

Gestión de la protección frente a heladas primaverales

Tipos de helada, evaluación del riesgo y puesta en marcha de los sistemas antiheladas



M. Pascual Roca¹, J.M. Villar Mir¹, J. Rufat Lamarca².

¹ Universitat de Lleida ETSEA.

² IRTA-FruitCenter, Lleida.

El fenómeno meteorológico de las bajas temperaturas de primavera es uno de los más dañinos para la producción agrícola, con importantes repercusiones directas en las explotaciones y en la cadena de valor del sector agroalimentario que pueden valorarse en miles de millones de euros a nivel de la Unión Europea (Faust & Herbold, 2018). La ocurrencia de helada es un fenómeno variable a nivel local y de predicción incierta más allá del muy corto plazo. En este artículo se analizan las causas de las heladas y los parámetros óptimos para la puesta en marcha de los sistemas antiheladas disponibles.

Debemos distinguir entre la helada física, que es la que se produce cuando la temperatura del aire desciende por debajo de 0°C, de la helada fisiológica, que solo se calificará así cuando se producen daños en los tejidos de la planta por efecto del enfriamiento. Desde un punto de vista agronómico, se entiende como helada cuando la exposición a bajas temperaturas produce daños económicos que afectan al cultivo, sea la cantidad, la calidad del producto obtenido o a las propias plantas, comprometiendo su crecimiento o desarrollo. Los daños producidos por las heladas son más o menos acentuados dependiendo de la duración del enfriamiento por debajo de la temperatura umbral soportable por los órganos de la planta y del estado de esta como el estado nutricional, el hídrico, el sanitario, o la presencia de agentes nucleadores en las células, etc., que son factores variables y pueden modificar la sensibilidad de la planta en uno u otro sentido.

Los problemas observados en la gestión de heladas se identifican frecuentemente con la evaluación incorrecta del riesgo de helada a nivel de zona, lo que conduce a errores en la toma de decisión del plan productivo a implantar (especies y variedades) y del diseño de las plantaciones según las características del relieve de las parcelas y su posición en el paisaje. En el mismo sentido, la evaluación incorrecta del riesgo puede conducir a una valoración errónea de la necesidad de la cobertura de riesgo por los seguros agrarios. También se observan deficiencias en la selección y dimensionamiento de los medios de defensa más adecuados para proteger la plantaciones teniendo en cuenta sus características particulares, de modo que, ante una helada de cierta severidad o de duración extensa, los medios de defensa no pueden responder de modo eficaz (por ejemplo, baja pluviometría en aspersión o poca disponi-

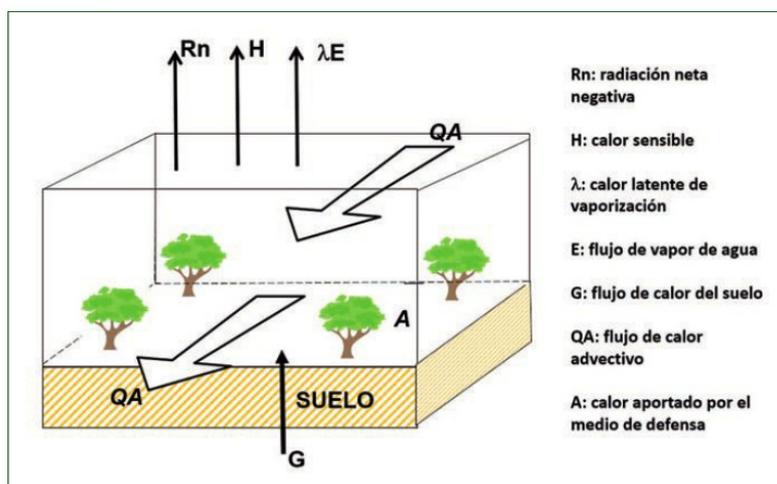
bilidad de agua) o exceden el límite beneficio/coste (por ejemplo, gasto de combustible en métodos basados en calor) o ineficacia (como los ventiladores en heladas de advección). Se observan también con demasiada frecuencia errores en la toma de decisión de cuándo debe ponerse en marcha el sistema de protección y, en menor medida, de cuándo deben pararse, lo que conduce a situaciones en las que se acentúan los daños o, al menos, se desperdician recursos.

