún, lo notable de este estudio fue que con el tratamiento de -6°C ningún cultivar logró recuperar su actividad fotosintética, generando un límite inferior de tolerancia a bajas temperaturas para el cultivo del palto. También es notable que en el tratamiento de -5°C, la mayoría de los cultivares no se recuperó, excepto el cultivar Fuerte, reforzando el concepto de dependencia genética a la tolerancia al frío, sin embargo en este último estudio no se incluyó el cultivar Hass (Zaro et al, 2019). Los resultados del estudio confirman también que los tratamientos de bajas temperaturas afectan significativamente el potencial de presión de las hojas, el cual se hace negativo conforme el tratamiento de estrés térmico es mayor (Figura 6.2). De acuerdo con lo expuesto no resulta recomendable cultivar paltas en zonas afectadas por heladas en rangos menores a -2°C.



Fuente: Adaptado de Chunlin *et al*, 2018.

Figura 6.1 Efecto del estrés térmico sobre la conductividad eléctrica relativa de hojas de palto bajo diferentes temperaturas.



Fuente: Adaptado de Zaro *et al*, 2019.

Figura 6.2 Efecto de bajas temperaturas sobre el potencial hídrico de las hojas que causa cambios en el ángulo de inclinación y en la firmeza de las hojas.

6.2 Estados fenológicos más susceptibles al efecto de heladas

A diferencia de otros árboles frutales, el palto mantiene sus hojas activas durante todo el año y no las pierde en otoño, tal como ocurre en los frutales de carozo y en las pomáceas. Sin embargo, es posible observar que en zonas mediterráneas de Chile el palto sigue una estrategia en que sus brotes van reduciendo sus tasas de crecimiento a medida que se acerca el invierno, época en que aumenta el riesgo de heladas. De esta forma, el palto muestra un patrón de crecimiento con brotes muy vigorosos de tipo siléptico durante la primavera, con brotes cortos de tipo proléptico durante el verano y con formación de yemas florales en otoño. Los brotes que permanecen activos durante el invierno mantienen un gran número de yemas latentes en la inserción de su base en el tronco principal, lo que posibilita el desarrollo de nuevos brotes de reemplazo en primavera si han ocurrido heladas suaves. Si las heladas son intensas y el daño se extiende a la madera, el palto es capaz de generar un nuevo brote principal desde la base del tronco que es incluso capaz de reemplazar con fuerza el tronco principal afectado.

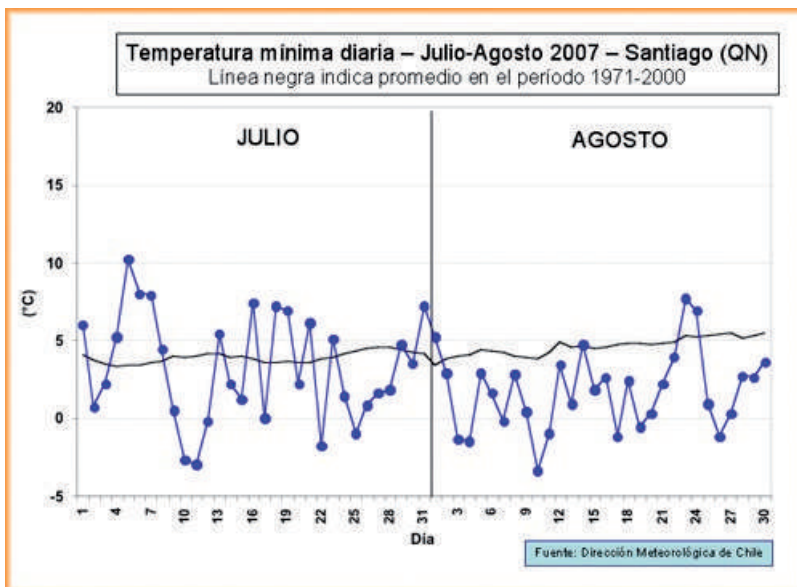
La floración y cuaja del palto es extendida en primavera, por lo que normalmente no se le considera una etapa susceptible al daño por heladas. Sin embargo la maduración de los frutos se extiende hasta 18 meses por lo que en invierno hay paltas en yemas florales latentes y fruta en desarrollo que son susceptibles al daño por heladas, o al daño por radiación solar que ocurre si se caen las hojas producto de las heladas.

También se ha planteado que la resistencia al frío cambia a medida que la planta envejece (Saini et al, 2018). En el caso de la variedad Hass, se ha reportado que plantas jóvenes de no más de 5 años presentan una gran proporción de ramas con brotes de desarrollo primaveral vigoroso, que extienden el brote principal y los brotes laterales en forma simultánea, dando origen a una rama siléptica, como atributo de juvenilidad. En cambio, a medida que pasan los años este tipo de ramificación se hace más escasa y predomina la brotación lateral proléptica, a partir de yemas formadas en forma estacional durante primavera verano y otoño. En árboles frutales de hoja caduca predomina la formación de yemas estacionales que permanecen latentes durante el receso invernal para evitar el desarrollo de brotes durante la época de heladas invernales.

