

MANEJO DEL ESTRÉS EN HUERTOS EN ALTA DENSIDAD



Álvaro Sepúlveda,
Ingeniero Agrónomo Mg. en Horticultura por la Universidad de Talca, es responsable del Laboratorio de Ecofisiología Frutal del Centro de Pomáceas (asepulveda@utalca.cl).



Carlos Téllez Valenzuela,
Ingeniero Agrónomo, Diplomados en Riego Tecnificado y Hormonas Vegetales y Reguladores de Crecimiento., Jefe de Programa de Manzanos en Copefrut S.A. (CarlosTellez@copefrut.com)).

La industria de la manzana, en etapa de recuperación, enfrenta fenómenos como las altas temperaturas, la acumulación térmica excesiva y la menor amplitud térmica diaria afectan directamente la fisiología de los árboles, especialmente en etapas críticas de desarrollo y maduración del fruto.

La industria de la manzana atraviesa una etapa de recuperación marcada por mejores condiciones comerciales, impulsadas en gran parte por el crecimiento sostenido del mercado latinoamericano. Esta reactivación ha devuelto dinamismo a la cadena exportadora y renovado las expectativas del sector productivo tras varias temporadas complejas.

Sin embargo, este escenario favorable se ve amenazado por un clima cada vez más incierto y adverso. Proyecciones para la zona central de Chile al año 2050, realizadas por el profesor Fernando Santibáñez, estiman que la cantidad de días con temperatura máxima superior a 33 °C podría duplicarse respecto de los valores actuales, lo que ya se evidencia en temporadas recientes. Estas condiciones térmicas se han vuelto cada vez más desafiantes para la producción de manzanas.

Fenómenos como las altas temperaturas, la acumulación térmica excesiva y la menor amplitud térmica diaria afectan directamente la fisiología de los árboles, especialmente en etapas críticas de desarrollo y maduración del fruto. El problema se presenta tanto en huertos tradicionales como, con mayor intensidad, en los de alta densidad, cuyo diseño expone más la fruta y la madera; a ello se suma el menor vigor de los árboles, que aumenta su susceptibilidad al estrés.

En este contexto, resulta esencial comprender los efectos del estrés térmico en manzanos manejados en alta densidad, evaluar su impacto fisiológico y productivo, y proponer herramientas prácticas para enfrentar una condición que ya no es excepcional, sino parte del nuevo marco productivo.

EFFECTOS DEL ESTRÉS FOTO TÉRMICO SOBRE LA FRUTA

Altos niveles de radiación solar y temperatura favorecen la fotosíntesis y el crecimiento. Sin embargo, cuando se superan los umbrales fisiológicos y estas condiciones se combinan con baja humedad relativa (HR), la planta responde acumulando compuestos fenólicos que actúan como filtro solar, activando sistemas antioxidantes y proteínas de golpe térmico, así como llegando a cerrar sus estomas para limitar la pérdida de agua. Este cierre prolongado, sumado a noches cálidas, reduce la fotosíntesis neta y disminuye la disponibilidad de asimilados, los cuales se destinan prioritariamente a mantener los sistemas defensivos y reparar estructuras y tejidos, restringiendo el aporte al fruto. Como resultado, se afectan su calibre, la acumulación de azúcares y el desarrollo de color, principales atributos de calidad de la manzana de exportación.

En este escenario, las alteraciones fisiológicas provocadas por el exceso de calor y la baja humedad relativa no solo afectan el funcionamiento general del árbol, sino que inciden de manera decisiva en las etapas de crecimiento y maduración del fruto. Estos cambios y su impacto se abordarán a continuación.

Crecimiento del fruto

Las etapas de división celular (fase inicial) y maduración (fase final) son sensibles a las condiciones ambientales, particularmente a la temperatura. Después de la cuaja, temperaturas elevadas pueden



Figura 1: Mayor incidencia de golpe de sol en lado poniente de la hilera, en árboles débiles o con estado hídrico deficitario. Daño en madera en lado más expuesto al sol. Piel del fruto puede superar en más de 12°C a la del aire. Cambio de posición del fruto ocasiona blanqueamiento que después puede cambiar a café.

favorecer un mayor tamaño potencial del fruto; sin embargo, cuando son excesivas, acortan el período de crecimiento y aceleran la maduración, efecto especialmente marcado en variedades de ciclo corto, como las del grupo 'Gala'.