Causas de las heladas

La ocurrencia de la helada depende de factores meteorológicos como la dinámica y alcance del enfriamiento general a nivel de zona, de la parcela y del cultivo, y de factores de la planta como la variedad, el estado fenológico y su estado general. Físicamente, el descenso térmico y la producción de helada pueden describirse, de modo simplificado, como el cambio en el transcurso del tiempo del balance de calor de la plantación, resultado de la variación de la temperatura del aire, de la humedad relativa del mismo y del viento, factores que también son dependientes de las características locales de las parcelas y de la posición de esta en el relieve. El conjunto de estos factores configura la variación del flujo de calor sensible y latente de la plantación, afectando al proceso de enfriamiento de la plantación y, en definitiva, a la duración e intensidad de la helada.

El balance de calor durante la noche en una plantación se muestra de modo simplificado en la **figura 1**, en la que se plasman los intercambios de calor más relevantes, como la pérdida de calor debida a un balance de radiación negativo (R_n), a la pérdida de calor latente asociada a la evaporación de agua (λE), a la pérdida de calor sensible (H) a causa del flujo de calor debido al movimiento convectivo del aire desde las capas próximas

FIG. 1 Modelo simplificado del flujo de calor en una parcela de cultivo.



al suelo y al flujo de calor sensible y latente ligado al movimiento advectivo del aire en movimiento (QA). A la vez, el suelo transmite calor hacia la atmósfera inmediata por conducción, en mayor o menor grado dependiendo de sus propiedades y estado, como pueden ser el contenido de agua y el estado de mantenimiento de su superficie (**figura 2**).

El descenso más o menos acusado de temperatura en la plantación y de la dinámica del enfriamiento durante la noche se produce a causa de la preponderancia de los diferentes procesos de pérdida de calor descritos anteriormente y hablaremos de heladas de advección, cuando el proceso predominante de pérdida de calor está dominado por el movimiento advectivo de aire frío (QA), o de helada de radiación cuando dominan las componentes de flujo de calor sensible y latente H y λE .

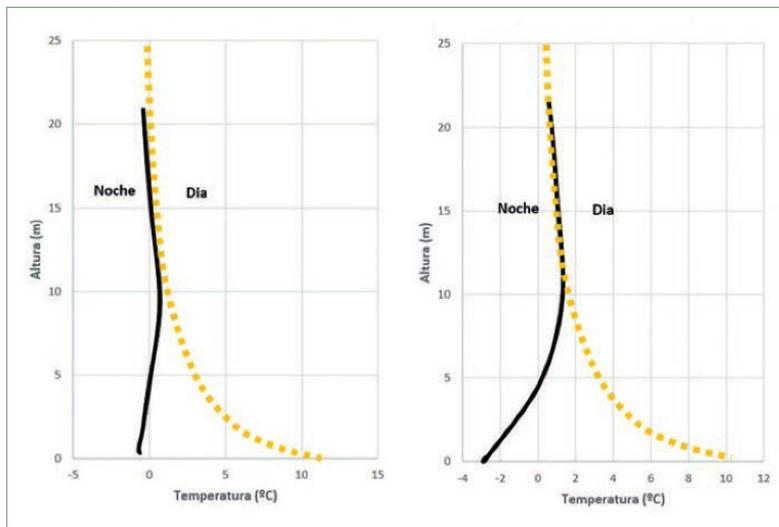
En el proceso de enfriamiento, el agua tiene un papel destacado, ya que presenta algunas singularidades físicas que le confieren un papel central en el balance de calor del sistema plantación-atmósfera, de modo que afectan a los flujos de calor latente y sensible de las plantaciones. El agua se encuentra en tres estados físicos (hielo, líquido o vapor), de

acuerdo con el estado energético de sus moléculas. El cambio de estado se produce cediendo energía al medio cuando se produce condensación de vapor o formación de hielo, mientras que el proceso inverso supone extracción de energía del medio.

Cuantitativamente, el paso de vapor a líquido cede energía al medio (llamado calor latente de vaporización, 2.501 kJ/kg para temperatura del aire a 0°C); por tanto, en el proceso de condensación de vapor de agua de la atmósfera se produce cesión de calor; mientras que, a la inversa, la evaporación de agua "roba" calor del medio, bajando la temperatura del aire sustancialmente. Sucede igualmente en el caso de la congelación, en este proceso el agua libera al medio 334 kJ/kg mientras que al fundirse absorbe la misma cantidad.