6.3 Efectos de las heladas en la planta

Durante las intensas heladas del año 2007 en la zona central del país (Figura

6.3) se vio que éstas causaron diferentes tipos de daños graduales. En los casos más severos se observó que todas las hojas de los paltos fueron dañadas por la ocurrencia de varios días con temperaturas menores a -2°C . El daño se inició como una pérdida de clorofila con distribución desuniforme en las hojas, con pequeñas manchas irregulares que cubrían gran parte de la lámina superior de la hoja (Figura 6.4). Esto fue seguido de una pérdida de turgor en las hojas que normalmente se presentan firmes y erguidas al amanecer antes de dar inicio al proceso de transpiración, finalmente las hojas se desecaban durante uno o varios días de exposición a la radiación solar. También se registró que los frutos mostraban el desarrollo de manchas circulares en su epidermis como consecuencia de la exposición directa al sol, principalmente en plantas que habían perdido sus hojas. Hubo claros daños en la madera como consecuencia de su exposición directa al sol. Estos daños fueron evidentes y se realizaron medidas correctivas de poda y de descarte de frutos según correspondía. Sin embargo, también se identificó un tipo de daño no visible a primera vista, cuando se inició la remoción de madera afectada mediante poda, fue posible observar que el daño del congelamiento se extendía por el interior de los troncos con una coloración oscura, visible en el tejido vascular del xilema, del floema y en su interface cambium. Estos daños no eran visibles desde el exterior y afectaban el transporte de agua y nutrientes por el xilema, y el transporte de carbohidratos a través del floema. La práctica recomendada fue realizar cortes de poda de rebaje hasta encontrar madera sin daño interno (Figura 6.5). En los casos más severos se realizó una poda a tocón sin mediar la evaluación por partes señalada. En forma similar, las paltas que no mostraban daño exterior por heladas también sufrieron daños internos. En conjunto con el equipo de control de calidad de Cabilfrut en Cabildo, se evaluó la calidad de paltas tomadas desde la cara sur y norte de los árboles, y se determinó que las paltas que fueron más expuestas al sol en la cara norte del árbol mostraron un mayor deterioro de la pulpa después de un periodo de simulación de cosecha y almacenaje por dos semanas, indicando sus menores perspectivas para ser comercializadas en mercados más lejanos.



Fuente: http://met.dgf.uchile.cl/clima/HTML/BOL_ANT/JULIO07/FIGURAS/figura21.htm

Figura 6.3 Registro meteorológicos de la ocurrencia de heladas en la zona central del país en el año 2007.

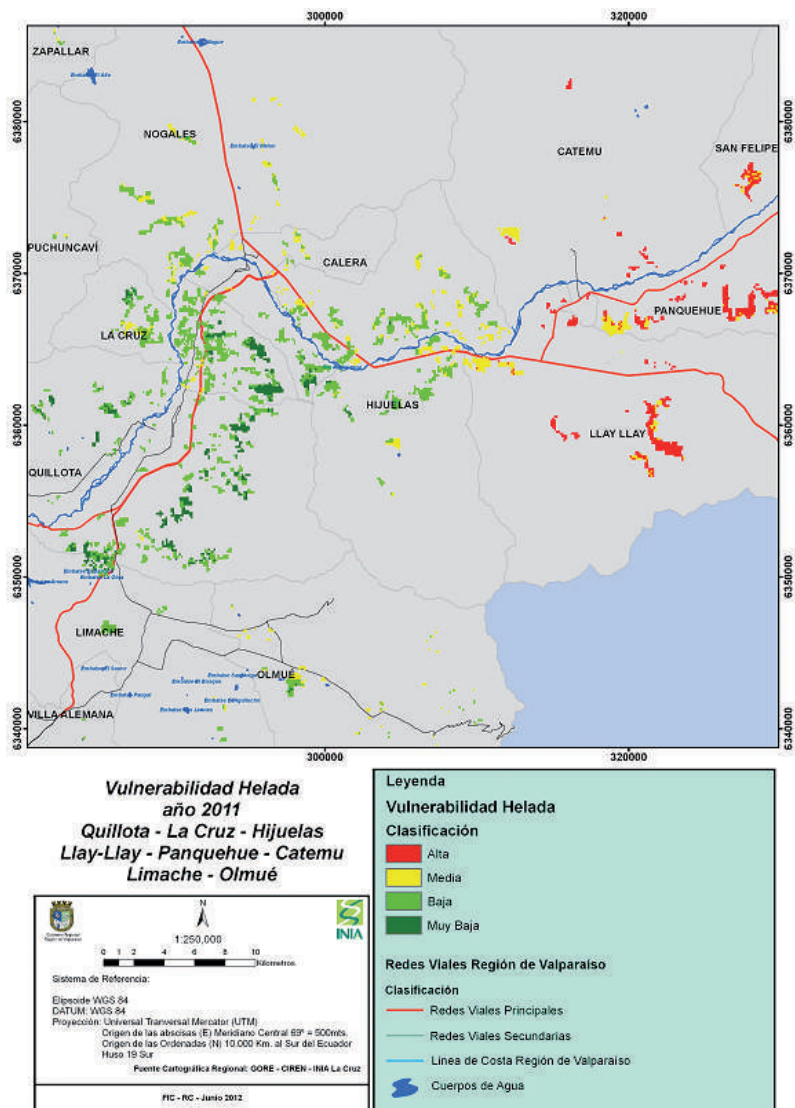


Figura 6.4 Hoja de palto cultivar Hass recién cortada (a), la misma hoja después de tratamiento a temperaturas bajo 0°C durante 36 horas continuas (b).



Figura 6.5 Evaluación y manejo de árboles renovados mediante poda.

Otras plataformas ofrecen la posibilidad de visualizar zonas de mayor vulnerabilidad a heladas en las zonas de producción de paltos, lo que permite contar con un importante antecedente a la hora de elegir donde plantar (Figura 6.6).

