

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**ASPECTOS FISIOLÓGICOS Y ALTERNATIVAS DE CONTROL DEL DAÑO POR  
ALTAS TEMPERATURAS EN EL CULTIVO DEL CEREZO (*PRUNUS AVIUM L.*)**

**POR**

**ANGELA MARIANA YEVILAO ÑANCO**

**MEMORIA PRESENTADA A LA FACULTAD  
DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE  
CONCEPCIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN – CHILE  
2025**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS Y ALTERNATIVAS DE CONTROL DEL DAÑO POR  
ALTAS TEMPERATURAS EN EL CULTIVO DEL CEREZO (*PRUNUS AVIUM* L.)**

**POR**

**ANGELA MARIANA YEVILAO ÑANCO**

**MEMORIA PRESENTADA A LA FACULTAD  
DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE  
CONCEPCIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN – CHILE  
2025**

Aprobada por:

Profesor Asociado Richard Bastías I.  
Ing. Agrónomo, M. Sc. Ph.D.

---

Guía

Profesor Asociado Antonio Pinto R.  
Ing. Agrónomo, Mg. Eco. Ag. Ph.D

---

Asesor

Profesor Asistente Miguel Garriga C.  
Lic. Biología, M. Sc. Dr.

---

Asesor

Profesor Asociado Guillermo Wells M.  
Ing. Agrónomo, M. Sc.

---

Decano

**TABLA DE CONTENIDOS**

	<b>Página</b>
Resumen .....	1
Summary.....	1
Introducción .....	2
Desarrollo y Discusión .....	4
Conclusiones .....	18
Referencias .....	19

## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

		<b>Página</b>
Figura 1	Figura 1. Detalle de cerezas con fruto doble proveniente de flores: (A) con dos pistilos; (B) pistilo atrofiado en cerezas “Bing”; (C) sutura profunda en cerezas “Lapins”.....	7
Figura 2	Efecto de la aplicación de altas temperaturas en diferentes períodos sobre la aparición de doble pistilo en cereza “Satohnishiki” .....	8
Figura 3	Nivel de expresión de PaMADS3 en pistilos a dos temperaturas naturales diferentes.....	15
Figura 4	Nivel de expresión de PaMADS4 en pistilos a dos temperaturas naturales diferentes.....	16
Figura 5	Nivel de expresión de PaMADS5 en pistilos a dos temperaturas naturales diferentes.....	16
Tabla 1	Progresión de la formación de pistilos dobles en flores de cerezo para dos localidades de China.....	8
Tabla 2	Efecto del uso de caolinita en la temperatura de aire, fruta y hoja para granado ( <i>Punica granatum</i> L.).....	13

## **ASPECTOS FISIOLÓGICOS Y ALTERNATIVAS DE CONTROL DEL DAÑO POR ALTAS TEMPERATURAS EN EL CULTIVO DEL CEREZO (*PRUNUS AVIUM* L.)**

PHYSIOLOGICAL ASPECTS AND ALTERNATIVES FOR THE CONTROL OF DAMAGE BY HIGH TEMPERATURES IN THE CHERRY (*PRUNUS AVIUM* L.) CROP

**Palabras índice adicionales:** Cambio climático, altas temperaturas, brotación, desarrollo floral, MADS-box, CRISPR/Cas9, *Prunus avium* L.

### **Resumen**

El cerezo (*Prunus avium* L.) ha adquirido una gran importancia económica en la fruticultura chilena durante la última década. Sin embargo, el cambio climático, en particular el aumento de las temperaturas representa una amenaza significativa para la producción y comercialización de este cultivo. Esta monografía presenta una revisión actualizada de los aspectos fisiológicos involucrados y de las alternativas tecnológicas para el control del daño que generan las altas temperaturas en el cultivo del cerezo. Un aumento de temperatura estaría ocasionando un déficit de frío durante el receso invernal, alterando la capacidad de brotación del cerezo, además de inducir pistilos dobles durante la diferenciación floral. Durante la floración, un ascenso de la temperatura afecta la viabilidad de los gametos masculinos y femeninos, con impacto negativo en la fecundación. Finalmente, altas temperaturas pueden afectar el tamaño y color de frutos, al alterar la tasa de división celular y síntesis de antocianinas de estos. El uso de mallas sombra, aplicación de partículas reflectantes y enfriamiento evaporativo son técnicas que pueden ayudar a mitigar los efectos de altas temperaturas en la producción de cerezas. Los avances recientes en herramientas genéticas han permitido identificar genes MADS-box y el posible uso de edición genética como CRISPR/Cas9 para desarrollar en el futuro variedades de cerezo más resistentes al estrés por altas temperaturas.

### **Summary**

Cherry (*Prunus avium* L.) has acquired great importance in Chilean fruit growing during the last decade, positioning itself as one of the country's main fresh export fruits. However, climate change, particularly the increase in temperatures,

represents a significant threat to the production and commercialization of this crop. This monograph presents an updated review of the physiological aspects involved and the technological alternatives to control the damage caused by high temperatures in the cherry crop. A temperature rise would cause a cold deficit during the winter break, altering the cherry tree's ability to sprout, as well as inducing double pistils during floral differentiation. During flowering, a rise in temperature affects the viability of male and female gametes, with a negative impact on fertilization. Finally, high temperatures can affect fruit size and color by altering the rate of cell division and anthocyanin synthesis. The use of shade nets, reflective particles, and evaporative cooling is a technique that can help mitigate the effects of high temperatures on cherry production. Recent advances in genetic tools have made it possible to identify MADS-box genes and the potential use of genetic editing, such as CRISPR/Cas9, to develop cherry varieties that are more resistant to high temperature stress in the future.