El cambio de estado del agua de acuerdo con la temperatura constituye uno de los procesos fundamentales para la regulación de la temperatura terrestre y de la dinámica atmosférica y, a escala de cultivo, interviene en la regulación del proceso circadiano de calentamiento y enfriamiento del aire y su contenido de agua. También, desde el punto tecnológico, constituyen, directa o indirectamente, la

FIG. 2 Ejemplo de perfil distribución de la temperatura en altura durante el día y la noche en un suelo húmedo y mojado. La inversión térmica durante la noche se produce de modo más acentuado en el suelo seco (derecha) que en el húmedo (izquierda).



base física de la mayoría de los sistemas activos de protección frente a heladas.

Tipos de helada y dinámica

Clásicamente se definen tres tipos de helada de acuerdo con el proceso predominante en la pérdida de calor. En la helada de radiación, la más frecuente en las zonas frutícolas, predomina el proceso de pérdida de calor por radiación neta negativa (componente R_n en la **figura 1**) además del cambio provocado por la variación de la entalpia del aire (la suma de calor sensible y latente). El flujo de calor se produce mayoritariamente por radiación y por convección del aire, además del flujo de calor por conducción desde el suelo.

Otro tipo de helada, con mayor potencial de enfriamiento, es la helada de advección, en la que se identifican los mismos procesos de pérdida de calor por radiación si bien la componente preponderante en el descenso drástico de la

entalpia está asociado a la entrada masiva de aire frío con una humedad relativa baja o moderada. En estas condiciones es cuando se producen las heladas más devastadoras para la producción vegetal y su origen se asocia a corrientes de aire polar muy frío y seco, tal como sucedió en las heladas de primeros de abril de 2022 (**figura 3**).

Concretamente en este episodio de heladas, la corriente de aire frío, en su recorrido final a través de Europa, afectó al noreste de la Península donde progresivamente perdió intensidad, produciendo heladas de advección y radiación dependiendo de la intensidad de aire y su temperatura según zonas. Es común aceptar que existe riesgo de helada de advección cuando se da viento frío con velocidades superiores a 8 km/h y humedad relativa baja, lo que puede provocar descensos potenciales de la temperatura del termómetro húmedo y del punto de rocío muy bajos; no obstante, de un modo más riguroso, debería conocerse la temperatura a

2 y 10 m del suelo para reconocer las características del perfil de viento y diagnosticar de un modo más preciso el fenómeno advectivo a nivel local o de parcela (Villar *et al.* 2023).

Finalmente, la helada de evaporación se presenta raramente, siendo lo más común que se produzca asociada a la helada de advección o a las de radiación, en este último caso como efecto de la advección secundaria del aire frío próximo al suelo en zonas de valle. También puede producirse como resultado de una puesta en marcha o parada errónea de los sistemas de protección basados en la aplicación de agua.

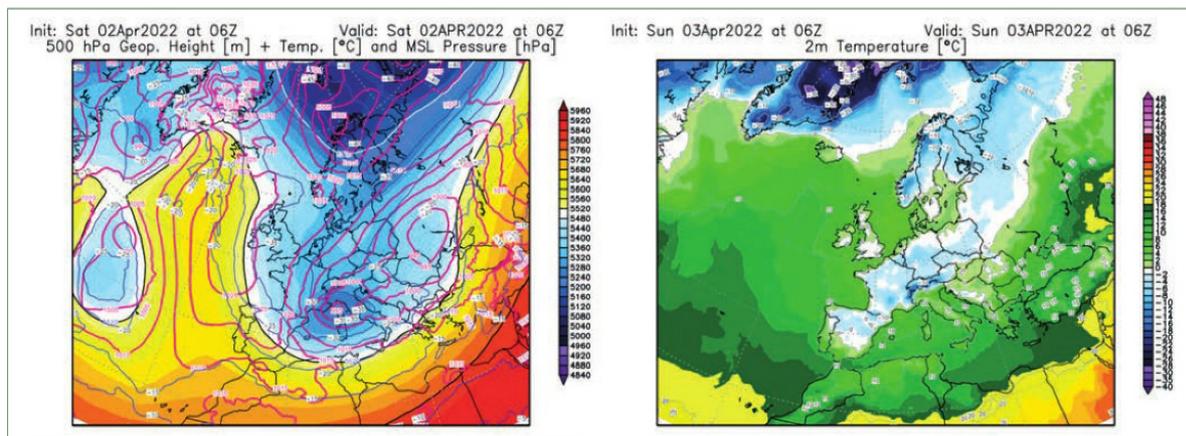
Evaluación del riesgo de helada y caracterización

El conocimiento del tipo y de la dinámica de las heladas a nivel de gestión de la protección de cultivo requiere de una información básica que, de manera deseable, debería incluir los siguientes aspectos: un conocimiento del microclima nocturno de las parcelas objeto de la protección para determinar las posibles zonas de mayor o menor riesgo, y en las que deben identificarse las zonas con posibles movimientos advectivos de aire frío (vaguadas y/o fondos de laderas) y todos aquellos componentes del paisaje que fomenten la acumulación de aire frío en las zonas más bajas o limitaciones de drenaje de aire. Ésta es una tarea laboriosa y que requiere medir la temperatura/viento en suficientes puntos, siendo necesaria la concurrencia de especialistas.