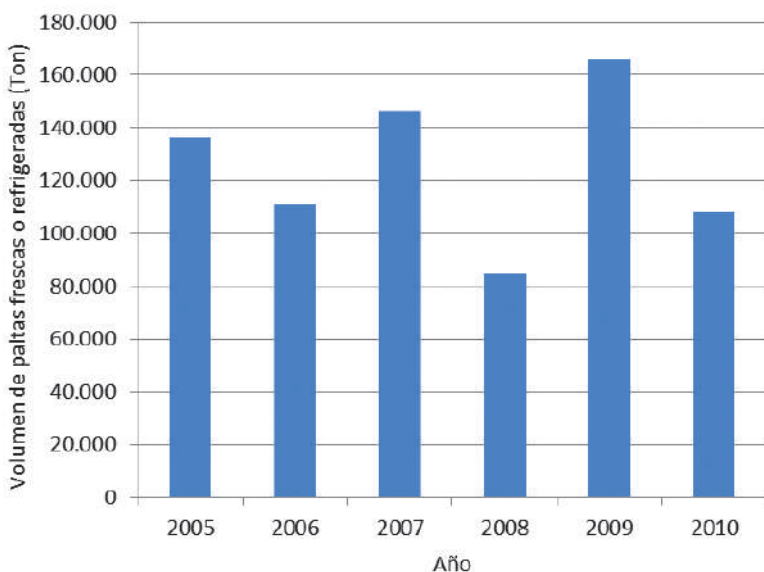


Fuente: <http://www.monitoreosatelital.cl/wp-content/uploads/2014/09/Vulnerabilidad-Helada-2011-Central.jpg>

Figura 6.6. Mapa de vulnerabilidad de zonas de producción de paltos del 2007, evaluadas después de la recuperación de algunos campos en el año 2011.

6.4 Efectos económicos en la producción de paltas

Durante la primavera del año 2007 que siguió a las heladas fue posible observar una pérdida total de la dominancia apical, que en el caso del palto es particularmente intensa. A pesar de que normalmente el palto presenta una fuerte dominancia apical, posibilitando que solo las yemas ubicadas en la punta de los brotes extiendan nuevas ramificaciones, durante este año brotaron en forma simultánea las yemas apicales y laterales a lo largo de todos los brotes, ramas y troncos. Como consecuencia el vigor se repartió en un gran número de nuevos brotes y no fue posible observar un gran desarrollo de brotes vigorosos de tipo siléptico, que dan base estructural para el desarrollo posterior de brotes cortos y yemas florales en forma equilibrada. En forma similar la pérdida de las cosechas de la temporada 2007-2008 generaron una gran floración que cuajaron en un gran número de frutos que se desarrollaron con calibres pequeños. Ha sido reportado anteriormente que las heladas son capaces de dar inicio a este tipo de ciclos de alternancia productiva o añerismo del palto, con un año de gran producción con bajos calibres (180 g), seguido de una disminución severa de la floración con baja producción con calibres de tamaño comercial altos (240 g y más). Todo esto se vio reflejado en el comportamiento de las exportaciones en años posteriores (Figura 6.7).



Fuente: ODEPA

Figura 6.7 Impacto económico de heladas del año 2007.

6.5 Formas de control de heladas

Para prevenir y mitigar la intensidad del daño por heladas la primera recomendación es establecer las plantaciones de palto en zonas libres de heladas. En el portal www.agromet.cl se puede acceder a revisar información histórica de un gran número de estaciones meteorológicas a lo largo del país. Conviene revisar lo que ha ocurrido en los meses de junio y julio durante los últimos años, especialmente en el año 2013. Es aconsejable consultar también la experiencia de las personas que habitan o trabajan en el área de interés, y que ya han observado cuales son los lugares más bajos donde se empozan las bajas temperaturas cuando las masas de aire frío de heladas polares descienden por los cerros inundando los valles, estas personas también pueden dar cuenta de qué zonas quedan más protegidas del viento y de la radiación solar durante el día después que se producen heladas radiactivas con inversión térmica y descenso de las temperaturas a baja altura. El portal www.agromet.cl provee acceso directo a las alertas de heladas que genera la Dirección Meteorológica de Chile, y también da acceso al historial de heladas a lo largo del país (Figura 6.8).

Estación <small>comuna</small>	Temperatura en el Evento		Duración <small>Horas</small>
	Mínima	Promedio	
HUECHÚN EX Lampa FDF <small>Titil</small> 00:00 a 09:00 hrs.	-4.6°C	-3°C	10
Til til FDF <small>Titil</small> 00:00 a 08:00 hrs.	-3.4°C	-1.8°C	9
Pirque FDF <small>Pirque</small> 00:00 a 09:00 hrs.	-3.6°C	-2.3°C	10
COLINA FDF <small>Colina</small> 00:00 a 08:00 hrs.	-3.1°C	-1.5°C	9

Fuente: https://heladas.minagri.gob.cl/historial_heladas#top

Figura 6.8 Registro de heladas del 15 de julio del 2019.

Una segunda forma de prevenir y mitigar el daño por heladas es usar cultivares con más tolerancia al frío. En México se ha extendido el uso del cultivar Méndez, que se presenta con más tolerancia al frío que el cultivar Hass. En su solicitud de registro de patente se indica que 'Mendez N° 1' (Figura 6.9) tolera condiciones heladas como -2,2 ° C durante varias horas o incluso -3,3 ° C durante dos o tres horas con daños menos graves que 'Hass' (Vega, 2000).



Figura 6.9 Palto Cultivar Méndez en Uruapan, México. 2014

La tercera forma de confrontar los riesgos del daño que producen las heladas son sistemas clásicos de manejo de la temperatura mediante uso de sistemas calefactores de combustión a petróleo, sistemas de hélices para movimiento de aire que previene el fenómeno de inversión térmica que causa heladas radiativas y la protección directa de los paltos jóvenes con sacos o ramas de maíz, con resultados variables.