## **INTRODUCCIÓN**

El cerezo (*Prunus avium L.*) se ha consolidado como un frutal de gran relevancia para Chile. Desde 2010, el área cultivada con esta especie ha crecido progresivamente, convirtiéndose en el cultivo con mayor extensión según catastros realizados por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) y la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), siendo actualmente la fruta fresca más exportada, con 625 mil toneladas enviadas entre septiembre de 2024 y junio de 2025 (ODEPA, 2025). Las variedades 'Lapins', 'Santina' y 'Regina' lideran las exportaciones de cerezas chilenas, representando alrededor del 80% del total. A estas se suman 'Bing', 'Sweet Heart', 'Royal Dawn', 'Skeena', 'Kordia', 'Rainier' y 'Stella', que completan la lista de las diez variedades más cultivadas y comercializadas en el país según la Asociación de exportadores de Chile (ASOEX, 2024). Este fruto tiene una alta demanda en los mercados internacionales, siendo Asia su principal destino (ITC, 2023). Durante la temporada 2023-2024, este mercado recibió el 91% del total exportado (377.033 toneladas), mientras que Estados Unidos y Europa importaron 14.000 y 3.883 toneladas, respectivamente

(iQonsulting, 2024). Hasta el año 2022, Chile contaba con un total de 61.559 ha cosechadas de cerezas produciendo 443.067 toneladas y con un promedio de 320.613 toneladas por año entre 2018 y 2022 posicionándolo como el primer país exportador de cereza fresca a nivel mundial (iQonsulting, 2024). La mayor parte de las exportaciones de cereza pertenecen a Latinoamérica, con una participación del 53% a nivel mundial (ITC, 2023), en donde Chile exporta el 99% del total en esta región. Debido a esto, los efectos negativos provocados por el clima y que afectan los rendimientos y la calidad de la fruta impactan ampliamente a la economía de los productores y proveedores de servicios de la industria del cerezo en nuestro país. En la actualidad, los efectos adversos del cambio climático es probablemente una de las amenazas más relevante para un sector agropecuario como es el cultivo del cerezo, ya que según la Comisión Nacional de Seguridad y Soberanía Alimentaria (CNSSA), el sector agropecuario se ve particularmente afectado por el cambio climático, teniendo que enfrentar escasez hídrica, erosión de suelos, cambio en los patrones de plagas y enfermedades, cambios en el desarrollo y productividad de los cultivos por variaciones en la temperatura y humedad, estrés por calor en los cultivos y ganado, y eventos climáticos extremos (CNSSA, 2022).

El aumento de temperatura producto del cambio climático afecta a las especies frutales en las distintas etapas fisiológicas del árbol, como es el receso invernal, la diferenciación floral y el crecimiento y desarrollo del fruto (Morón, 2024). Además, existen otros efectos como la menor disponibilidad de agua, inviernos menos fríos y mayor aparición de plagas y enfermedades (MINAGRI, 2022).

Los árboles frutales son sensibles a las altas temperaturas. Se ha descrito que una temperatura superior a los 28 °C tiende a frenar el crecimiento de los cultivos como consecuencia de la aceleración de la respiración, la pérdida de turgencia de los tejidos y el cierre estomático (Santibañez, 2012). La producción de cerezas es dependiente de las condiciones climáticas; así, condiciones de estrés hídrico y térmico luego de finalizar la cosecha inducen la formación de frutos dobles y menor acumulación de reservas para la siguiente temporada (Aliaga, 2017). El grupo de genómica del Centro de Estudios Avanzados en Fruticultura (CEAF) reveló que, en la región de O'Higgins, un 30 % de los frutos de cerezas 'Lapins' y 'Bing'

manifestaron frutos dobles y/o suturas profundas, mientras que en variedades como 'Santina' y 'Royal Rainier' tuvieron una incidencia de 15 %. Todo ello producto de las altas temperaturas durante el año anterior en el proceso de inducción y diferenciación floral (Almada, 2022). Además, altas temperaturas en invierno impiden la correcta acumulación de frío provocando una brotación irregular, tardía o bajo nivel de floración y cuaja de frutos (Salama *et al.*, 2021). De igual manera, se ha descrito que un aumento extremo de la temperatura durante la floración reduce la viabilidad del polen, el tiempo para la fecundación y la longevidad de las flores, afectando con ello negativamente la fructificación (Santibañez, 2012; Hedhly *et al.*, 2007), mientras que durante la cuaja y desarrollo del fruto puede provocar abortos de frutos recién cuajados.

Aun cuando hay antecedentes sobre el efecto que podría estar causando las altas temperaturas en el rendimiento y calidad de la producción de cerezas, todavía se necesita mayor conocimiento acerca de los aspectos fisiológicos que estarían involucrados como también de las alternativas tecnológicas actualmente disponibles para controlar estos efectos en este cultivo. De acuerdo a este planteamiento, la presente monografía busca realizar una revisión actualizada sobre los aspectos fisiológicos del cerezo afectados por altas temperaturas, describiendo cómo estas influyen en el rendimiento y la calidad de la fruta, así como las alternativas tecnológicas actualmente disponibles o en desarrollo para mitigar dichos efectos.

## **DESARROLLO Y DISCUSIÓN**

### **Capítulo I. Aspectos fisiológicos**

Receso invernal. El receso de la yema es un proceso fisiológico vital para frutales de hoja caduca como el cerezo, activado como respuesta a las bajas temperaturas a fines de otoño y durante el invierno (Agustí, 2010; Frías, 2006). Una acumulación adecuada de frío invernal determina la capacidad de brotación y floración con impacto directo en el potencial productivo (Aguilar, 2018; Salama *et al.*, 2021; Luedeling y Blanke, 2013). En este sentido, cada especie o variedad presenta un requerimiento de frío específico, que incluso varía entre tipos de yema. Así, por ejemplo, se ha descrito que las yemas florales requieren menor cantidad de frío en

relación con las yemas vegetativas mientras que en especies de frutales de nuez existen diferencias marcadas en los requerimientos de frío, de 400 a 1.600 h en especies como el nogal (*Juglans regia* L.), 500 a 600 h en pecano (*Carya Illinoensis*) y 800 h aproximadamente en pistacho (*Pistacia vera* L.) (Salaya, 1997).

