

PROTECCIÓN CONTRA LAS HELADAS:

nutrición, fenología y bioestimulación

Las heladas en primavera originan todos los años importantes pérdidas de producción de fruta. Aunque su frecuencia depende del riesgo potencial de cada zona, debido al cambio climático, las heladas primaverales serán cada vez más frecuentes incluso en lugares donde nunca habían ocurrido antes. A este hecho debemos añadir un aumento de la vulnerabilidad de los cultivos frutales como consecuencia de un adelanto de la salida de reposo por el incremento general de las temperaturas. Ante este escenario, es imprescindible que los fruticultores adopten sistemas de protección para sus plantaciones, tanto activos como pasivos.

ESTANIS TORRES
IRTA, Programa de Fruticultura (Lleida)

Los métodos activos son aquellos que se aplican y actúan en el momento en que se produce la helada con el objetivo de evitar que la temperatura caiga por debajo del punto de congelación. Los más utilizados son (**Figura 1**):

- Molinos de viento contra la inversión térmica que se produce en el aire.
- Estufas, velas de parafina, y otros calentadores para calentar el ambiente.
- Riego por aspersión, con la finalidad de que el hielo que cubra la planta la proteja de las temperaturas exteriores.

Por lo general, los métodos activos son métodos de protección con un elevado coste económico y energético, y no pueden utilizarse simultáneamente más de uno a la vez. Además, la eficacia de alguno de ellos, como

los ventiladores y riego por aspersión, depende del tipo de helada. Por ello, es importante tener claro qué métodos son los más adecuados y mejor adaptados para cada situación. Por otro lado, los métodos pasivos son aquellos que se adoptan antes de que se produzca la helada, desde las decisiones que se toman en el momento del diseño de la plantación y selección del material vegetal hasta las prácticas culturales y manejo de la plantación, por ejemplo:

- Evitar plantar en zonas con mayor riesgo, como las partes bajas de los valles.
- La elección de variedades de floración tardías en zonas con elevado riesgo.
- Mantener el suelo húmedo y limpio de vegetación, pero sin labrar, durante el periodo de heladas puede ayudar a mitigar la bajada de la temperatura.
- Mantener las plantas sanas y equi-

libradas, ya que las plagas y enfermedades y una fertilización inadecuada pueden debilitar la planta aumentando su sensibilidad.

- Aplicación de productos protectores contra las heladas.

Dentro de este último punto, encontramos el uso de diferentes productos agroquímicos como fertilizantes minerales convencionales (como el potasio, el calcio, el boro), productos hormonales (reguladores de crecimiento), productos antitranspirantes y bioestimulantes.

El uso de productos protectores contra las heladas se viene estudiando desde hace décadas. Los primeros productos utilizados fueron reguladores del crecimiento con capacidad para retrasar el desarrollo de la brotación y/o aumentar la tolerancia al frío, pero hoy día podemos encontrar en el mercado una amplia oferta de productos fertilizantes y bioestimulantes específicos, con distintos

**FIGURA 1**

Métodos de protección activa contra las heladas en frutales (de izquierda a derecha): quemadores (Foto: Alberto Navarro, IRTA Gimenells), molino de viento (Foto: Estanis Torres, Clemson - Musser Farm EE. UU.) y riego por aspersión.

modos de acción, para proteger los cultivos contra la bajada de las temperaturas. En este artículo vamos a hacer una revisión de los diferentes tipos de productos protectores contra las heladas.

Mecanismos de defensa de las plantas contra las heladas

Conocer los mecanismos de defensa natural que han desarrollado las plantas para protegerse contra el frío, es una forma de entender los modos de acción de los diferentes productos protectores contra las heladas de los que disponemos. Las temperaturas por debajo de cero provocan la formación de hielo extra e intracelular en los tejidos de las plantas, alterando o impidiendo el normal desarrollo de los órganos y sus funciones, llegándolos a dañar e incluso provocar necrosis (**Figura 2**). Para evitar daños durante el invierno, los árboles caducifolios entran en otoño en un estado de latencia cuando empiezan a acortar los días, induciendo mecanismos fisiológicos que además reducen la temperatura de congelación intra y extracelular; todo ello les permite aumentar la tolerancia a la congelación (**Figura 3**). Una vez las plantas salen de su estado de latencia todavía mantienen algunos de estos mecanismos de defensa intrínsecos, no obstante, en cuanto inician su crecimiento activo es cuando son más vulnerables a las heladas.