Más recientemente se ha logrado implementar un sistema de protección a través de aspersión de agua en altura, que se activa unas horas antes de la ocurrencia de las heladas, para lograr mojar las hojas y formar hielo sobre las ellas. Este sistema busca impedir que la temperatura de las hojas se mantenga en 0°C junto al hielo. El punto de congelamiento del agua es 0°C , por lo que las hojas que permanecen pegadas al hielo quedan protegidas de las temperaturas del ambiente de -2 o -4°C . Se recomienda mantener la aspersión de agua por un par de horas y no más, debido a que el exceso de agua puede causar la formación de bloques de hielo que quiebran y desganchan las ramas con su peso. Este sistema funciona bien porque el agua que se encuentra al interior de las células de las hojas contiene además varios solutos, que logran bajar el punto de congelación del agua en al menos 1°C (Chirife, 1982). Los sólidos solubles son los principales compuestos que pueden descender el punto de congelación de frutos acuosos. Sin embargo, el descenso crioscópico del punto de congelación del agua se amplía a todos los solutos disueltos en el agua que no tienen propiedades ionizantes, por ejemplo algunos aminoácidos (Anakshi, 2005).

Se ha planteado que la aplicación de urea puede servir para proteger las hojas

de palto del daño de heladas. El aumento del contenido de nitrógeno en las hojas del palto se asocia a un aumento de tolerancia al frío, pero hay opiniones contrapuestas. Se encontró una correlación lineal positiva entre los daños por frío y el índice de senescencia de las hojas, mostrando que aplicaciones de nitrógeno retardaban la senescencia de las hojas afectada por frío (Zilkah et al, 1999). Más recientemente, un estudio muestra que la aplicación de hidrosulfito de sodio puede contribuir a mitigar el daño de las heladas en palto. Durante las heladas las células del palto aumentan el contenido de sustancias que reaccionan con oxígeno (ROS), estos compuesto se consideran dañinos para la integridad de los componentes físicos de las células (Baek, 2012). Se conoce que el aumento de ROS reduce los niveles de producción de carbohidratos que ocurre en la fotosíntesis del palto, por lo que se ha propuesto una estrategia para reducir la producción de ROS que ocurre durante la noche junto a las heladas. Esta sugiere la aplicación de hidrosulfito de sodio para gatillar una respuesta metabólica que genera una disminución de ROS en condiciones de bajas temperaturas.

6.6 Referencias

- Anakshi, K. 2005. Cryoscopic studies of α -amino acids in water. *Journal of Molecular Liquids*, 122(1-3): 61-64.
- Baek, K. H., and Skinner, D. Z. 2012. Production of reactive oxygen species by freezing stress and the protective roles of antioxidant enzymes in plants. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 1(01): 34.
- Chen, L. J., Xiang, H. Z., Miao, Y., Zhang, L., Guo, Z. F., Zhao, X. H., and Li, T. L. 2014. An overview of cold resistance in plants. *Journal of agronomy and crop science*, 200(4): 237-245.
- Chirife, J., and Fontan, C. F. 1982. Water activity of fresh foods. *Journal of Food Science*, 47(2): 661-663.
- Chunlin, Z., Fan, W., Cuiling, L., Wen, Li, P., Shaofeng, Z., Jingjie, Z. and Maofu, L. 2018. Development of a New Method for the Highly Effective Identification of Cold Resistance in Living Avocado Varieties. doi: <http://dx.doi.org/10.1101/481671>
- Saini, P., Gani, M., Kaur, J. J., Godara, L. C., Singh, C., Chauhan, S. S. and Ghosh, M. K. 2018. Reactive oxygen species (ROS): a way to stress survival in plants. In *Abiotic Stress-Mediated Sensing and Signaling in Plants: An Omics Perspective*. Springer, Singapore. P 127-153.
- Vega, C. M. 2000. U.S. Patent Application No. 08/959,629.

- Weil, A., Sofer-Arad, C., Bar-Noy, Y., Liran, O., and Rubinovich, L. 2019. Comparative study of leaf antioxidant activity as a possible mechanism for frost tolerance in 'Hass' and 'Ettinger' avocado cultivars. *The Journal of Agricultural Science*, 157(4): 342-349.
- Zaro, G. C., Caramori, P. H., Gaspar de Oliveira, C. M., Nagashima, G. T., Rosisca, J. R., and Cavenaghi Prete, C. E. 2019. Assessment of cold stress in avocado cultivars based on visual, physiological and biochemical criteria. *Australian Journal of Crop Science*, 13(6): 881.
- Zilkah, S., Wiesmann, Z., Klein, I. and David, I. 1996. Foliar applied urea improves freezing protection to avocado and peach. *Scientia Horticulturae*, 66(1-2): 85-92.

CAPÍTULO 7

MONITOREO DE HELADAS PARA LA TOMA DE DECISIONES

Rodrigo Bravo Herrera

Ingeniero Agrónomo. Dr Cs. Agrarias
INIA Remehue

Marcel Fuentes Bustamante

Ingeniero Civil Agrícola
INIA Quilamapu

Jorge Gatica Velázquez

Ingeniero Civil en Informática
INIA Remehue

Cristóbal Campos Muñoz

Ingeniero Civil Agrícola
INIA Quilamapu

Juan Quintana Arena

Meteorólogo
Dirección Meteorológica de Chile.

María Carolina Vidal Guajardo

Meteoróloga
Dirección Meteorológica de Chile.

7.1 Introducción

En la actualidad muchas de las necesidades de información se pueden satisfacer en mayor medida a través del conocimiento científico existente y las tecnologías de información. Una aplicación importante para la agricultura es el pronóstico de las condiciones meteorológicas futuras en el corto y mediano plazo, para apoyar la toma de decisiones de manejo, anticipar tareas o mitigar potenciales daños de los eventos atmosféricos, siendo las heladas uno de los fenómenos de alta preocupación.

Por otra parte, el crecimiento en el número de estaciones meteorológicas automáticas en Chile ha permitido generar información agrometeorológica como bienes públicos mejorando el acceso a todos los segmentos de productores y abarcando las diferentes realidades agroecológicas de Chile.