Medina et al. (2019) realizaron un análisis histórico y de los escenarios futuros para la variación de acumulación de horas frío invernal según los requerimientos de distintas especies frutales durante su receso en ciertas zonas productivas de México. Se observó una variación de horas frío tanto al inicio del receso como al término de este, con una disminución promedio de 45 h durante todo el periodo invernal y para el período comprendido entre los años 1961 y 2010. Respecto a los escenarios futuros, los autores proyectan reducciones progresivas en las superficies con mayor acumulación de frío: en el escenario 2030 (2021-2040) se anticipa una disminución de hasta 11,7 % en el rango de 600-800 h y de 30,5 % en el rango de 800-900 h; en el escenario 2050 (2041-2060), las reducciones alcanzan 25,8 % y 57,1 %, respectivamente; mientras que para el escenario 2070 (2061-2080) las disminuciones llegan a 33 % y 61,6 %, respectivamente. Estos resultados evidencian una tendencia sostenida de pérdida de áreas con acumulación adecuada de frío para el desarrollo de frutales caducifolios en México. Esos mismos resultados fueron obtenidos en España, donde, se evaluó la viabilidad futura de siete especies de frutales, entre ellos el cerezo, proyectando una disminución paulatina en la superficie en que actualmente se cultiva esta especie por falta de frío del orden de un 60 % en un escenario climático intermedio y 90 % aproximadamente frente a un escenario climático extremo para 2071 – 2100 (Rodríguez et al., 2021).

Dentro de las posibles consecuencias de la falta de frío durante el receso invernal se considera la brotación errática e irregular que conlleva a una menor cantidad y calidad de la fruta (Medina et al., 2019), así como también el desarrollo irregular de órganos florales femeninos. Wang et al. (2019) y Mahmood et al. (2000) estudiaron el efecto en plantas de cerezo ‘Stella’ expuestas a distinta cantidad de horas de frío (360, 720, 1.080 y 1.440 horas). Como resultado, obtuvieron que una mayor acumulación de frío se refleja en menor tiempo hasta la brotación,

estimulando un mayor crecimiento vegetativo, tamaño de las flores y cuajado de frutos. Por otro lado, un ascenso de la temperatura en el periodo de post-enfriamiento tuvo un efecto contrario, reduciendo la capacidad de brotación de las yemas y el crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas.

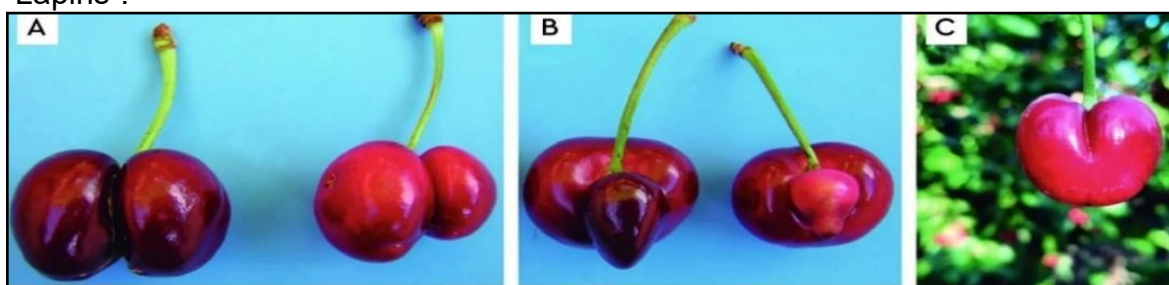
Por lo anterior, existe la necesidad de calibrar los actuales modelos para determinar la acumulación de frío invernal en frutales y que consideren el impacto del alza en la temperatura. Por años el método más utilizado para el cálculo de requerimientos de frío invernal es el modelo “Weinberger” que contabiliza las horas en que la temperatura se mueve en un rango entre 0 y 7 °C (Weinberger, 1950). Sin embargo, este tipo de modelos en la actualidad no se estarían ajustando a los efectos del incremento de temperatura, siendo menos precisos en zonas cálidas o con fluctuaciones térmicas producto del cambio climático (Lüdeling, 2013). Un segundo método es el modelo “Utah” (Richardson *et al.*, 1974) que utiliza el concepto de unidades de frío, ponderándolas según la temperatura, y que permite restar frío acumulado bajo temperaturas cálidas. Por último, se encuentra el modelo “dinámico” (Erez y Couvillon, 1987) que es el más preciso actualmente (Lüdeling, 2013). Este propone que el proceso de acumulación de frío no es lineal ni totalmente reversible, utilizando de esta manera el término de porciones de frío.

En cerezo, Mahmood *et al.* (2000) evaluaron el impacto de la acumulación de frío mediante el modelo Utah en tres cultivares (‘Stella’, ‘Summit’ y ‘Sunburst’). El mejor resultado de brotación se obtuvo a temperaturas cercanas a 3,2 °C para ‘Stella’ y ‘Summit’ y 3,7 °C para ‘Sunburst’, requiriéndose entre 1.081 y 1.214 horas de exposición a dichas temperaturas para satisfacer el requerimiento de frío. El estudio demostró que existen rangos de temperatura acotados que permiten una brotación óptima en el cerezo.

Diferenciación floral. La etapa reproductiva de la planta es la más sensible al estrés térmico, presentando un umbral de tolerancia estrecho que varía según la especie y la fase fenológica, pero que en muchos cultivos se sitúa en torno a los 27 – 32 °C, rango en el cual pueden producirse reducciones significativas en cuajado y rendimiento (Porter y Semenov, 2005). En el caso del cerezo la etapa de desarrollo de la yema floral es muy sensible a variaciones extremas de temperatura (Limia,

2022; Hedhly *et al.*, 2007; Hedhly, 2011). Se ha reportado que altas temperaturas a inicios de verano, específicamente incrementos hasta aproximadamente 20 – 21 °C en comparación con temperaturas más bajas de 12 – 15 °C, incrementaron el número y la proporción de yemas florales muertas o latentes en variedades de cerezo Lapins y Van, en comparación con aquellos árboles en que no existió este ascenso de temperatura (Sønsteby y Heide, 2019). Asimismo, cuando la temperatura del aire supera los 30 °C puede inducir mal formación de estructuras florales durante el periodo de diferenciación de la yema floral, dando origen a pistilos dobles y posteriormente a frutos dobles (Figura 1).