Alternativamente, más allá de la acción particular, la información obtenida del análisis de mapas de temperatura nocturna y de riesgo de heladas a escala zonal se puede obtener del análisis de las estaciones meteorológicas públicas desplegadas actualmente con una densidad suficiente en muchas regiones hortofrutí-

FIG. 3 Flujo advectivo de aire frío y temperaturas del aire a 850 hPa (aprox. 1500 m de altitud) previstas para el día 2 de abril de 2022 a las 6 h UTC y temperatura a 2 m del suelo el día 3 de abril a las 6 h UTC.

Fuente: GFS weather maps. Consulta online en <https://www.firenzemeteo.it>



colas (Bois *et al.*, 2018; de Ressaúquier *et al.*, 2020; Noh *et al.*, 2021; Zinoni *et al.*, 2002). Lamentablemente, a pesar de la existencia de una cuantiosa información meteorológica, en España los recursos dedicados al tema son pocos, aunque valiosos para el sector (por ejemplo, Espín Sánchez, 2021). Lo que constituye un tema pendiente dada la importancia de los daños económicos producidos por las heladas y disponiendo de tecnología de protección bien desarrollada para proteger los cultivos de alto valor añadido.

También es fundamental poseer información de la fenología y de las temperaturas umbral de daños en cada estado fenológico en cada especie y variedad (si es posible). Este conocimiento es indispensable para la adopción de soluciones de defensa pasiva adecuadas en cuanto a especies y variedades a plantar en cada zona y para el diseño de las plantaciones y la selección de los medios de defensa, de acuerdo con el criterio de optimizar los recursos naturales disponibles y las inversiones.

La información obtenida de las parcelas y del cultivo, juntamente con la obtenida del análisis de los datos climáticos a

nivel de zona y de parcela, servirán para valorar la probabilidad de helada en un periodo o estado fenológico concreto (Snyder y Melo-Abreu, 2005).

En definitiva, el primer paso tratará de acotar el riesgo y seleccionar las posibles soluciones existentes en cuanto a la viabilidad técnico-económica de las plantaciones en una zona concreta y valorar la necesidad y dimensión de los sistemas de defensa pasiva o activa frente a las heladas.

También es recomendable conocer las previsiones meteorológicas a corto o medio plazo a partir de los modelos disponibles divulgados por diferentes centros oficiales y accesibles a tiempo real (por ejemplo, ECMWF, GFS o UKMO), además de los avisos de episodios extremos que divulgan las agencias meteorológicas estatales o regionales. Esta información, como se ha comentado, es crucial para conocer el alcance, naturaleza e intensidad previsible del episodio de heladas, lo que es indispensable para la organización de la defensa con suficiente antelación.

El conocimiento del tipo de helada y su intensidad es necesario para la ges-

tión de la protección activa del cultivo mediante métodos de protección basados en calor o en aplicación de agua. La importancia del flujo de calor asociado a una helada de radiación o a una de advección puede ser completamente diferente, llegando a ser las últimas, en circunstancias muy adversas, prácticamente incontrolables.

A título de ejemplo, la **figura 4** muestra de forma muy simple la cantidad de calor involucrado en dos procesos de enfriamiento del aire en dos casos: un cambio de temperatura de 3°C a -2°C en condiciones estables y humedad relativa 50% sin viento, en las que la componente principal de flujo de energía es debido a la radiación neta negativa durante la noche. En estas condiciones el enfriamiento provoca un incremento progresivo de la humedad del aire hasta alcanzar la condensación a -6,5°C (punto de rocío), pudiendo producirse condiciones de helada dependiendo de la temperatura diurna y de la velocidad de descenso de la temperatura del aire.