A medida que el fruto aumenta su volumen, aumenta su exposición al sol y disminuye su capacidad para disipar el exceso de energía incidente, con lo que se incrementa el riesgo de golpe de sol (figura 1). Este daño se inicia con la degradación de clorofilas y la acumulación de carotenoides en las áreas afectadas; la superficie se deforma y el color se altera. Además, en estos tejidos se observa mayor firmeza, acumulación de sorbitol y síntomas asociados a déficit hídrico.

Maduración y condición de la fruta

En ambientes cálidos los frutos crecen rápidamente y desarrollan paredes y membranas celulares menos estables que aquellos de zonas más frías. Esto provoca una maduración acelerada, menor vida de postcosecha y aparición temprana de desórdenes fisiológicos. El estrés térmico en precosecha precipita el cambio



Figura 2: Evolución de Grietas en manzanas 'Gala' desde cosecha a la salida de almacenaje.

de color de fondo y retarda el desarrollo de color rojo. Así, en variedades como 'Gala' puede acentuar problemas como falta de coloración, partidura (cracking) y mayor susceptibilidad a daños mecánicos (figura 2).

Dentro de los problemas citados, la partidura ha sido relevante en temporadas recientes de alto estrés, pudiendo afectar fácilmente a más del 10% de la fruta. El daño consiste en la ruptura de la piel y tejidos subyacentes, cuyas causas incluyen cambios bruscos en la humedad del suelo, fluctuaciones térmicas, exposición prolongada al sol y estrés hídrico. Los frutos afectados suelen presentar piel más delgada y firme —poco elástica—, con alta concentración de azúcares, lo que incrementa su fragilidad frente a variaciones bruscas en el estado hídrico del árbol.

A diferencia del golpe de sol —que se manifiesta en precosecha— el cracking puede avanzar en postcosecha a partir de microgrietas no visibles. Esto favorece la deshidratación, facilita la entrada de patógenos y acelera el deterioro de la pulpa, reduciendo el porcentaje de fruta embalada y su valor comercial.

Al igual que con las grietas, la manzana “estresada” es más sensible a los machucones. Se ha reportado mayor incidencia de este daño en manzanas de baja densidad —grandes, pero livianas— resultado del rápido crecimiento del fruto en temporadas o zonas cálidas, así como de ciertas prácticas de manejo. Además, en fruta con poco color, por su baja acumulación de pigmentos, los impactos resultan más evidentes. El conocimiento de estas manifestaciones en la fruta y su vinculación con las condiciones climáticas y de manejo, constituye

la base para avanzar hacia el siguiente punto: la **cuantificación del estrés**, herramienta clave para evaluar el riesgo y orientar las decisiones en huertos de alta densidad.