La mayor disponibilidad de datos meteorológicos a través del tiempo y las capacidades de las tecnologías de información existentes han permitido conformar la Red Agrometeorológica Nacional (RAN), la cual es una instancia de colaboración entre las redes de estaciones meteorológicas del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, de la Fundación de Desarrollo Frutícola (FDF) y la Asociación Vinos de Chile. Además esta red cuenta con información de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y el Centro de Estudios de Zonas Áridas (CEAZA). Esta instancia es articulada por el Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile.

El INIA junto a la DMC, en colaboración con la RAN y la Fundación de Innovación Agraria (FIA) desarrolló un sistema de información para el monitoreo de heladas como un producto para los usuarios de la RAN al cual se puede acceder en la web de la RAN (www.agromet.cl).

En este capítulo se describe el sistema de monitoreo de heladas y las diferentes aplicaciones con que cuenta. También se hace una breve reseña de los aspectos metodológicos con que fue desarrollada la predicción de temperaturas mínimas y la probabilidad de ocurrencia de heladas, el cua

7.2 Aspectos metodológicos del desarrollo del sistema de información

El objetivo del sistema de monitoreo y alerta de heladas de la RAN es proveer información del comportamiento de las temperaturas mínimas para establecer, con anticipación, la posibilidad de ocurrencia de temperaturas menores o iguales a cero (heladas) y en diferentes horizontes de tiempo:

En un horizonte de 24 a 72 horas (1 a 3 días) se realiza un pronóstico de temperaturas mínimas a escala regional, que permite a los usuarios obtener un panorama general de las condiciones que se enfrentarían en los días siguientes. Para esto se utiliza el modelo numérico Weather Research and Forecasting (WRF), operado por la Dirección Meteorológica de Chile. El desarrollo de la modelación numérica permite hoy la realización de simulaciones atmosféricas a escalas temporales y espaciales adecuadas para nuestro país, que es muy angosto y está lejos de tener un relieve plano. Así, las simulaciones numéricas para pronóstico de variables como la temperatura mínima se transforman en una herramienta valiosa cuando hablamos de sistemas de alerta, como es el caso posibles heladas. Es por esto que en el proyecto desarrollado se evaluó el modelo WRF a 4 kilómetros de resolución para eventos de heladas ocurridos entre 2010 y

2014 (seleccionados con datos de temperatura mínima provenientes de la RAN y y la red des estaciones de la DMC llamada MeteoChile), con el análisis de pronósticos a 24, 48 y 72 horas para determinar la predictibilidad a 1, 2 y 3 días. De las simulaciones realizadas con WRF se concluyó que no existían grandes diferencias entre los pronósticos de 24, 48 y 72 horas de antelación y que la utilización del modelo constituye una herramienta de apoyo adicional al sistema de alerta, en cuanto a estar atento a las condiciones que se avecinan. El pronóstico de temperatura que se realiza con WRF se puede utilizar como un dato puntual o como una salida regional en un mapa, adoptándose esta segunda opción como monitoreo de condiciones generales para el portal de alertas.

En el horizonte de tiempo más inmediato (12 horas) para la toma de decisiones, a inicios de la noche en que se espera la ocurrencia de heladas, la evaluación es realizada en tres pasos (Figura 7.1):

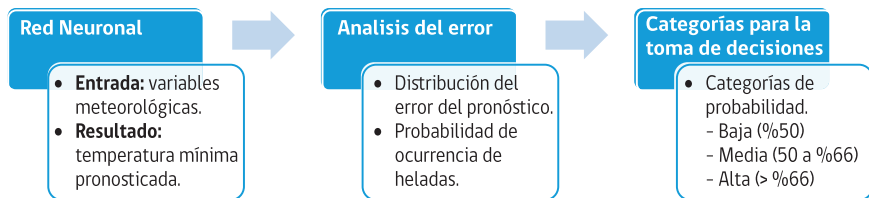


Figura 7.1 Proceso de predicción de temperatura mínima por red neuronal y transformación a pronóstico probabilístico.

- El primer paso, es el pronóstico de temperaturas mínimas que se realiza utilizando la metodología llamada red neuronal. Este es un modelo matemático determinista que utiliza las variables predictoras temperatura ($^{\circ}$ C), humedad relativa (%), radiación ($W\ m^{-2}$), viento magnitud ($m\ s^{-1}$), dirección del viento ($^{\circ}$) y precipitación (mm), la temperatura del punto de rocío ($^{\circ}$ C) estimada según Campbell y Norman (1998). La variable respuesta de este modelo es una estimación de la temperatura mínima diaria que ocurrirá durante la madrugada antes de la salida del sol. Está basado en que la red neuronal “aprende” de los patrones pasados seguirán ocurriendo y, por lo tanto, sirven para predecir comportamientos futuros. En la Figura 7.2, utilizando los datos de la estación meteorológica Cauquenes se puede ver superpuestos la temperatura mínima estimada (línea roja) por la red neuronal la temperatura mínima observada (línea negra) en periodo invernales del año 2016 y 2017. El error cuadrático medio de la red neuronal en este caso es de 2,58 $^{\circ}$ C.

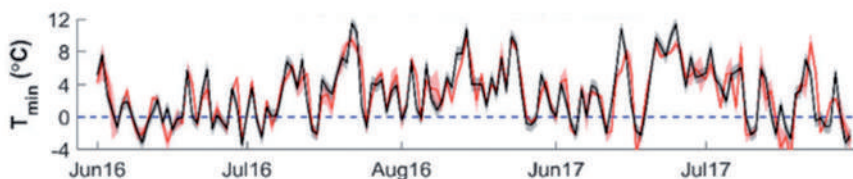


Figura 7.2 Series temporales de temperaturas mínimas del aire estimadas (línea roja) la red neuronal y observadas (línea negra) para junio-agosto de 2016 y junio-julio de 2017 en la estación meteorológica Cauquenes (Fuentes *et al.*, 2018).