El segundo caso muestra el enfriamiento a humedad constante, que intenta representar, aun siendo un caso extremo,

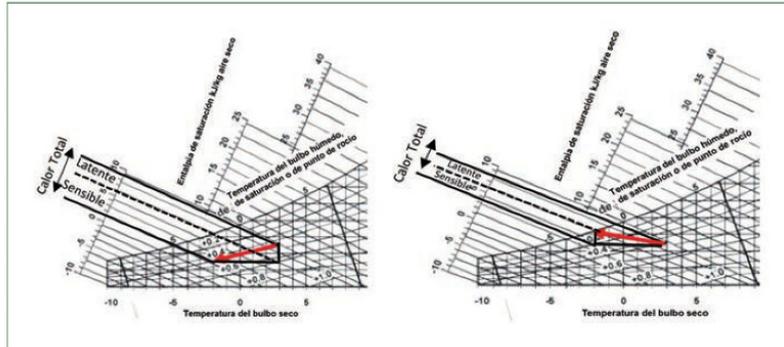
las condiciones de un flujo advectivo de aire frío seco dominante, lo que provoca, además de enfriamiento sensible (termómetro seco), un enfriamiento muy intenso asociado a la evaporación de agua (calor latente). En estas últimas condiciones, el cambio en el estado energético asociado al aire es del orden de 2,5 veces el de una caída de termómetro seco de 5°C en condiciones de tiempo estable (cuadro I). Si a estas cifras se suma el enfriamiento convectivo del aire frío (producto de la masa de aire circulante, su temperatura y humedad), el calor perdido puede llegar a valores tan altos como para anular el efecto de cualquier método de protección.

Puesta en marcha de los medios de defensa activa

Una vez conocido el riesgo de helada y en situación de aviso de un episodio de helada, la explotación o finca necesita de una información mínima para evaluar la necesidad de activar los medios de protección y evaluar las posibilidades de defensa. Para ello, al menos debe conocerse la temperatura del aire, la humedad relativa de este (o un psicrómetro para medir la temperatura húmeda) y el viento a 2 m y además, si es posible, del viento a 10-15 m de altura. También es muy recomendable instalar dentro y fuera del cultivo termómetros de respuesta rápida (de alcohol o termopares) sin abrigo, a alturas próximas al suelo (hasta 0,5 m) para conocer de forma más aproximada la temperatura del aire próximo al suelo, muy influenciada por su naturaleza, estado hídrico y sistema de mantenimiento; es lo que se denomina punto o temperatura actinotérmica, que ofrece una información más aproximada a la temperatura real de los órganos de la planta.

De los sensores apuntados anteriormente deben extraerse los datos básicos para la toma de decisiones. Para ello es necesario conocer la temperatura del ter-

FIG. 4 Cambios de calor en dos situaciones de enfriamiento, a la izquierda a humedad constante sin saturación y a la derecha enfriamiento con saturación de vapor de agua.



mómetro húmedo, o temperatura húmeda del aire (100% de humedad relativa), la temperatura del punto de rocío, o temperatura a la que se produce condensación de vapor de agua o formación de hielo (escarcha) si la condensación se produce a temperaturas por debajo de 0°C.

Los métodos de protección activos son efectivos cuando son gestionados correctamente; fuera de las condiciones adecuadas de servicio pueden perder eficacia o incluso exacerbar los daños de la propia helada. Un aspecto clave de su efectividad se concreta en la predicción del descenso térmico previsible durante la noche y la determinación de la puesta en marcha para modificar las condiciones ambientales y cumplir con la finalidad de la protección. Una cuestión previa es prever con la suficiente antelación la posible producción de helada. La modelización de la evolución meteorológica a microescala y a muy corto plazo (horas) adolece aún de poca exactitud y es poco manejable por los técnicos de producción (Atam *et al.*, 2020; Jordan & Smith, 1994; Lhomme & Guillioni, 2004; Noh, Doh, *et al.*, 2021; Noh, Lee, *et al.*, 2021).

Existen numerosos modelos empíricos para predecir la temperatura mínima a la que se pueden alcanzar las condicio-

nes de heladas de radiación, la mayoría de ellos contruidos a partir de la relación entre la temperatura mínima y la humedad y temperatura a una hora concreta del día, normalmente a media tarde o a la puesta del sol (Allen, 1957; Asakura *et al.*, 2011; Snyder y Melo-Abreu, 2005). Más recientemente, con el desarrollo de las herramientas de análisis numérico, se han desarrollado otros modelos semiempíricos más complejos como el propuesto por Lhomme y Guillioni, (2004) con una supuesta mayor capacidad. Sin embargo, todos ellos necesitan ser puestos a punto con información a nivel local para ser operativos en zonas diferentes a aquellas para las que fueron desarrollados.