CUANTIFICACIÓN DEL ESTRÉS

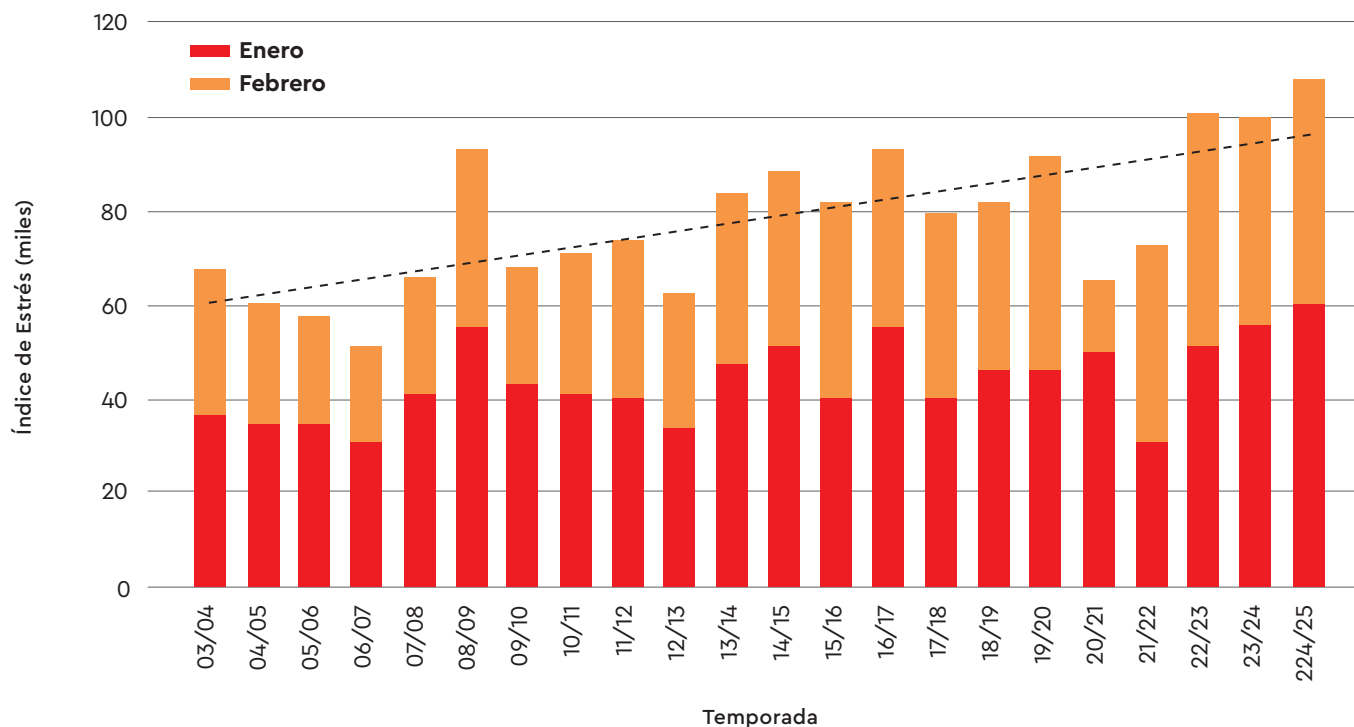
El estrés ambiental puede evaluarse mediante el **déficit de presión de vapor (DPV)** o el **índice de estrés**, indicadores que combinan temperatura y HR para dimensionar la demanda atmosférica de agua. Una alta acumulación del índice de estrés indica una mayor

transpiración potencial y, por tanto, un mayor estrés para el frutal. El índice en las últimas temporadas ha mostrado un aumento sostenido en los meses previos a la cosecha, enero y febrero (figura 3). El Centro de Pomáceas ha propuesto umbrales de 90 unidades de estrés (miles), para la cosecha de Galas y 150 para Fuji, acumuladas desde diciembre. Sobre estos niveles hay mayor riesgo de alteraciones y disminuye el potencial de postcosecha.

Otro parámetro relevante es el número de días con riesgo de daño por sol, definidos como aquellos con al menos 5 horas con temperatura del aire sobre 29°C. En estas condiciones, la piel de una manzana expuesta al sol puede superar en 12–15°C la temperatura ambiente. Si la piel del fruto excede los 42–44°C, por más de 2 horas, el golpe de sol se hace evidente. La repetición

La cantidad de días con temperatura máxima superior a 33 °C podría duplicarse respecto de los valores actuales

Figura 3: Índice de Estrés en enero y febrero desde la temporada 2003–2004 en San Clemente, Región del Maule. Línea indica tendencia del Índice de Estrés acumulado entre el 1 de enero y el 28 de febrero.