- El segundo paso es el análisis del error en la predicción lo que permite obtener la distribución estadística del error. Si la distribución es normal permite transformar el pronóstico de temperatura mínima en la probabilidad de ocurrencia del pronóstico utilizando las propiedades de dicha distribución (Wilks *et al.*, 1991).
- Y el paso final es la transformación de la probabilidad en categorías para la toma de decisiones. Si el pronóstico tiene una probabilidad menor a 50% la probabilidad es baja. Si el pronóstico presenta una probabilidad entre 50 y 66 %, la categoría es media, y si es sobre 66%, la probabilidad de ocurrencia de la helada es alta.

Realizar un pronóstico perfecto es imposible y conlleva siempre incertidumbre, por lo cual la ventaja que transformar la predicción de temperatura mínima a un pronóstico probabilístico es que la información entregada es más adecuada para el tomador de decisiones. El pronóstico probabilístico, ofrece la posibilidad de un escenario futuro, de tal manera que si la probabilidad de una helada es baja se puede decidir no tomar medidas de control. Por otra parte, si la probabilidad supera un umbral, por ejemplo 50%, el tomador de decisiones puede realizar medidas de control, con menos incertidumbre, ya que el costo de control incluso en una falsa alerta puede ser menor que las pérdidas que pueden ocurrir, por no hacer nada.

7.3 Sistema de monitoreo y alerta de heladas.

El sistema de monitoreo y alerta de heladas es uno de los servicios de información de la Red Agrometeorológica Nacional (RAN). Se puede acceder a través de internet en la página web de la RAN en la dirección www.agromet.cl (Figura 7.3). Es un acceso público y gratuito por lo cual cualquier usuario puede ingresar teniendo una conexión a internet disponible.



Figura 7.3 Página de inicio de la red agrometeorológica nacional (www.agromet.cl). En el recuadro el acceso al sistema de monitoreo y alerta de heladas.

7.4 Información del sistema de monitoreo y alerta de heladas.

En la Figura 7.4 se puede ver la página de inicio del sistema de monitoreo y alerta de heladas. Al acceder al sistema de alerta se puede visualizar que este abarca desde la Región de Atacama hasta Aysén, y se monitorea 267 estaciones meteorológicas que abarcan las principales zonas agropecuarias de Chile.



Figura 7.4 Visualización de la información en la página de inicio del sistema de alerta de heladas.

En esta sección del sistema el usuario tiene la posibilidad de visualizar la región de su interés escogiendo la pestaña correspondiente desde la Región de Atacama (III) hasta la Región de Aysén (XI). En cada región se muestra el listado

de estaciones meteorológicas presentes en el sistema, indicadas por el nombre de la estación y la comuna en que está situada. Esto no significa que el pronóstico abarque toda la comuna, solo es información referencial.

Estaciones Meteorológicas

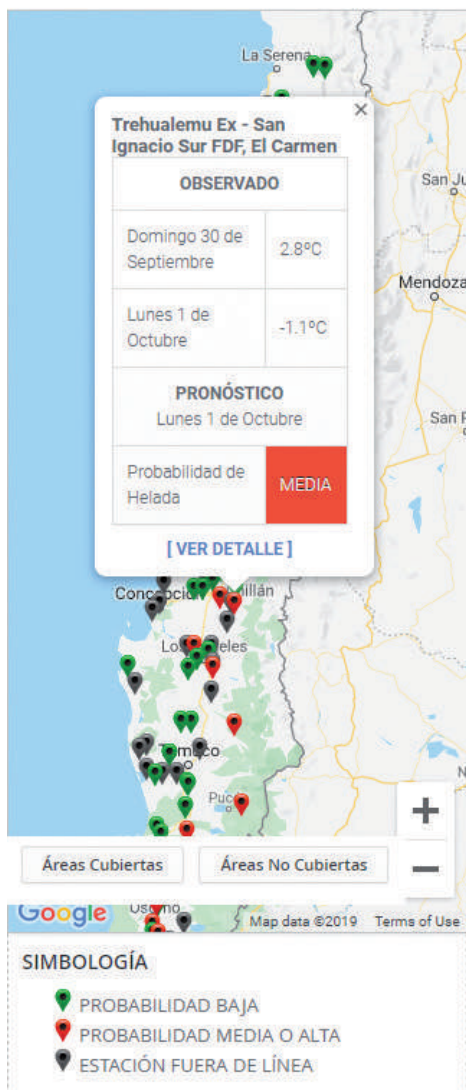


Figura 7.5 Mapa con el estado de probabilidad de heladas de las estaciones meteorológicas.

A continuación en las columnas segunda y tercera, se puede visualizar la temperatura mínima que registró la estación en los días anteriores, y finalmente en la sección de pronóstico se muestra la categoría de ocurrencia de heladas en la madrugada siguiente, junto a la temperatura mínimas pronosticada. La alerta de heladas utilizando la red neuronal se calcula dos veces en la noche: a las 21 y a las 23 horas, con la finalidad de ofrecer una predicción más certera, ya que en la medida que el pronóstico se acerca en el tiempo al evento el error disminuye.

En el ejemplo mostrado en la figura 7.4 se encuentra desplegada tres estaciones meteorológicas de la Región de La Araucanía en el pronóstico para el 2 de octubre del 2019. El listado se resumió para mostrar tres estaciones con tres categorías diferentes de pronóstico. A la derecha se encuentra en colores rojo y verde, la probabilidad de heladas para la noche, marcada como alta, media o baja probabilidad. A la derecha de los cuadros de color, se encuentra la estimación de la temperatura mínima que ocurrirá esa noche. Por ejemplo, la estación “Curacautín-San Luis”, se indica que tendrá una **ALTA**

probabilidad de heladas, esperándose una temperatura mínima de $-2,4$ °C.