Figura 1. Detalle de cerezas con fruto doble proveniente de flores: (A) con dos pistilos; (B) pistilo atrofiado en cerezas “Bing”; (C) sutura profunda en cerezas “Lapins”.



Fuente: Bastías *et al.*, 2024

Aparentemente, la diferencia térmica entre localidades juega un rol relevante en la incidencia de frutos dobles en cerezos. Un estudio desarrollado en China demostró que en la localidad de Shanghai en que la temperatura media diaria supera los 30 °C y la temperatura máxima alcanza los 35 °C, la presencia de pistilos dobles fue un 70 % superior en comparación a la localidad de Dalian en que la incidencia de pistilos dobles alcanzó solo un 2 %, y en cuya localidad la temperatura media diaria es de 25,4 °C y la temperatura máxima alcanza los 30 °C (Tabla 1; Wang *et al.*, 2019).

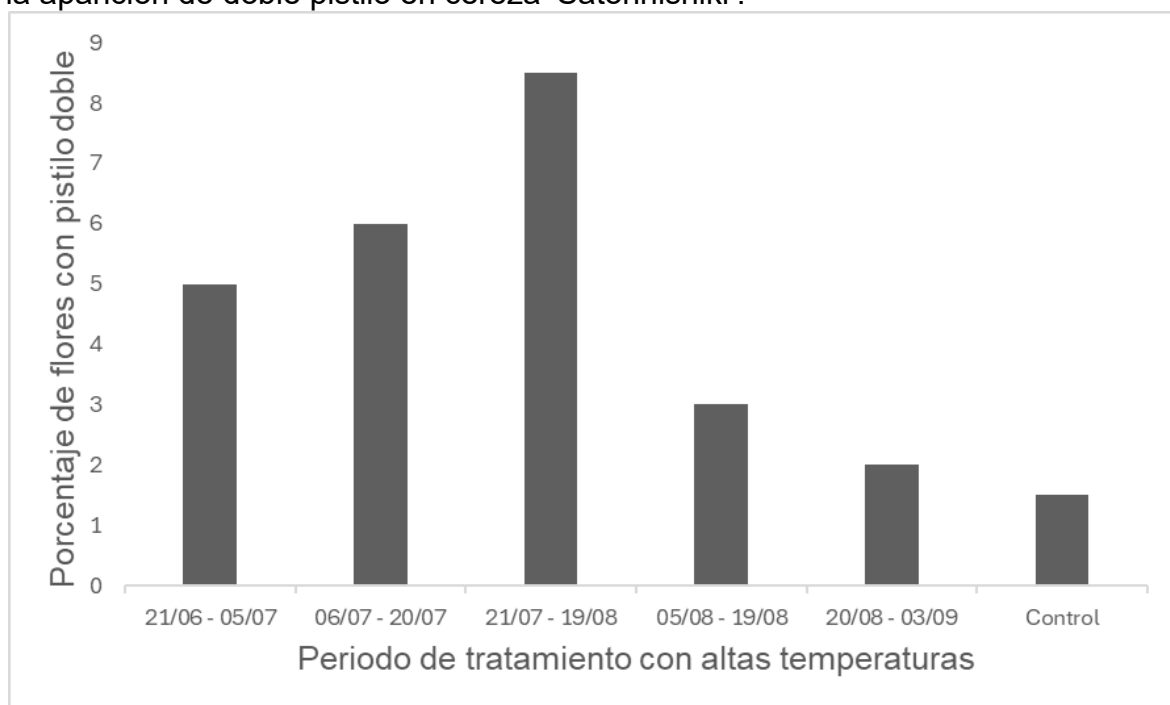
Por otra parte, Beppu *et al.* (2000) evaluaron en la variedad de cerezo Satohnishiki el efecto de altas temperaturas (35 °C día/ 25 °C noche) en diferentes periodos del inicio y diferenciación floral, con el fin de determinar la etapa más sensible a altas temperaturas en cuanto a la incidencia de doble pistilo (Figura 2).

Tabla 1. Progresión de la formación de pistilos dobles en flores de cerezo para dos localidades de China.

Localidades	Fechas de monitoreo	Flores con pistilos dobles (%)
Shanghai	10 Agosto	38,5
	20 Agosto	55,0
	31 Agosto	71,4
	10 Septiembre	73,8
	20 Septiembre	71,8
Dalian	10 Agosto	0
	20 Agosto	0
	31 Agosto	0
	10 Septiembre	2,0
	20 Septiembre	0

Adaptado de Wang *et al.*, 2019

Figura 2. Efecto de la aplicación de altas temperaturas en diferentes periodos sobre la aparición de doble pistilo en cereza 'Satohnishiki'.



Adaptado de Beppu *et al.* (2000)

El trabajo demostró que el incremento de la temperatura en el estado de diferenciación floral de sépalo y pétalos indujo una mayor cantidad de dobles pistilos.

**Polinización y fecundación.** Las altas temperaturas también ejercen un efecto en

los procesos de polinización y fecundación en el cerezo (Webster y Looney, 1995). Al respecto, se ha indicado que cuando la temperatura del aire supera los 32 °C aumenta la probabilidad de generar óvulos infértiles, reduciendo el cuajado de frutos (Hedhly *et al.*, 2007; Fadon *et al.*, 2015). Del mismo modo, con temperaturas de 28 °C – 32 °C promueven la aceleración del desarrollo de la flor y de sus órganos. Esto permite adelantar y acortar el periodo de crecimiento y maduración de los frutos (Blanco *et al.*, 2019b); también podría tener consecuencias negativas al reducir el diámetro, peso del fruto, firmeza y contenido de sólidos solubles (Blanke *et al.*, 2017).