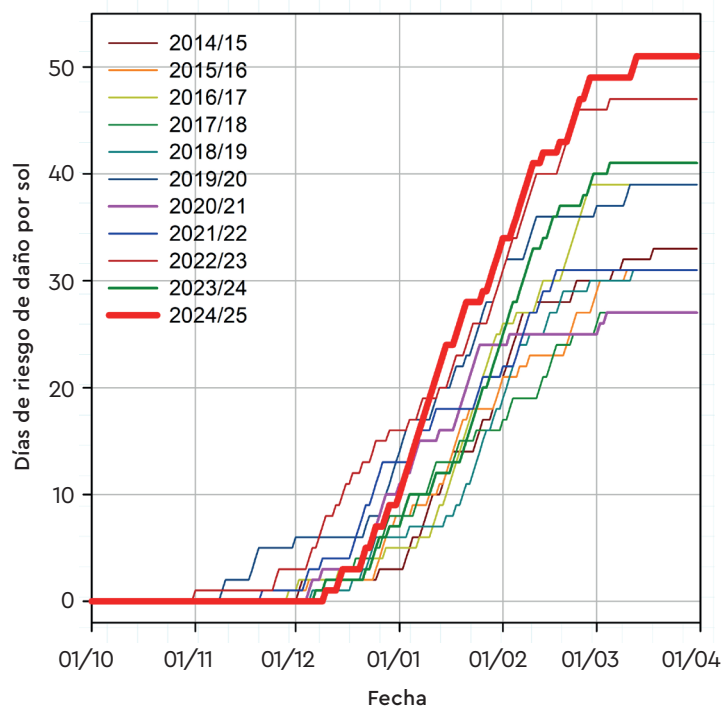
diaria de estos episodios intensifica los síntomas y aumenta las pérdidas. Al revisar este indicador en San Clemente, las últimas tres temporadas se posicionan en el primer lugar con mayor cantidad de días con riesgo de daño por sol en la última década (figura 4).

Cuando las condiciones estresantes ocurren temprano en la temporada, con frutos pequeños, de alta relación superficie/volumen y poca exposición al sol, favorecen su ambientación, mediante la acumulación de compuestos fenólicos protectores.

Los cultivares de corto período de crecimiento suelen mostrar mayor tolerancia al golpe de sol debido al menor tiempo de exposición de sus frutos durante el verano. Sin embargo, este rápido crecimiento también puede generar frutos más sensibles al estrés térmico. Tal situación se observa en las manzanas 'Gala'. Este cultivar es especialmente dependiente de la temperatura y, si bien presenta baja incidencia de golpe de sol por su cosecha temprana, esta misma condición expone su fruta a una maduración rápida y a su recolección en días de alto estrés térmico.

Estos antecedentes refuerzan la necesidad de aplicar estrategias de manejo adaptadas a cada cultivar y condición climática, las cuales se revisan en el siguiente apartado.

Figura 4: Acumulación de Días de riesgo de daño por sol (días con más de 5 horas con temperatura sobre 29°C), desde octubre a marzo en las últimas temporadas en San Clemente, Región del Maule.



AVISO BAYER

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DEL ESTRÉS TÉRMICO

Diseño de huertos

La industria debiera tender hacia proyectos de establecimiento o renovación de huertos considerando nuevos cultivares, con mejor comportamiento en condiciones cálidas, tanto por inviernos menos fríos como por temporadas de crecimiento más cálidas. Cultivares o clones con alta pigmentación y elevada acumulación de compuestos fenólicos permiten garantizar mejor la coloración y contar con más defensa frente a olas de calor.

La orientación de las hileras determina la distribución de luz y el balance térmico del dosel. Para pomáceas, se propone como referencia una orientación cercana a 60° hacia el noroeste (NO), con el fin de homogeneizar la exposición al sol durante las horas de mayor temperatura del día y así reducir la incidencia de golpe de sol (figura 5). Por el contrario, la orientación que más expone uno de los lados del árbol en horas mayor calor es la nortesur, por lo que huertos plantados así deben considerar sistemas de mitigación. El sistema de conducción debe enfocarse en estabilizar la exposición de los frutos durante su crecimiento. Copas fijas —como muros frutales y ejes con soporte— limitan el movimiento de la



Figura 5: Orientación de hilera NO para minimizar exposición al sol en horas de más calor. Proyección de rayos del sol en la cabecera de la hilera a media tarde (Foto del 1 de febrero a las 16:00 h en San Clemente). Muro reduce movimiento de la fruta y logra más ambientación y menos golpe de sol.

fruta por efecto del viento o de las labores, y evitan "ventanas" súbitas de exposición al sol, que pueden provocar blanqueamiento y necrosis en corto tiempo, especialmente en frutos que no han acumulado pigmentos y otros compuestos protectores.