**FIGURA 2**

Daños ocasionados por heladas en el interior de las flores (peral y melocotonero) y frutitos (Fotos: Estanis Torres, IRTA).

MECANISMOS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS HELADAS

**FIGURA 3**

Mecanismos de protección de las plantas contra el estrés por heladas (adaptación de Román-Figeroa *et al.*, 2020)

Cuando existe riesgo de congelación, se pueden formar cristales de hielo en los espacios extracelulares de los tejidos. En estos casos, la congelación de la solución extracelular crea un gradiente de potencial hídrico en la célula que comporta una salida de agua desde el citoplasma al exterior, lo que ocasiona una deshidratación celular. Dicho gradiente de potencial hídrico es debido a que los cristales de hielo en el exterior de la célula hacen que haya una solución más concentrada que en el interior de la célula, aumentando el potencial osmótico y el consecuente escape de agua del interior hacia el exterior de la célula. Es por ello por lo que, en la mayoría de las ocasiones, la célula muere antes por la deshidratación que esta fuga de agua provoca que por los daños directos que produce la formación de hielo. En el caso de que se llegara a formar hielo dentro de la célula, los cristales podrían dañarla físicamente, rompiendo las membranas de los orgánulos, lo que resultaría letal y produciría una necrosis celular.

Las plantas han desarrollado diferentes mecanismos para evitar que esto suceda. Por ejemplo, una forma de retener el agua intracelular y evitar así la deshidratación y la formación de cristales es aumentando la concentración de solutos en el interior de la célula. Esto se logra con la acumulación de solutos de baja masa molecular, como azúcares solubles, polioles, aminoácidos y otros agentes crioprotectores, que ayudan a reducir la deshidratación debido a la migración de agua en los espacios extracelulares. Su acumulación en el citoplasma celular actúa por ósmosis, creando una mayor concentración de solutos en el interior de la célula respecto al exterior a pesar de la formación de cristales de hielo. De esta forma la dirección del agua se invierte y el agua queda retenida en la célula evitando su deshidratación. En definitiva, estos solutos evitan la pérdida de agua de las células reduciendo el gradiente de potencial hídrico que se genera al formarse cristales de hielo en su exterior.

La tolerancia a la congelación también puede conseguirse mediante la modificación en la estructura de algunos lípidos y proteínas de las membranas de las células para aumentar su estabilidad e integridad. Se sabe que aminoácidos como la prolina ayudan a estabilizar las membranas celulares interactuando con los fosfolípidos de membrana. Estos aminoácidos evitan que el hielo se propague sobre las membranas y las mantienen funcionales (Ouellet y Charron, 2013). Otra forma de protección es evitar o retrasar la formación de hielo intercelular y/o evitar la propagación del hielo que ya está formado. El mecanismo más importante para evitar la propagación del hielo en el interior de los tejidos son las proteínas que se unen al hielo como si de un anticongelante se tratara. Estas proteínas son absorbidas por los cristales de hielo y pueden tener una actividad inhibidora de la recristalización, evitando que pequeños cristales de hielo se agreguen para formar otros de mayor tamaño. Además, contribuyen a evitar la migración de las moléculas de agua de espacios intracelulares a extracelulares manteniendo el equilibrio osmótico (Bredow y Walker, 2017). El estrés ocasionado por la bajada de las temperaturas induce la formación de radicales libres y de especies reactivas de oxígeno, conocidas por su acrónimo en inglés ROS, en el tejido vegetal, de la misma forma que lo provoca cualquier otro tipo de estrés abiótico ocasionado por inclemencias meteorológicas como el aumento de la temperatura, la falta de agua o la radiación solar. Los ROS (H_2O_2 , O_2^- , OH^- , etc.) provocan la oxidación de las membranas celulares en una reacción en cadena pudiendo provocar la muerte celular. Las plantas responden a este estrés oxidativo con la formación de antioxidantes, que son capaces de eliminar a los ROS y los radicales libres para evitar que las membranas celulares se desintegren. Los antioxidantes más destacados de las plantas son el α -tocoferol (vitamina E), el ácido ascorbico (vitamina C), los carotenoides y los compuestos fenólicos.

Aplicando todo este conocimiento, hemos aprendido a retrasar la salida del periodo de latencia de las plantas y alterar la concentración de solutos en los tejidos mediante la aplicación de nutrientes minerales, con la finalidad de proteger los cultivos contra las heladas. Además, las empresas de bioestimulantes han desarrollado productos específicos para la protección contra las heladas simulando los modos de acción intrínsecos que utilizan las plantas de forma natural.