A título de ejemplo de aplicación, se analizan a continuación los datos de temperaturas, viento y humedad relativa de la helada del 2 al 3 de abril de 2022 en Balaguer (Lleida) como resultado del enfriamiento provocado por la ola de frío que alcanzó buena parte de la Península. El día 2 de abril, el viento frío sopló hasta primera hora de la tarde a una velocidad entorno los 4-5 m/s (15-20 km/h) disminuyendo hasta convertirse en una ligera brisa a partir de las 22 h. A causa de esta corriente de aire, la temperatura ambiente disminuyó durante los

días anteriores, disminuyendo también la humedad relativa. En estas circunstancias, la temperatura del termómetro húmedo y la del punto de rocío se mantuvieron muy bajas, indicando una alta probabilidad de helada nocturna y un enfriamiento rápido, del orden de casi 2°C/hora en la primera etapa con viento débil y del orden de 1°C/h a partir de las 23 h. La escarcha no se formó hasta las 5,30 o 6 h de la madrugada, con una temperatura entorno a los -4,5 - 5°C, por lo que esta helada se tipificaría como "helada negra". En estas condiciones, si bien el enfriamiento previo fue de naturaleza advectiva, la helada producida puede ser tipificada como mixta radiación-advención, con la velocidad de aire moderada, si bien la humedad relativa era baja, resultando una temperatura del punto de rocío extremadamente baja

CUADRO I. TEMPERATURA DEL TERMÓMETRO SECO, HÚMEDO Y DEL PUNTO DE ROCÍO, HUMEDAD DEL AIRE Y ENTALPIA DEL AIRE EN UN PROCESO DE ENFRIAMIENTO CON SATURACIÓN DE VAPOR Y A HUMEDAD RELATIVA CONSTANTE.

	Radiación		Advección	
Temp. termómetro seco °C	3	-2	3	-2
Humedad relativa %	50	100	50	50
Temp. termómetro húmedo °C	-0,33	-2,00	-0,33	-4,88
Entalpia kJ/kg	8,90	6,10	8,90	1,97
Temp. Punto de rocío °C	-6,50	-1,80	-6,50	-10,0
Variación de entalpia kJ/kg		2,80		6,93

tanto en las horas centrales del día como durante la noche. Las previsiones realizadas mediante tres modelos empíricos (**cuadro II**) informaron de la alta probabilidad de producción de helada, pero sin poder predecir la temperatura mínima real puesto que, como se ha dicho, poseen poca capacidad predictiva de las pérdidas de calor latente asociadas al proceso de enfriamiento.

Por tanto, en muchas localizaciones, dependiendo de las características microclimáticas de las parcelas, se gestionó una helada con una componente advectiva muy importante. Esta es una situación muy peligrosa y dependiente de la capacidad calorífica del sistema de protección y del manejo como factores determinantes.

Una vez estimado el riesgo de helada y determinado que existe una probabili-

EL SECTOR AGRO COMO NUNCA LO HAS VISTO



Análisis semanales sobre mercados y sobre el sector firmados por José Murillo y Tomás García-Azcárate



Entrevistas a destacados protagonistas del mundo agro



Campo Joven, el nuevo **podcast rural** de Elisa Plumed

Y mucho más...

AGRONEGOCIOS.TV



Información audiovisual de lo que ocurre en el sector



Divertidos stories que nos acercan a la vida en el campo



Formación, eventos y seminarios

dad alta, se tomarán las medidas necesarias para la puesta en marcha del sistema activo de protección. La secuencia lógica de la toma de decisiones y de las acciones a realizar ante un período sensible de heladas se pueden resumir en estos pasos:

- Seguimiento meteorológico y puesta a punto de los medios de defensa: en período de heladas, con frecuencia diaria a semanal, se debe realizar un seguimiento de las predicciones meteorológicas facilitadas por las diferentes fuentes de información contrastadas. Esta información debe servir para organizar y poner a punto los medios de protección, por ejemplo, disponibilidad de agua, puesta a punto de instalaciones y red de alerta, suministro de energía, organización y formación del personal, etc. Debe realizarse a nivel de explotación y de zona según la necesidad y control sobre los medios.
- Ante una predicción meteorológica que indica riesgo alto de helada, cada día se pondrá en marcha la red de alerta, se comprobará el buen funcionamiento de los instrumentos de medida de control, las comunicaciones (particularmente en redes colectivas de avisos) y se revisarán los elementos clave de las instalaciones y materiales de defensa. Cada día debe calcularse la temperatura del punto de rocío con los datos de temperatura del aire (termómetro seco) y del termómetro húmedo (o, alternativamente, la humedad relativa del aire). El cálculo puede realizarse con una carta psicrométrica o con una de las múltiples aplicaciones de teléfono (app) existentes. El punto de rocío es una estimación del descenso térmico que se puede producir, de forma que si este punto está por debajo de 0°C se puede inferir que existe una probabilidad de helada muy alta; y si está muy

CUADRO II. PREVISIÓN DE TEMPERATURA MÍNIMA REALIZADA CON TRES MODELOS EMPÍRICOS DE LA HELADA DEL 2 AL 3 DE ABRIL DE 2022 EN BALAGUER (LLEIDA).