La fruta exterior ubicada en el lado poniente del árbol es la más propensa al estrés foto térmico, especialmente en árboles débiles o con limitación hídrica. Así, en huertos con orientación NO, copa fija y vigor equilibrado, se minimiza en gran medida la incidencia del golpe de sol.

Otra medida a considerar es la mantención de una cubierta vegetal entre las hileras, la cual mejora la biodiversidad, regula la temperatura del suelo, aumenta la infiltración y contrarresta su compactación. No obstante, su manejo debe contemplar la competencia por agua, regulando la altura de corte y realizando supresiones según la fenología del cultivo y la oferta hídrica disponible.

En complemento al diseño y manejo estructural del huerto, la implementación de coberturas protectoras al árbol, como la caolinita, constituye una herramienta eficaz para reducir la carga térmica y la radiación solar directa sobre hojas, madera y frutos.

Cobertura protectora con caolinita

Las aplicaciones de productos a base de caolinita forman una película blanca sobre hojas y frutos que refleja parte de la radiación solar (figura 6). Con una cobertura uniforme, se han reportado



Figura 6: Aplicación de productos en base a caolinitas, con mayor cobertura se logra más eficacia.

AVISO M&M



Figura 7: Enfriamiento evaporativo con aspersores de bajo caudal que se activan en horas de alta temperatura.

reducciones de 3–5°C en la temperatura foliar. Además, favorece la fotosíntesis, modera la transpiración y contribuye a estabilizar el balance hídrico del árbol.

Las formulaciones actuales han mejorado su adherencia y reducido los residuos visibles, incorporando incluso compuestos que refuerzan las defensas naturales de la planta. Se recomienda aplicar de forma preventiva, asegurando una cobertura homogénea de la fruta y el follaje expuesto —especialmente en la cara poniente y en huertos en muro frutal— antes del período de mayores radiación solar y temperatura.

Como complemento o alternativa, el enfriamiento evaporativo ofrece un método activo para reducir la temperatura en hojas y frutos, lo que se aborda en el siguiente apartado.

Enfriamiento evaporativo

Consiste en aplicar agua sobre la copa del árbol mediante aspersores elevados, aprovechando el enfriamiento por su evaporación. Es el método más efectivo para reducir la temperatura de hojas y frutos, y favorece el desarrollo de color rojo.

Entre sus limitaciones se incluyen el alto consumo de agua y energía, el incremento en la presencia de malezas y patógenos, así como el exceso de humedad en el suelo. Su eficiencia es mayor en copas pequeñas y cuando se utilizan emisores de bajo caudal que generan una fina niebla, optimizando la disipación de calor con menor gasto hídrico.

Como alternativa pasiva o complemento, la instalación de mallas sombra permite disminuir la radiación y moderar la temperatura en el dosel, lo que se revisa a continuación.

Una alta acumulación del índice de estrés indica una mayor transpiración potencial

Malla sombra

Reduce la radiación solar incidente, atenuando la temperatura del árbol y disminuyendo el riesgo de golpe de sol. Su efectividad depende del porcentaje de trama, color, diseño y el momento de instalación. A mayor densidad y colores oscuros, se logra mayor protección, aunque con la desventaja de reducir la coloración roja y, potencialmente, afectar la formación de flores para la temporada siguiente. Mallas monofilamento blancas o perla, con trama entre 18% y 23%, no reducen de forma sustancial la radiación solar incidente sobre los árboles, por lo que no afectan el desarrollo de color rojo (figura 8). Además, generan un ambiente más húmedo y menos caluroso, aumentando la eficiencia en el uso del agua. Los árboles bajo estas mallas muestran mayor tasa de fotosíntesis y un potencial xilemático menos negativo. Con ello, se han registrado menores consumos de agua, de hasta un 30%. Las mallas constituyen un sistema pasivo, sin consumo de energía, aunque requieren una alta inversión inicial y mantenimiento periódico.