Por otra parte, valores de temperaturas entre 12 °C y 24 °C, dependiendo de la variedad, durante el desarrollo de gametos femeninos, afectan la viabilidad floral al acelerar el desarrollo del estigma (Zhang *et al.*, 2018) y del óvulo. A temperaturas sobre 25 °C (Lemus, 2020), se reduce el tiempo de receptividad del polen por parte de los estigmas de la flor (Hedhly *et al.*, 2003). De igual manera, un aumento de la temperatura en valores cercanos a los 30 °C afecta el desarrollo de gametos masculinos, afectando la cantidad y morfología del polen, así como también su composición química y metabolismo. Esto podría provocar una reducción de la cantidad disponible de polen, su viabilidad y capacidad germinativa (Hedhly *et al.*, 2009; Hedhly, 2011; Zhang *et al.*, 2018; Walters e Isaac, 2023).

Además, un aumento de la temperatura durante el periodo de floración podría afectar la actividad de los polinizadores. Esto puede deberse a dos causas: al alterar la fenología de la floración puede afectar a los polinizadores y su interacción con la planta (Elzinga *et al.*, 2007; Hedhly *et al.*, 2009; Memmott *et al.*, 2007; Eeraerts, 2023) y por el efecto directo de las altas temperaturas en la actividad de abejas y otros insectos polinizadores. En este sentido, hay que considerar que la temperatura óptima para la actividad de abejas está en el rango de 14 °C a 25 °C (Lemus, 2020) y cuando la temperatura sobrepasa ese umbral disminuyen su actividad.

Crecimiento y desarrollo del fruto. El efecto de altas temperaturas sobre el crecimiento y desarrollo del fruto en cerezo está relacionado a dos aspectos fisiológicos. El primero, por su efecto directo en la tasa de división celular durante los primeros estados de desarrollo del fruto y el segundo, al impactar en la relación

fuente-sumidero (Webster y Looney, 1995). En diferentes especies de frutos se ha determinado que un aumento de la temperatura primaveral impacta directamente en el tamaño de frutos, por el efecto positivo de la acumulación térmica en la tasa de división celular. Esto ha sido documentado en manzano (*Malus Domestica* Borkh.) por Warrington et al. (1999), quienes evaluaron el efecto de las temperaturas sobre el crecimiento de las manzanas en tres etapas, en días después de plena floración (DDPF): división celular (10 a 40 DDPF), división y expansión celular (10 a 80 DDPF) y expansión celular (40 a 80 DDPF). En este caso se demostró que los frutos crecieron hasta 4 veces más rápido cuando hubo un ascenso de la temperatura durante el estado de 10 – 40 DDPF.

Lo anterior también ha sido demostrado por Lopez y DeJong (2007) en otras especies de carozo como el duraznero (*Prunus persica* L.) quienes evaluaron el comportamiento en tres localidades distintas, concluyendo que mientras más calor acumule el árbol en los primeros 30 días después de la floración completa, más rápida es la tasa de crecimiento del fruto. Para el caso del cerezo, se ha indicado que altas temperaturas acortan el ciclo de crecimiento (Ortuño-Hernández *et al.*, 2025) e indirectamente pueden afectar la división celular. En este sentido, Unesik y Stampar (2011) trabajando con cerezas 'Burlat' y 'Germersdorfer', demostraron que un ascenso de temperatura acortó el periodo total del desarrollo del fruto en 7 y 11 días, respectivamente, a partir de lo cual se podría inferir que a su vez se acorta la primera etapa de división celular limitando el número de células del fruto.

En cuanto a la relación fuente-sumidero hay que considerar que la producción de carbohidratos en las hojas a través de la fotosíntesis tiene una influencia clave en el crecimiento, desarrollo y calidad de la fruta en árboles frutales y, en el caso del cerezo, contribuye significativamente a la productividad (Zhang *et al.*, 2023). Al respecto, se ha señalado que altas temperaturas durante el verano reducen la actividad fotosintética en hojas del cerezo, debido al cierre estomático por estrés y, por ende, disminuyen la cantidad de carbohidratos tanto para el crecimiento de frutos como para la acumulación de reservas disponibles para la siguiente temporada (Beppu *et al.*, 2003; Marsal *et al.*, 2009). Esto podría estar afectando el potencial de crecimiento y tamaño de frutos en la siguiente temporada, ya que se

ha determinado que los frutos de cerezo son muy demandantes de carbohidratos de reserva durante sus primeras etapas de desarrollo, dado que las hojas en los primeros estados de desarrollo de flores y frutos se encuentran muy poco desarrolladas (Ayala y Lang, 2015).

Otro efecto del aumento de la temperatura es la alteración del crecimiento vegetativo de brotes, aumentando la competencia por foto-asimilados (Ayala y Lang, 2015), o también frenando anticipadamente el desarrollo de hojas y su capacidad fotosintética. En este sentido, Santibáñez (2012) indicó que cuando la temperatura se eleva a valores por sobre los 32 °C la fotosíntesis en estas especies frutales se reduce al mínimo o se detiene por completo.

Finalmente, cabe destacar que, dentro del proceso de desarrollo de frutos, una alta temperatura también puede alterar aspectos de maduración y desarrollo de color en cerezas. Tan et al. (2023) observaron que la acumulación de antocianinas, pigmento responsable del color rojo del fruto, se vio disminuida en la piel de cerezas cuando fueron expuestas a un régimen de temperatura día/noche de 34 °C / 24 °C, respectivamente. Mientras que la síntesis de este pigmento no se vio alterada con un régimen de temperatura menor y de 24 °C / 14 °C, mostrando como resultado que con el tratamiento a alta temperatura las cerezas contenían solo un tercio de la cantidad de antocianinas que el tratamiento normal, impactando con ello negativamente en el desarrollo de color de frutos.