Modelo	T. mínima prevista
Asakura (2011)	-1,7
Allen (1957)	-2,6
Snyder y Melo Abreu (2005)	-2,5

por debajo de 0°C, debe entenderse que el potencial de enfriamiento es muy alto y es esperable una helada intensa. Si esta temperatura es inferior a la temperatura crítica para sufrir daños, se activa la prevención y debe ejecutarse el plan de protección. Esta fase es decisiva y es de corta duración, normalmente de no más 10-24 horas y es fundamental para el éxito de la protección.

- En situación de helada segura debe ejecutarse la puesta en servicio de los medios de protección a nivel de parcela en el orden establecido, que normalmente depende del medio de protección, de la localización de las fincas y de las variedades/fenología. Por ejemplo: carga de la red de riego, distribución de personal y tareas, comprobación de red de comunicación y de alerta, suministro de energía, seguimiento de temperatura, etc. Los puntos críticos hacen referencia a la toma de decisión de la puesta en marcha y parada y a la coordinación de los medios de defensa.

En general, el momento de puesta en marcha se realiza cuando la temperatura del termómetro húmedo se encuentra a 1 - 1,5°C por encima de la temperatura crítica del cultivo. Ello da un margen de seguridad suficiente (de 1 a 2 horas) para alcanzar las condiciones de servicio (presión y caudal) y amortiguar el descenso térmico inicial por evaporación si es riego por aspersión, para encender candelas de combustible o para poner en marcha

ventiladores. La puesta en marcha puede ser más ardua en algunos sistemas de defensa que en otros, y el equipo humano y de apoyo debe ser dimensionado para ejecutar la operación en tiempo suficiente. El momento de parada debe ser cuando la temperatura ambiente sobrepasa 1 - 1,5°C la crítica, siendo siempre superior a 0°C en el caso de métodos basados en aplicación de agua.

En caso de helada de advección, en el que, normalmente, las instalaciones de riego no están preparadas para estas situaciones, debe tenerse en cuenta que es peligrosa su puesta en marcha con brisa fría y seca (punto de rocío muy bajo). En estas circunstancias, la capacidad de la instalación puede evaluarse calculando la pluviometría necesaria en condiciones de atmósfera no saturada; en una instalación por aspersión se estima la necesidad de una pluviometría de un mm/h °C (Snyder, 1986) a proteger, lo que supone, para una temperatura crítica de -1°C y una temperatura del aire de -4°C, una capacidad mínima de la instalación de 3 mm/h.

En caso de helada como la descrita anteriormente, si calculamos la diferencia entre el punto de rocío para la temperatura crítica en condiciones estables (HR=100%) y en condiciones de advección (HR=60%), la pluviometría necesaria se calcularía incrementado un 20%, aproximadamente, por grado de diferencia entre el punto de rocío en condiciones estables (helada de radiación) y advección, ascendiendo la necesidad pluviométrica en este mismo caso hasta los 4,1 mm/h. En microaspersión, más sensible al viento y con menor precipitación y cobertura, la evaluación de la respuesta a heladas intensas puede ser más complicada dependiendo de los caudales de servicio, tipo de emisor y su distribución espacial.

En el caso de quemadores de combustible, la puesta en marcha se

CUADRO III. RESUMEN DE MÉTODOS DE PROTECCIÓN FRENTE A HELADAS.