Nutrientes minerales

Los principales nutrientes de los que se dispone referencias contra las heladas en la literatura científica son el potasio, el calcio y el boro. Aunque distintos estudios demuestran su capacidad para reducir los daños por heladas y proteger los cultivos contra el estrés de la bajada de las temperaturas, encontramos que su eficacia puede variar dependiendo del tipo de nutriente y cultivo.

- Potasio

Ya hemos visto que una opción para que las plantas aumenten su resistencia a las heladas es reducir el punto de congelación mediante la formación de sólidos solubles como azúcares, aminoácidos y/o iones osmóticamente activos, y de esta forma retrasar la formación interna de cristales de hielo. Sarikhani *et al.* (2014) observaron que yemas con altos contenidos de azúcares y potasio tienen más posibilidades de sobrevivir en los inviernos extremos. El potasio es uno de los iones con mayor presencia en los tejidos de las plantas. Éste se disuelve en el interior de la célula y/o en los espacios intracelulares ayudando a disminuir el punto de congelación al aumentar la cantidad de soluto y, consecuentemente, ayudando a mantener el ajuste osmótico. Además, el potasio es un nutriente esencial para las plantas y su deficiencia puede afectar al rendimiento de los cultivos de diferentes formas, especialmente en condiciones de estrés. En este sentido, una deficiencia de potasio puede limitar el cierre estomático

y favorecer la pérdida de agua por transpiración, lo que favorecerá la deshidratación celular.

- Calcio

El calcio también desempeña un papel importante a la hora de proporcionar a las plantas una mayor tolerancia a las bajas temperaturas, aunque todavía no existe un consenso sobre su mecanismo de acción. Según algunos estudios, un aumento de las aplicaciones foliares de calcio puede inducir el cierre estomático y evitar la deshidratación de las hojas (Waraich *et al.*, 2012; Wilkinson *et al.*, 2001), además de reforzar las membranas celulares. Es ampliamente conocido que el calcio es un elemento clave en la composición de las membranas celulares, mejorando su fluidez y estabilidad, aportando de esta forma una mayor resistencia a la degradación o colapso de los tejidos (**Figura 4**).

- Boro

El boro es otro de los minerales relacionados con una mayor tolerancia al frío. Entre las funciones del boro en la nutrición de las plantas, las más importantes son su papel en la formación de la pared celular y promover el crecimiento y desarrollo del polen, proceso clave en la formación de semillas y la producción de fruta de calidad. El boro ha demostrado ser eficaz contra las heladas, mejorando la tolerancia de las plantas, estabilizando la pared celular y su función, además de su papel en la regulación de la permeabilidad de las membranas celulares (Brown *et al.*, 2002). Estudios realizados en abetos mostraron que tratamientos foliares con boro aportaban a los brotes jóvenes una mayor tolerancia a las heladas (Räisänen *et al.*, 2009). Aparte de su papel en el mantenimiento y regulación de las paredes y membranas celulares, las aplicaciones de boro han mostrado tener un efecto sobre el retraso de la fecha de floración. Un estudio realizado por el IRTA en almendro en condiciones de secano mostró que aplicaciones

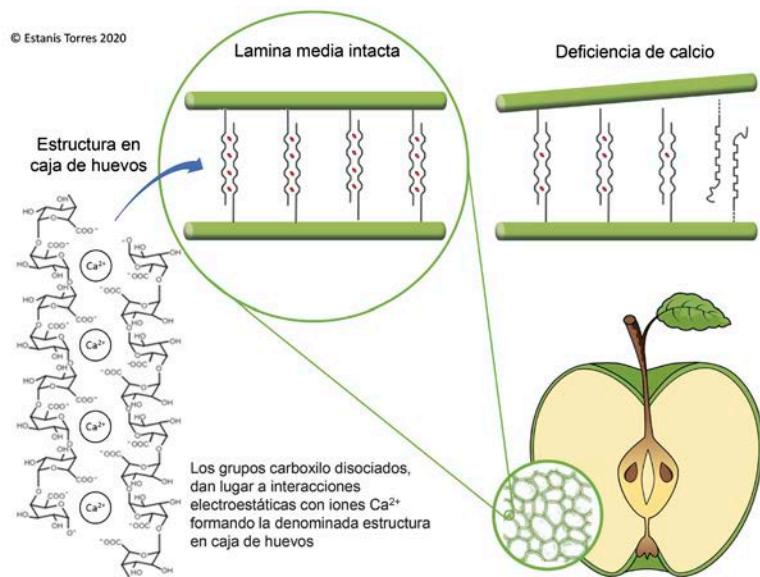


FIGURA 4
Esquema de la lámina media de la pared celular en los tejidos vegetales.