Mallas más oscuras pueden considerarse para 'Granny Smith', variedad en la que no se busca el desarrollo de color rojo. Sin embargo, es importante cuidar el momento de instalación para evitar la inhibición de la inducción floral y de la síntesis y acumulación de clorofilas, responsables del verdor de la piel. El punto máximo de

estos procesos ocurre en la primera etapa de crecimiento del fruto. Como complemento a la protección física también pueden emplearse aplicaciones foliares con bioestimulantes, como los extractos de algas.

Extractos de algas

Derivados principalmente de *Ascophyllum nodosum*, entre otras algas marinas, aportan compuestos que estimulan la síntesis de fitohormonas (citoquininas, auxinas y giberelinas) y mejoran el estatus osmótico del tejido. El aporte de manitol, polisacáridos y aminoácidos contribuye a mantener la integridad de membranas y pared celular, favoreciendo la recuperación tras eventos de estrés. Su mayor efectividad se logra cuando se aplican de forma preventiva, como durante el crecimiento del fruto o anticipando olas de calor. Es importante verificar la compatibilidad de las mezclas y evitar aplicaciones en horas de máxima temperatura.

Estos bioestimulantes, junto con las estrategias físicas previamente descritas, forman parte de un manejo integrado que puede potenciarse mediante prácticas complementarias frente al estrés térmico.

Protección sanitaria

En sistemas de alta densidad con muro frutal, los troncos y ramas principales quedan más expuestos a la radiación solar directa durante la etapa de establecimiento. La temperatura superficial de la madera puede superar los 45°C, provocando necrosis, rajaduras



Figura 8: Malla sombra perla permite reducir estrés sin afectar procesos fisiológicos del árbol como desarrollo de color o inducción floral.

y debilitamiento estructural. Estas lesiones actúan como puertas de entrada para hongos de la madera, afectando el flujo de savia, el vigor y la producción futura.

La pintura blanca reflectante constituye la primera barrera de protección: diluciones de látex al 50% en agua o pinturas agrícolas específicas ofrecen buena adherencia y capacidad de reflexión, permitiendo reducir entre 6 y 10°C la temperatura del tronco.

En complemento, un programa preventivo dirigido a *Botryosphaeria* spp., *Cytospora* spp. y *Chondrostereum purpureum* debe ejecu-



INNOVACIÓN EN LA RECEPCIÓN Y SEGREGACIÓN DE MANZANAS

MÁQUINA DE RECEPCIÓN DE MANZANAS

- **Pesaje individual** para curvas de calibre exactas.
- **Definición de categoría por color de cubrimiento.**
- **Evaluación de color de fondo** para establecer madurez de guarda.
- **Detección de defectos.**
- **Digitalización de la información.**

**MAYOR PRECISIÓN, MENOR TIEMPO,
MEJORES DECISIONES ;CONTÁCTANOS!**

CONTACTO@PTICHILE.CL

PT&I Chile | Tecnología e Innovación para
la Fruticultura

tarse en invierno o primavera temprana, asegurando cobertura en cortes de poda, grietas y áreas lesionadas por insolación. El uso de adherentes y mojantes es clave para optimizar la distribución y persistencia del producto. Paralelamente, la aplicación de fosfitos de potasio (inducción de SAR) y de micronutrientes como calcio, boro, zinc y manganeso fortalece la integridad de las paredes celulares, la lignificación y la capacidad de respuesta del tejido frente a estrés térmico y patógenos.

Manejo hormonal y reguladores de madurez

Los reguladores tradicionales como el NAA previenen la caída de fruta, pero su acción se concentra en la etapa final de maduración. Frente a veranos cálidos y acumulación térmica elevada, han cobrado relevancia los inhibidores del etileno, cuyo propósito es ralentizar la maduración, reducir la partidura (*cracking*) y extender la ventana de cosecha. Fisiológicamente, el AVG actúa interfiriendo en la biosíntesis del etileno, mientras que el 1-MCP bloquea su acción al intervenir en su percepción a nivel celular. Ambos retrasan los procesos fisiológicos asociados a la maduración. Para lograr resultados consistentes es fundamental un riguroso seguimiento de la madurez, así como la selección precisa de la fruta objetivo para el monitoreo, ya que errores en estos aspectos pueden disminuir la efectividad de la estrategia. Estos inhibidores son especialmente valiosos en zonas tempranas y temporadas de calor, actuando como un "seguro productivo" ante el acortamiento de la ventana de cosecha. Durante la temporada 2024-2025, Copefrut recomendó y facilitó a sus productores el