## **Capítulo II. Alternativas de control.**

Protección de cultivo con mallas. El uso de mallas se ha propuesto como una alternativa para proteger los cultivos frutales del daño por exceso de altas temperaturas (Bastías y Boini, 2022). Beppu y Kataoka (2011) e Imrak et al. (2014) indicaron que, al reducir las altas temperaturas a través de la instalación de un sistema de sombreado con mallas, se redujo la formación de frutos dobles en cerezo 'Na-1', 'Early Van Compact', 'Lapins', 'Bing Spur' y 'Cristobalina'. En 2020, un proyecto de innovación realizado por la empresa Abus&Cia y apoyado por FIA obtuvo como resultado un aumento de 1 a 1,5 g en el peso del fruto de cerezo al utilizar cobertores plásticos (MINAGRI, 2020). Estudios recientes han evaluado el

efecto de diferentes colores y diseños de malla sobre la fisiología de los árboles y la calidad del fruto. Meza-Araya et al. (2025) observaron que mallas gris perla y gris azulado fueron efectivas reduciendo la incidencia de frutos dobles en cerezo 'Lapins' (80 %), 'Santina' (89 %) y 'Regina' (90 %) al modificar significativamente la radiación solar incidente sobre el dosel y asociarse con menores temperaturas en las yemas durante la diferenciación floral. Estas mallas también fueron eficaces para reducir la incidencia de sutura profunda severa; sin embargo, no fue así para casos leves o moderados de sutura profunda en cerezo. En manzano, Olivares-Soto et al. (2020) observaron que mallas rojas con 20 % de sombreado disminuyeron en un 15% las quemaduras solares en 'Gala Brookfield' y bajo malla perlada con 20 % de sombreado disminuyó en un 4 % las quemaduras solares en 'Fuji Raku Raku'. Además, influyó en parámetros bioquímicos como la concentración de polifenoles y antocianinas, dependiendo del cultivar. Salazar-Canales et al. (2021) observaron en avellano (*Corylus avellana* L.) que el uso de mallas fotoselectivas color gris perla incrementó el rendimiento acumulado de fruto en un 12 % respecto al control y 20 % en comparación a la malla color gris azulada debido a la cantidad de luz difusa disponible para la planta.

En conjunto, Olivares-Soto et al. (2020), Salazar-Canales et al. (2021) y Meza-Araya et al. (2025) coinciden en que el color y la densidad de las mallas fotoselectivas afectan de diferente manera la intensidad de la radiación solar y otras condiciones microclimáticas. El uso de mallas fotoselectivas con baja densidad puede incluso mejorar la eficiencia fotosintética y la calidad del fruto, sin afectar la brotación ni el crecimiento vegetativo (Aoun y Manja, 2020). Es importante considerar que los cambios en microclima generados por el uso de mallas, como un ambiente más cálido y con menor radiación, pueden también afectar la actividad de polinizadores, ya que se ha demostrado que condiciones de este tipo dificultan la actividad de las abejas durante la polinización (Predieri *et al.*, 2003).

Partículas reflectantes. El uso de partículas reflectantes del tipo mineral como caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) es una herramienta eficaz, que es químicamente inerte, no tóxica, no abrasiva y fácilmente dispersable en agua (Brito *et al.*, 2019). La protección solar con caolinita es una de las medidas de control más conocida y

utilizadas en cultivos frutales; se usa principalmente para prevenir y/o reducir quemaduras solares en la fruta, así como también reducir el estrés de post cosecha (Wenden *et al.*, 2017). Su aplicación ha sido útil para evitar la pérdida de agua transpirada y mantener la conductancia estomática de la hoja, mejorando con ello el estado hídrico en las plantas (Brito *et al.*, 2019). No obstante, existen trabajos que han reportado que su uso provoca un descenso en la asimilación de CO<sub>2</sub> y en la acumulación de reservas en la planta (Marsal *et al.*, 2009).

Melgarejo *et al.* (2004) probó la efectividad de caolinita como protector solar a las altas temperaturas en el cultivo de granado (*Punica granatum* L.) reduciendo el daño por sol en un 22 %. Además, en su trabajo se demostró que el uso de este tipo de producto reduce la temperatura de fruto y hoja en 5 y 3 °C, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto del uso de caolinita en la temperatura de aire, fruta y hoja para granado (*Punica granatum* L.)

	Control	Caolinita
Aire (°C)	40,5	40,5
Fruta (°C)	47,1±2,7a	42,2±1,7b
Hoja (°C)	38,1±2,0a	35,6±2.1b

Tabla recuperada de Melgarejo *et al.* (2004)

Diferentes letras en las filas muestran diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) mediante la prueba *t* Student.

Por otro lado, Weerankkody *et al.* (2010) corroboraron este resultado, reduciendo las quemaduras solares en frutos de granado (*Punica granatum* L.) de 25,8 % a 14,7 %. Kuden *et al.* (2020) trabajando en cerezo, obtuvieron resultados positivos con el uso de caolinita, aplicada durante las tres semanas posteriores a la cosecha, logrando una disminución de la temperatura de la hoja y yemas en 6,9 °C respecto al control durante el periodo de diferenciación floral, disminuyendo con ello la cantidad de frutos dobles y aumentando actividad fotosintética de las hojas.