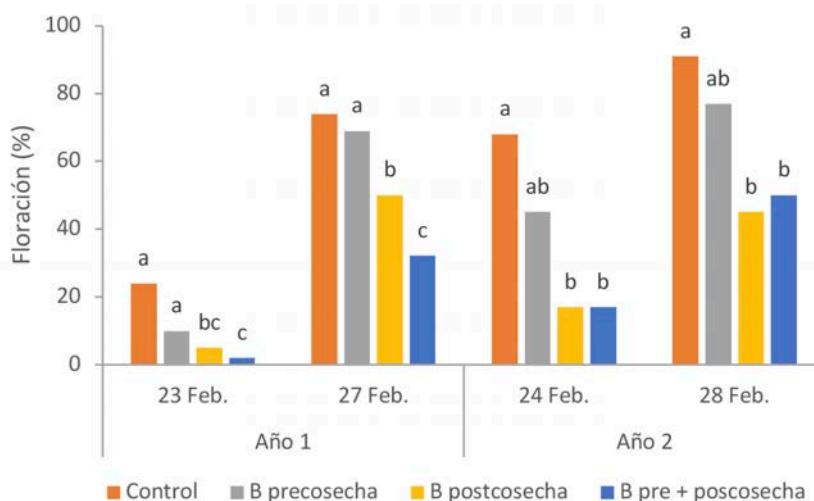


FIGURA 5
Porcentaje de flores abiertas por tratamiento en almendro cv. Desmayo Langueta. Datos correspondientes a dos ensayos en dos años consecutivos (año 1 y 2). Control: tratamiento sin aplicaciones; B precosecha: aplicación foliar de boro en primavera; B postcosecha: aplicación foliar de boro después de la cosecha; B pre + postcosecha: dos aplicaciones foliares de boro en primavera y después de cosecha (Fuente: Rufat y Arbonés, 2006).

foliares de boro en otoño, además de incrementar el cuajado, retrasaba la floración entre 4 y 6 días, lo que ayudaría a las flores de escapar de períodos de mayor riesgo de heladas a finales de invierno o principios de primavera (**Figura 5**).

Antagonismos y desequilibrios nutricionales

Es evidente que una correcta nutrición mineral es esencial para el desarrollo de las plantas y que variaciones en las dosis o tiempos de aplicación de algunos nutrientes pueden provocar

desequilibrios nutricionales que pueden afectar negativamente a la planta y aumentar su sensibilidad a la bajada de temperaturas. Como ejemplo, algunos estudios han mostrado que un exceso de nitrógeno podría perjudicar la protección de los cultivos, probablemente atribuido a un aumento del crecimiento vegetativo y, en consecuencia, una mayor susceptibilidad de los tejidos al estrés (Scagel et al., 2010). Por tanto, dentro de los métodos pasivos contra las heladas habrá que considerar un correcto aporte de las necesidades fertilizantes, en las cantidades y momentos óptimos, con el objetivo de que la planta disponga durante el período de mayor riesgo de aquellos nutrientes que le sean más beneficiosos y evitar desequilibrios nutricionales que puedan ser perjudiciales.

Reguladores del crecimiento

Los reguladores del crecimiento son compuestos hormonales asociados a distintos procesos del crecimiento de las plantas. El retraso de la floración es el principal mecanismo de este tipo de productos en la protección contra las heladas. Los retardantes del crecimiento de los brotes, como el paclobutrazol y el ácido abscísico, han demostrado ser efectivos para evitar daños a los brotes debidos a la bajada de las temperaturas. Estos compuestos actúan disminuyendo el crecimiento de las plantas y favoreciendo la latencia de los brotes. El paclobutrazol es un inhibidor de la biosíntesis del ácido giberélico y el ácido giberélico puede aumentar la susceptibilidad de las plantas al frío al estimular su crecimiento. Además, el paclobutrazol puede comportarse como un antitranspirante disminuyendo la longitud de los estomas y aumentando la densidad estomática. Otros productos hormonales como el etefón se han utilizado para retrasar el momento de la floración y, en consecuencia, reducir el riesgo de exposición de las flores a las bajas temperaturas. El etefón es un compuesto que al degradarse libera la hormona del etileno. Muchos estudios, realizados