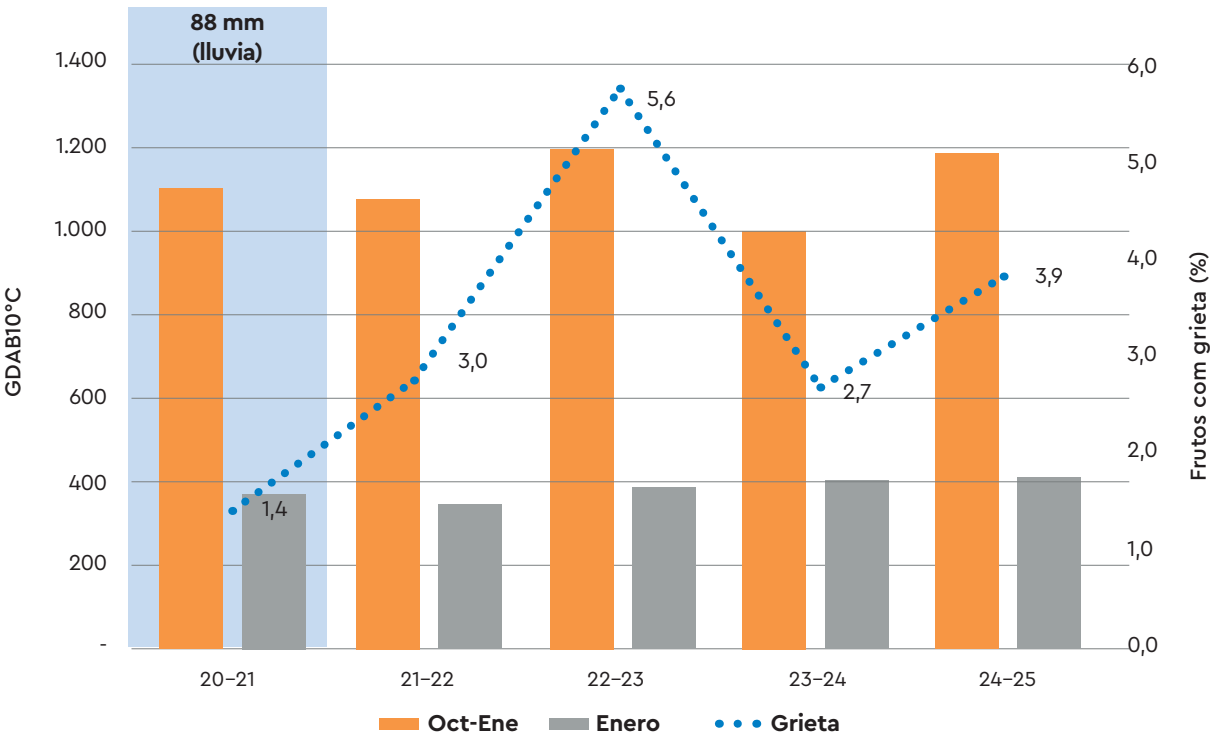
En ambientes cálidos los frutos crecen rápidamente y desarrollan paredes y membranas celulares menos estables

uso de reguladores de etileno en 'Gala', con el fin de anticiparse a los posibles efectos de un verano extremadamente cálido. Los resultados en recepción mostraron un promedio de 3,9% de frutos con grietas a nivel general, frente a un 4,8% de huertos que no aplicaron la estrategia. Cabe destacar que, en la temporada 2022-2023 —la segunda con mayor registro de estrés térmico—, la partidura alcanzó el 5,6% de las manzanas 'Gala' (figura 9).