Enfriamiento evaporativo. El enfriamiento evaporativo consiste en la aplicación de agua por encima de los árboles para reducir la temperatura de hojas y frutos. En

Chile, Yuri et al. (2004) comprobaron que el riego evaporativo redujo el daño por quemaduras solares en manzanas, disminuyendo la temperatura superficial de la fruta. Por su parte, Lemus (2005), en un estudio realizado en cerezos en Chile, recomienda la realización de riego por aspersion intermitente sobre la copa durante el verano, desde el mediodía hasta el atardecer, considerando que las fechas de cosecha y postcosecha coinciden con esta estación. Este manejo permite mantener la temperatura foliar por debajo de los 35 °C, fundamental para prevenir desórdenes fisiológicos como suturas y frutos dobles, los cuales se originan cuando el estrés térmico afecta la diferenciación y desarrollo de las yemas florales y los tejidos del fruto, alterando su formación y calidad

Kuden et al. (2020) demostraron que el enfriamiento evaporativo resulta ser un método eficaz para bajar la temperatura en hojas de cerezos en valores cercanos a 7 °C, siendo con ello más efectivo que otros métodos para reducir la incidencia de frutos dobles y aumentar la capacidad fotosintética de los árboles. Si bien el método funciona, su utilización es de alto costo y sería poco sustentable frente a la escasez de agua. Además, se debe aplicar agua de calidad, ya que si esta no es óptima, se corre el riesgo de deposición de sales y otros residuos (Almada, 2022).

Herramientas génicas: Genes MADS-box. Los genes MADS-box regulan el desarrollo de órganos florales. Wang et al. (2019) analizaron la expresión de 3 genes PaMADS 3, PaMADS 4 y PaMADS 5. En dicha investigación mediante un análisis de PCR cuantitativo, se determinó que los tres genes (PaMADS 3/4/5) se expresan durante la diferenciación del pistilo y que la expresión de estos es significativamente mayor en zonas con condiciones climáticas más cálidas (Figura 3, Figura 4 y Figura 5). Además, en este estudio se identificó el Elemento de Choque Térmico (HSE) y se analizaron los elementos que actúan en cis del promotor de PaMADS 3, es decir, secuencias de ADN cercanas al gen que regulan su expresión en respuesta a estímulos como el estrés térmico. De esta manera, se demostró que el HSE está involucrado en la respuesta al estrés térmico en la región promotora del gen PaMADS 3, sugiriendo que este es un gen inducido por altas temperaturas. Estos mismos autores encontraron que el calor induce la expresión de PaMADS3 en cerezas y que, en consecuencia, co-regulan la formación de múltiples pistilos.

La investigación y análisis para comprender el mecanismo molecular de la formación de múltiples pistilos proporcionan una base teórica para nuevas variedades de cereza, permitiendo mejorar la calidad y resistencia de la planta y de los frutos. Posteriormente, Wang et al. (2022) estudiaron la expresión del gen FRUITFULL, perteneciente a la Clase A que regula la formación de sépalos-pétalos, lo que lo relaciona con la formación de múltiples pistilos, concluyendo que al reprimir la expresión de este gen se podría evitar la aparición de múltiples pistilos en cerezas frente a las altas temperaturas.

Figura 3. Nivel de expresión de PaMADS3 en pistilos a dos temperaturas naturales diferentes.

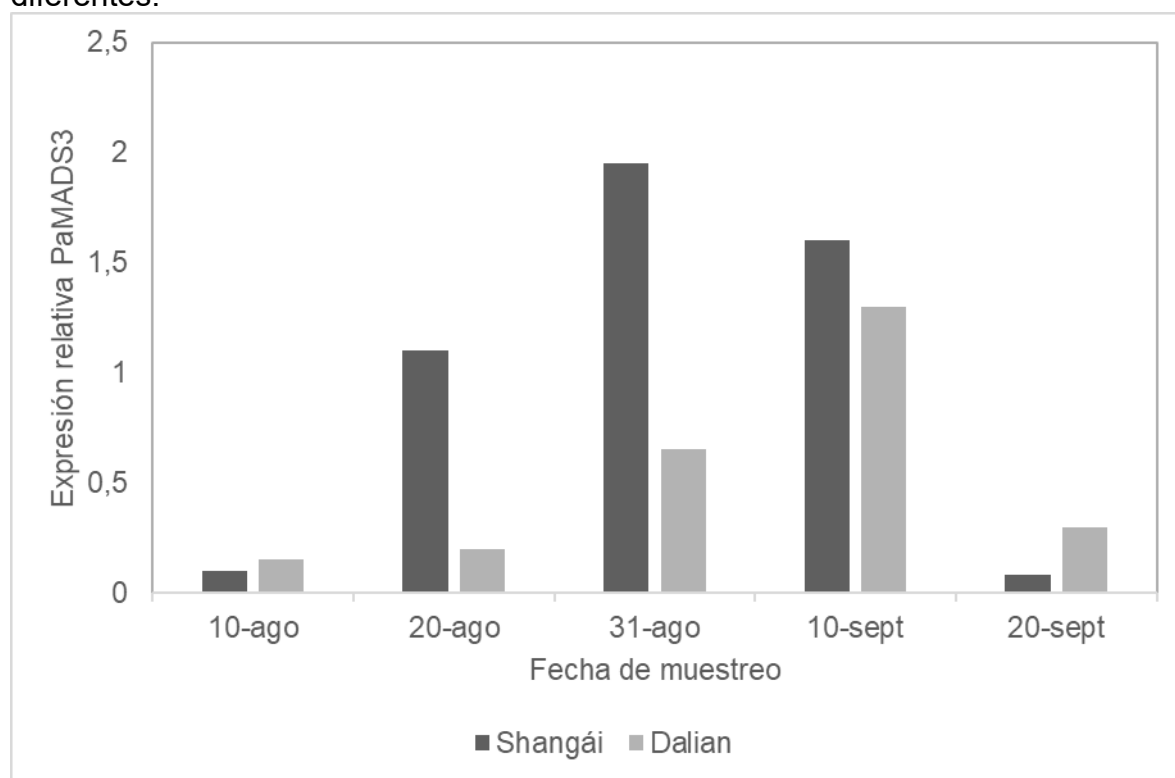


Gráfico adaptado y recuperado de Wang *et al.*, 2019

**CRISPR/Cas9.** La edición genética es un término general que abarca diversas tecnologías capaces de modificar el ADN de un organismo de forma precisa. Entre estas, CRISPR-Cas9 es actualmente la técnica más conocida y utilizada debido a su alta eficiencia y precisión, aunque existen otros métodos como TALENs, ZFNs y nucleasas personalizadas.