especialmente en fruta de hueso, han mostrado que la aplicación en otoño de dicho compuesto puede retrasar de forma efectiva el tiempo de floración en la primavera siguiente. Su eficacia parece estar limitada a la etapa pre-dormante, con poco o ningún efecto cuando se aplica en estado de latencia y con un alto riesgo de abscisión de gemas florales si no es aplicada a la dosis y momento adecuado. El retraso obtenido puede oscilar entre 3 y 18 días, dependiendo del cultivo, concentraciones y momento de aplicación. Por lo general, aplicaciones tempranas en otoño a altas concentraciones son más efectivas. Por ejemplo, la aplicación de etefón a 250 y 500 ppm en ciruelos con un 10% de caída de hojas retrasó la floración 13 y 16 días, respectivamente, y 5 y 7 días cuando se aplicó en una fase más avanzada de caída de hojas del 50% (Tabla 1). En almendro se han obtenido retrasos de la floración de 4 a 7 días, con una respuesta positiva al incremento de la dosis de 50 a 200 ppm, pero con pérdidas en el rendimiento productivo relacionadas con el aumento en el retraso de la floración (Tabla 2). A todo ello, hay que añadir la posible aparición de efectos nocivos debidos a la aplicación del etefón, tales como gomosis, abscisión de gemas y flores, muerte terminal, falta de brotación de las gemas florales y reducción del rendimiento productivo. A día de hoy, en España, el etefón está autorizado sólo para viñedo, manzano y olivo en aplicaciones precosecha, por lo que su aplicación poscosecha para retrasar la floración queda fuera de registro.

Compuestos antitranspirantes

Dentro de los productos para protección contra heladas encontramos compuestos de aplicación foliar con efecto antitranspirante. Suelen ser productos elaborados a base de resinas y extractos de algas marinas que actúan como protector biológico de las plantas. En general, actúan mediante la formación de una membrana semipermeable a base de polímeros orgánicos que impide la pérdida de agua, frenando la congelación y evitando la deshidratación de las plantas. La oferta de este tipo de productos puede variar según el país. No obstante, en general, el ingrediente más utilizado en este tipo de formulaciones es el polímero beta-pineno (di-1-p-menteno). Este polímero orgánico se obtiene a partir de la resina de pino y se utiliza en agricultura como surfactante y antitranspirante. Cuando dichos compuestos se aplican sobre las plantas, el agua se evapora y deja en la superficie exterior una película flexible y suave sobre los tejidos que se polimeriza rápidamente formando una cadena más larga y de mayor peso molecular que resiste la penetración de la humedad, mientras que en la superficie interior permanece suave y pegajosa, con menor peso molecular, adhiriéndose a los tejidos de la planta. Este mecanismo puede utilizarse para proteger o mitigar la transpiración de las plantas contra cualquier tipo de estrés abiótico (altas temperaturas, déficit hídrico, radiación). En España podemos encontrar formulaciones que se comercializan con la función específica de proteger las plantas de las heladas a

TABLA 1
Retraso de la floración y producción en distintas dosis de etefón aplicadas en dos momentos distintos (a 10% y 100% de caída de hojas) en ciruelo de la variedad 'Italian' (Fuente: Crisosto et al., 1990).

TRATAMIENTO (ETEFÓN mg·L ⁻¹)	RETRASO EN LA FLORACIÓN RESPECTO TESTIGO (DÍAS)		PRODUCCIÓN (kg/ha)	
	10% CAÍDA DE HOJAS*	100% CAÍDA DE HOJAS*	10% CAÍDA DE HOJAS*	100% CAÍDA DE HOJAS**
0	0	0	38	38
300	6,7	2,4	31	36
600	9,5	3,6	22	41

*Respuesta lineal al aumento de dosis significativa ($P < 0,05$); **No significativo.

base de resinas acrílicas. Pero además podemos encontrar otros productos con el mismo principio activo que se comercializan como coadyuvantes o antitranspirantes para situaciones de estrés en general. Los resultados y estudios en la literatura científica que respalden su eficacia como protectores contra las heladas son limitados y su modo de acción no es a día de hoy concluyente. Probablemente, la protección contra la congelación de este tipo de productos antitranspirantes venga por la barrera física que la membrana lipófila forma en la superficie de los tejidos y por evitar la formación extrínseca de hielo debido a la reducción de la humectabilidad (Román-Figueroa *et al.*, 2020).