Método	Efecto	Observaciones
Métodos pasivos		
Localización, posición en el relieve y acciones correctivas	Alto	Fundamental en el análisis de alternativas de cultivo y condicionantes de la zona/explotación/parcela.
Material vegetal	Alto	Elección de material vegetal adaptado a condiciones de localización y parcela/explotación (punto anterior).
Prácticas cultivo	Débil	Todas aquellas que afecten la fenología/sensibilidad del cultivo (por ejemplo: protección, abonado, riego, etc.).
Poda/sistema formación	Moderado/alto	En algunas especies puede tener interés (viña).
Mantenimiento del suelo	Moderado/débil	Suelo cultivado, sin cultivo o enherbado/mulching tiene diferente respuesta en la conducción/emisión de calor del suelo.
Protectores/aporcado	Alto	En plantas jóvenes o especies muy sensibles pueden ser interesantes las bandas térmicas protectoras del tronco o el aporcado para protección del tronco de la planta. Tiene limitaciones económicas importantes.
Métodos activos		
Caldefactores	Alto	Debe ser conocida la carga de combustible necesaria y la densidad de quemadores activos/ha para evitar pérdidas excesivas por convección/advección de aire a capas altas según el tipo e intensidad de helada. Es un método con alto coste de combustible y de operación; aumenta eficacia con el incremento de superficie protegida.
Máquinas ventiladoras	Moderado/alto	Poco eficaz en heladas de advección, necesita de inversión térmica acentuada que debe conocerse. La asociación de ventiladores y quemadores es más eficaz y más cara.
Aspersión/microaspersión	Alto	Los métodos basados en aspersión de agua son muy eficaces debido a la cantidad masiva de calor obtenida en la congelación de agua sobre los órganos vegetales a proteger. Puede provocar daños en los árboles por rotura de ramas (cítricos, almendro, etc). El cálculo del caudal de agua y su disponibilidad es crucial y la determinación del momento de inicio/parada son también esenciales para el éxito de la protección.
Riego de superficie	Moderado	El riego de superficie puede ser eficaz. Se incrementa el calor total en el suelo, aumenta su conductividad térmica y la humedad relativa del aire próximo, lo que favorece la inversión térmica. En heladas de advección puede ser peligroso.
Caldefactores móviles, ventiladores de flujo invertido (SIS) o de flujo horizontal	Desconocido	Las experiencias son muy limitadas, permiten ahorrar energía. Son muy dependientes del gradiente de inversión térmica.
Uso de agentes químicos y biológicos	Variable	Su efecto no es claro y no está demostrado de manera inequívoca en algunos casos.

puede realizar del mismo modo que en el caso de aspersión, entendiendo que es necesario un plazo de tiempo razonable para el encendido. La cantidad de quemadores por hectárea a encender es función del enfriamiento (velocidad de descenso de temperatura) y se puede calcular de acuerdo a la fórmula propuesta por Snyder y Melo-Abreu (2005) teniendo en cuenta la carga y la tasa de combustión de los mismos. Las máquinas de viento suelen ir equipadas con sensores de temperatura para estimar la inversión térmica, estimándose que una diferencia de 3°C entre la temperatura próxima al suelo (índice actinotérmico) y la temperatura a 10 - 15 m según la altura de la máquina permite alcanzar un rendimiento adecuado del sistema. En las condiciones ambientales anteriores y condiciones de trabajo óptimas, con un diseño de los ventiladores y ángulo axial correctos para evitar en lo posible asimetrías en la distribución del aire y una potencia entre 30-40 kW/ha, ofrece la posibilidad de alcanzar un rendimiento

estimado en un incremento de temperatura próximo al 50% del diferencial de temperatura de inversión.

Métodos de protección

A modo de resumen y sin entrar en descripciones detalladas, por otro lado muy difundidas en la literatura técnica y científica, el **cuadro III** recoge los métodos principales de protección activa o pasiva y algunas observaciones sobre sus características, capacidades y limitaciones.

Conclusiones

Las heladas de primavera son uno de los eventos meteorológicos que más pérdidas económicas causa en la agricultura, particularmente en el sector hortofrutícola. Se detecta con frecuencia una falta de atención en la valoración y puesta a punto de los medios pasivos de protección a nivel de explotación y de zona, resultando en afectaciones a la viabilidad

de las explotaciones, errores difícilmente asumibles mediante otras alternativas como son el sistema de los seguros agrarios. También se observa deficiencias en la gestión de la protección activa, observando instalaciones con déficits en el diseño, el dimensionamiento y en la gestión de los sistemas. Respecto este último aspecto, es necesario fomentar un mayor conocimiento de la distribución del riesgo de heladas a nivel zonal y de explotación si es necesario, tarea que se ha realizado tan solo parcialmente en nuestro país.

Por último, el conocimiento del fenómeno de helada, su caracterización, evaluación del riesgo y de la posibilidad de control con los sistemas disponibles, es una cita prioritaria en la formación continuada del personal técnico y agricultores que deben afrontar en su día a día la gestión de heladas. ■

BIBLIOGRAFÍA

Existe una amplia relación bibliográfica a disposición de los lectores en el correo electrónico: redacción@umedía.es