En el mapa al costado izquierdo (Figura 7.5) se aprecia la situación general de todas las regiones con el estado de probabilidad de ocurrencia de heladas en cada punto monitoreado. Los marcadores verdes indican estaciones meteorológicas que tienen una baja probabilidad de ocurrencia de una helada en la fecha que se está evaluado; los marcadores rojo, indican sitios donde los datos registrados por la estación meteorológica pronostican que existe media o alta probabilidad de ocurrencia de heladas. Las estaciones con marcador gris, señalan que por alguna razón no se ha calculado el pronóstico. Esto ocurre, generalmente, por problemas en la comunicación de datos que hace que estos lleguen con rezago. Los botones en la parte inferior del mapa que indican "Áreas cubiertas" o "Áreas no cubiertas", corresponde al área de influencia estimada para las estaciones meteorológicas. Esto fue determinado por el estudio conjunto de las variables meteorológicas de largo plazo donde se considero la temperatura, la precipitación, la radiación, y otras del registro de estaciones convencionales con mapas de 25 años de datos. Es una información referencial pero que tiene por objetivo responder la pregunta frecuente respecto al área de influencia de las estaciones meteorológicas existentes. En el caso del botón "Áreas no cubiertas" se estima lugares que no están representados por las estaciones meteorológicas automáticas que colaboran en la RAN.

Al hacer clic en los marcadores del mapa se despliegan los valores observados y la probabilidad de helada de acuerdo a los datos registrados en las horas anteriores.

También se puede acceder al detalle por estación meteorológica. Esta sección va a mostrar el meteograma correspondiente a cada estación con la serie de datos de temperatura del aire (línea verde y línea roja cuando está bajo cero), la humedad relativa (barras celestes), la velocidad del viento (línea celeste), y la temperatura de punto de rocío (línea negra), de las últimas 48 horas.

En el meteograma se puede ver el comportamiento de estas variables en el momento en que ocurre una helada. Para que ocurra la helada, es necesario que la temperatura de punto de rocío sea más baja que la temperatura del aire en el momento que esta baja de 0°C (Martínez et al., 2007). Como se ve en la Figura 7.6, en el momento en que la temperatura baja de 0°C , la temperatura de punto de rocío está bajo cero y menor a la temperatura del aire. Eso es acompañado de una baja velocidad del viento y alta humedad relativa, lo que son las condiciones propias de un helada radiativa.

Meteograma

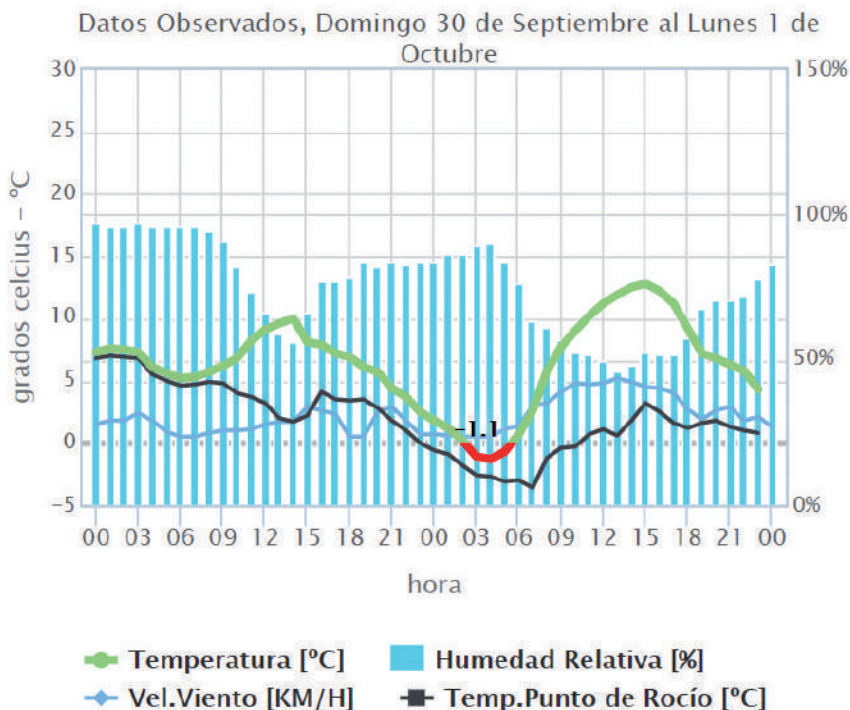


Figura 7.6 Meteograma de una estación meteorológica en el sistema de monitoreo y alerta de heladas. En la figura se indica la leyenda de las variables graficadas en una helada registrada en la comuna El Carmen, Región de Ñuble.

En el detalle de cada estación también se puede visualizar el panorama sinóptico del territorio donde está la estación (Figura 7.7). Esto es preparado por la Dirección Meteorológica de Chile mediante el modelo de meso escala WRF definido al principio de este capítulo.

El horizonte de tiempo utilizado es de 1, 2 y 3 días. El objetivo de mostrar esta información es la utilidad que presta al usuario el tener a la vista un panorama mayor espacial y temporalmente, característica que no puede cumplir el pronóstico realizado por la red neuronal. Con el panorama sinóptico, el usuario tomador de decisiones puede mejorar la información necesaria para ejecutar las tareas previas para el control de heladas.