Bioestimulantes vegetales

Los abonos especiales y bioestimulantes vegetales son cada día más valorados y utilizados para revitalizar y proteger los cultivos ante condiciones adversas. Algunos de estos productos se han diseñado y formulado específicamente como tratamientos preventivos contra las heladas primaverales. En general, en su formulación contienen nutrientes minerales, aminoácidos antioxidantes (alfa-tocoferol) y/u otros crioprotectores que, por un lado, retrasan el punto de congelación en el interior de la célula y, por otro lado, protegen los tejidos de los daños producidos por la helada. Las sales minerales, normalmente a base de boro y/o potasio, actúan como crioprotectores y estabilizadores osmóticos, junto con productos antioxidantes de origen natural, que además actúan neutralizando los radicales libres que se forman en las membranas de las células, y fosfolípidos, hidratos de carbono y otros compuestos orgánicos que también aportan una mayor estabilidad a las membranas celulares. Entre los agentes anticongelantes o crioprotectores, uno de los más utilizados en este tipo de formulaciones es el polietileno de glicol, el cual aumenta la resistencia de los órganos tratados al frío al reducir el punto de congelación e impidiendo la formación de hielo extracelular. Todos estos compuestos confieren al

TABLA 2

Retraso de la floración y producción en distintas dosis de etefón aplicadas a 20% de caída de hojas en almendro de la variedad 'Vairo' (Miarnau y Torguet, 2018).

TRATAMIENTO (ETEFÓN mg·L ⁻¹)	MOMENTO DE APLICACIÓN	FECHA DE FLORACIÓN	RETRASO RESPECTO TESTIGO (DÍAS)	PRODUCCIÓN (kg/ha)
0	20% caída de hojas (9 nov.)	24-mar	0	1.169
50		28-mar	4	796
100		04-abr	7	670
200		04-abr	7	566

producto final la capacidad de proteger los cultivos de las heladas mediante diferentes modos de acción.

Conclusiones

En general, los métodos de control de heladas se pueden clasificar en métodos activos y pasivos. Los métodos activos contra las heladas son aquellos que se aplican y actúan en el momento en que se produce la bajada de las temperaturas, como ventiladores, quemadores o riego por aspersión. Los métodos pasivos consisten en adaptar las plantaciones al clima considerando distintos factores, como la selección de la variedad, el lugar de plantación y manejo del cultivo, para que la bajada de temperaturas tenga la menor influencia posible sobre la planta. Una vez seleccionada la variedad y el emplazamiento de la plantación, los métodos activos suelen ser más eficaces en el control de heladas que los métodos pasivos restantes. No obstante, los métodos activos pueden presentar ciertas limitaciones a según que tipos de heladas, además de un alto coste económico y energético. Es por ello por lo que, incluso disponiendo de sistemas de protección activa, no debemos dejar de lado la protección pasiva. Dentro de la protección pasiva encontramos el uso de productos protectores contra las heladas. Actualmente podemos encontrar una dilatada oferta de productos de diferente tipo (fertilizantes, biorreguladores, antitranspirantes y bioestimulantes) para combatir los daños por frío. El modo de acción de estos productos varía en función del tipo de producto y su formulación. Tradicionalmente se había utilizado el etefón para retrasar la fecha de flo-

ración y escapar del período de riesgo de heladas, sin embargo, su uso hoy en día no está autorizado y su aplicación puede suponer un riesgo en la disminución del rendimiento productivo. La aplicación foliar de algunos nutrientes fertilizantes, como el potasio, boro y calcio, han mostrado cierta eficacia en algunos cultivos, actuando como reguladores osmóticos y/o manteniendo la integridad de la membrana celular. Sobre los productos antitranspirantes, aunque se utilizan de forma generalizada contra diferentes tipos de estreses abióticos, se dispone de poca información científica sobre su modo de acción contra las heladas y sus resultados no son concluyentes. Por otro lado, los productos bioestimulantes combinan la acción de distintos ingredientes (reguladores osmóticos, crioprotectores y antioxidantes) y han demostrado ser eficaces en distintos cultivos, tanto en condiciones de laboratorio como en ensayos de campo, reduciendo en torno a un 10-20% el porcentaje de flores afectadas en heladas de hasta -3,5°C. Hay que remarcar que la eficacia de todos estos tipos de productos es variable y puede depender del cultivo, la duración de la helada, la dosis utilizada y momento de la aplicación. Aun con todo, presentan la ventaja de que se pueden combinar con el resto de los métodos pasivos y los distintos métodos activos ya implementados en las plantaciones aumentando así la protección contra la bajada momentánea de las temperaturas.

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: redaccion@editorialagricola.com