Manejo hídrico

En huertos de alta densidad, el riego es clave para mitigar el estrés térmico: una oferta estable de agua sostiene la transpiración y el enfriamiento evaporativo, reduciendo la temperatura del dosel. Para evitar esquemas "recetarios" y definir con precisión la demanda y la frecuencia, resulta fundamental priorizar mediciones objetivas mediante sensores de humedad, tensiómetros y estaciones agroclimáticas. De este modo, se ajustan oportunamente las láminas de riego, especialmente bajo condiciones de alta demanda evaporativa. En sistemas intensivos, el menor volumen radicular y el reducido "estanque" de agua hacen que los déficits durante olas de calor amplifiquen el golpe de sol, aceleren la madurez y favorezcan la

Figura 9: Acumulación térmica en GDA (Grados Día en Base 10 °C) entre octubre y enero, GDA durante enero y frutos con grieta (%) de manzana 'Gala' para 5 temporadas en recepción de Copefrut.



aparición de grietas en variedades sensibles como 'Gala'. Este fenómeno se acentúa en suelos aluviales de la zona central, con baja retención debido a la presencia de arenas y piedras. Ante este escenario, conviene anticipar el riego en base a pronósticos —en particular para eventos extremos— e incorporar preenfriamiento hídrico para sostener la apertura estomática, prolongar la fotosíntesis y atenuar el impacto térmico.

El déficit hídrico en el perfil eleva la temperatura del suelo, limita la actividad radicular y restringe la absorción de agua y nutrientes, justo cuando la demanda es máxima. Prácticas como cubiertas de suelo o *mulch* (orgánico o plástico, **figura 10**) y microaspersión dirigida sobre la línea ayudan a estabilizar la humedad y moderar la temperatura del suelo. Complementariamente, en días de alta evaporación, es preferible aumentar la frecuencia de riego con láminas menores, manteniendo un flujo continuo hacia la planta sin saturar el perfil.

VERANOS CADA VEZ MÁS ESTRESANTES

Los veranos se han vuelto cada vez más estresantes para la producción de manzanas. Altos DPV, índice de estrés y número de días con ≥ 5 horas sobre 29°C se asocian a daños por sol, grietas y machucones, así como a fruta de rápida maduración y pérdida de condición. En este contexto, el diseño del huerto es clave para minimizar el efecto del calor extremo. Se recomienda orientar las hileras cerca de 60° hacia el noroeste, emplear sistemas de conducción que limiten la movilidad de la fruta y mantener cubierta vegetal entre hileras.

Es importante elegir cultivares adaptados a condiciones cálidas y portainjertos que permitan equilibrar su vigor cuando se consideren nuevos proyectos o para la renovación de huertos, así como mantener un buen estado sanitario e hídrico del árbol para reducir el efecto nocivo del estrés térmico.

También para mitigar el estrés térmico, es recomendable la aplicación de caolinita y de bioestimulantes a base de extractos de algas, prácticas fáciles de implementar. Sistemas como el enfriamiento



Figura 10: Uso de mulch vegetal y plástico de manera de mejorar humedad y disminuir el estrés en el sistema radicular.

evaporativo y la malla sombra deberían considerarse, no solo para controlar el golpe de sol, sino para mitigar en general los efectos negativos del estrés térmico. Su implementación debe evaluarse en términos de viabilidad operacional y económica.

Es clave un manejo hídrico basado en monitoreo objetivo ya que permite estabilizar oportunamente la oferta de agua y regular la temperatura del árbol. Entre las tácticas disponibles se incluyen el preenfriamiento, el uso de *mulch* y la microaspersión dirigida, así como el ajuste del riego a mayor frecuencia con láminas reducidas frente a eventos de calor extremo. Por su parte, los reguladores de etileno (AVG y 1-MCP) facilitan el manejo en temporadas de temperaturas extremas al controlar la madurez y reducir la caída y la partidura de la manzana.

Resulta esencial comprender los efectos del estrés térmico en manzanos manejados en alta densidad, evaluar su impacto fisiológico y productivo, y proponer herramientas prácticas para enfrentar una condición que ya no es excepcional, sino parte del nuevo marco productivo. **RF**

ALAMBRES CHILE LTDA

**Alambres para la agricultura y la industria.
Alambres de alto y bajo carbono.
Alambres para estructuras de techos.**