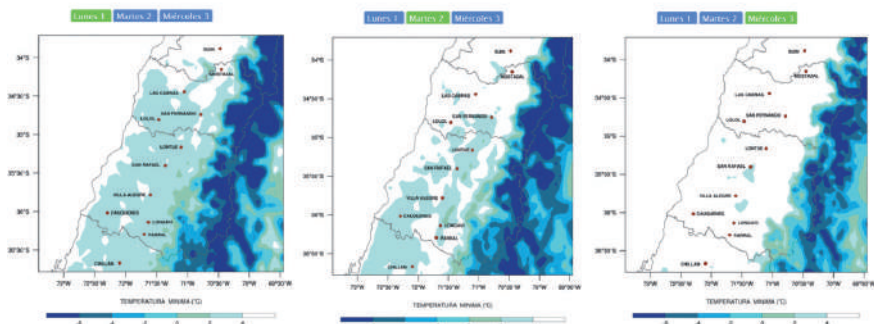


Figura 7.7 Panorama sinóptico en el pronóstico regional elaborado con el modelo WRF por la Dirección Meteorológica de Chile con un horizonte de 1, 2 y 3 días.

7.7 Historial de heladas

El registro de eventos meteorológicos es fundamental para caracterizar cuantitativamente un territorio. En el caso del sistema de monitoreo de heladas se ha establecido un registro histórico utilizando todos los datos de la red de estaciones meteorológicas pertenecientes a INIA, FDF y la Asociación Vinos de Chile.

Los registros de estas estaciones meteorológicas abarcan desde el año 2010 y se actualizan diariamente, quedando en el historial los eventos de heladas que han ocurrido de los cuales se puede visualizar en la distribución territorial. Si bien no es una cantidad de años “climatológica” ofrece información y orientación a tomadores de decisión. Igualmente permite que sea una herramienta de información para los actores involucrados en el seguro agrícola.

Los datos que muestra el registro de heladas histórico son la fecha en que ocurrió la helada, la(s) estación(es) donde se registró, las horas en que se registró el evento, la temperatura mínima del evento, la temperatura promedio mientras ésta estuvo bajo 0°C y la duración en cantidad horas del evento. Junto con ello se exhibe el mapa con la distribución territorial de los eventos de heladas en la fecha revisada. En la Figura 7.8 se puede visualizar como ejemplo, las heladas que se produjeron el 2 de octubre del 2019 que alcanza una alta cobertura territorial alcanzando niveles muy intensos tanto en temperatura como en duración.

Estación comuna	Temperatura en el Evento		Duración Horas
	Mínima	Promedio	
La Estrella Norte FDF La Estrella 00:00 a 07:00 hrs.	-2,5°C	-1,4°C	8
Pallaco FDF Pallaco 00:00 a 08:00 hrs.	-3,4°C	-2,3°C	9
Butalcura INIA Dalcachue 00:00 a 07:00 hrs.	-2,4°C	-1,3°C	8
Vista Hermosa INIA Coihaique 00:00 a 07:00 hrs.	-5,3°C	-3,2°C	8
Santa Caria INIA Panguipulli 00:00 a 07:00 hrs.	-2,2°C	-1,2°C	8
Colegual INIA Llanquihue 01:00 a 06:00 hrs.	-2,1°C	-1,3°C	6
Morandé METEOVID San Bernardo 01:00 a 02:00 hrs.	-6,6°C	-4,5°C	2
Pucon FDF Loncoche 02:00 a 08:00 hrs.	-1,8°C	-1,2°C	7
Purranque FDF Purranque 02:00 a 08:00 hrs.	-2,6°C	-1,5°C	7
Quilanto INIA Frutillar 02:00 a 07:00 hrs.	-2,6°C	-1,8°C	6
Tamelaike INIA Coihaique 02:00 a 07:00 hrs.	-2°C	-1,1°C	6

Helada 02-10-2019

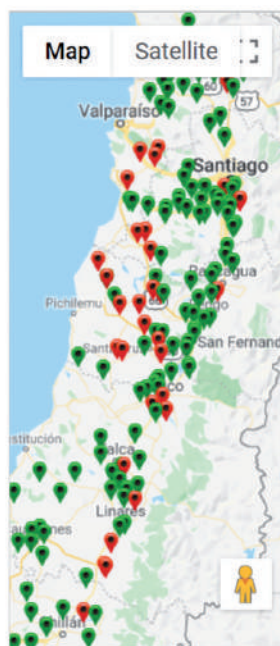


Figura 7.8 Visualización del registro histórico de heladas en las estaciones meteorológicas automáticas de la RAN.

7.8 Referencias

- Bravo, R., Quintana, J., Adonis, R., Vidal, C., Vicencio, J., Chacón, R., Flores, P. 2016. Heladas: Tipos, medidas de prevención y manejos posteriores al daño. Guía de uso del sitio. Acceso en <http://www.fdf.cl/biblioteca/publicaciones/2016/HELADAS.pdf>
- Campbell, Gaylon S, J. M. N. 1998. An Introduction to Environmental Biophysics. Public Health Reports (1896-1970) (Vol. 71). <https://doi.org/10.2307/4589381>
- Curihinca, J. 2010. Las heladas desde Copiapó a Puerto Montt. Sus efectos en los cultivos y métodos de protección. Dirección Meteorológica de Chile. Santiago de Chile.
- Fuentes, M., Campos, C., y García-Loyola, S. 2018. Application of artificial neural networks to frost detection in central Chile using the next day minimum air temperature forecast. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78(3), 327-338. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392018000300327>

- Hennemuth, B., Bender, S., Bülow, K., Dreier, N., Keup-Thiel, E., Krüger, O., Mudersbach, C., Radermacher, C., Schoetter, R. 2013: Statistical methods for the analysis of simulated and observed climate data, applied in projects and institutions dealing with climate change impact and adaptation. CSC Report 13, Climate Service Center, Germany
- Martínez, L., Ibacache, A., y Rojas, L. 2007. Efecto de las heladas en la agricultura. Boletín INIA N° 165. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Centro Regional de Investigación Intihuasi. La Serena, Chile. 68 p.
- Wilks, D., y Shen, K. (1991). Threshold relative humidity duration Forecasts for Plant Disease Prediction. *Journal of Applied Meteorology*, 30, 463-478.
- Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 698 p.





Boletín INIA / N° 417
www.inia.cl