Figura 4. Nivel de expresión de PaMADS4 en pistilos a dos temperaturas naturales diferentes

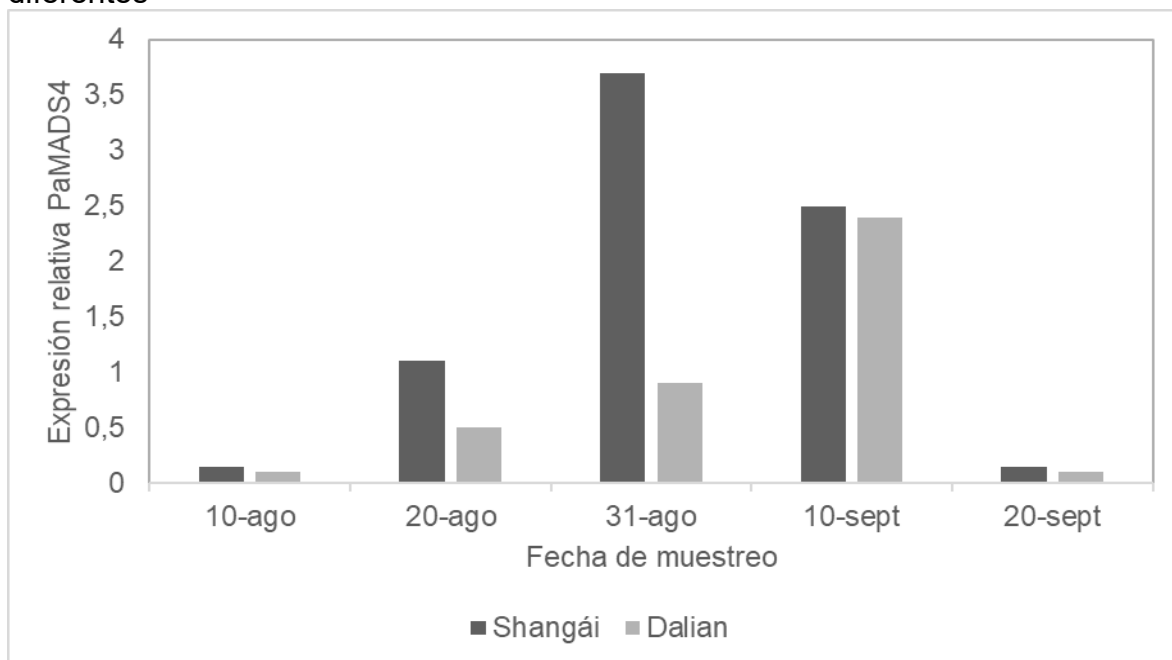


Gráfico adaptado y recuperado de Wang *et al.*, 2019

Figura 5. Nivel de expresión de PaMADS5 en pistilos a dos temperaturas naturales diferentes

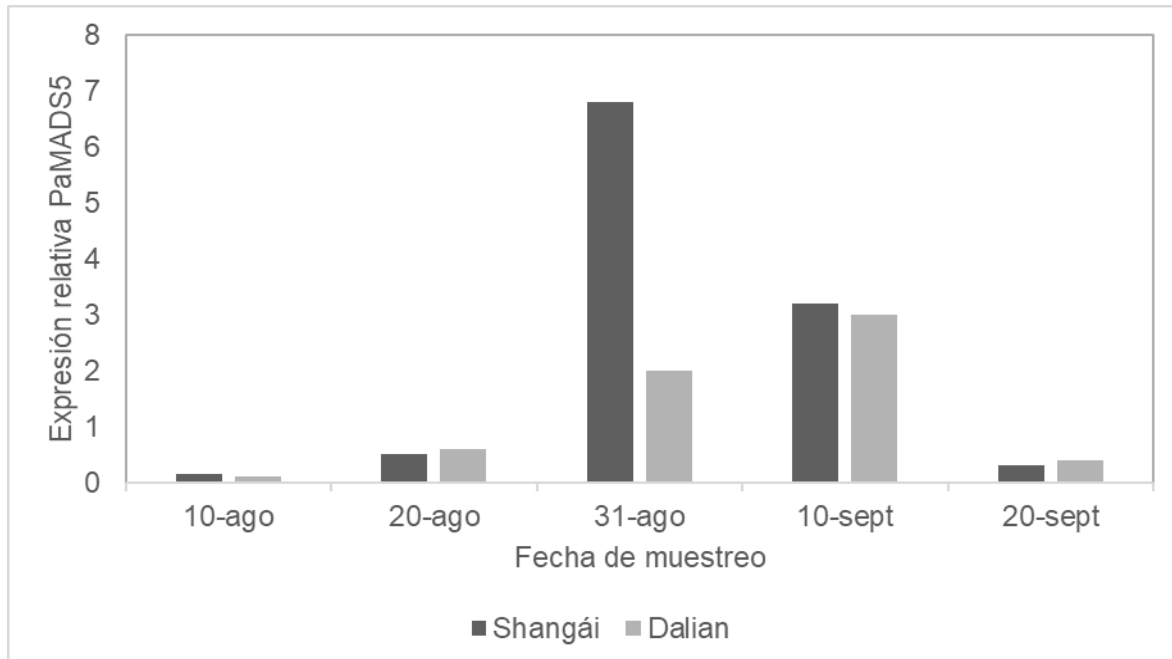


Gráfico adaptado y recuperado de Wang *et al.*, 2019

En la presente monografía, se aborda el sistema CRISPR/Cas9 principalmente por su relevancia y amplio uso en la mejora de cultivos. Este sistema, basado en un

mecanismo natural presente en bacterias, utiliza la enzima Cas9 para reconocer y cortar sitios específicos del genoma, permitiendo eliminar, corregir o insertar características en las especies (Agrawal *et al.*, 2024). En Chile, existe un proyecto anillo de investigación “Plant Abiotic Stress for a Sustainable Agriculture (PASSA)”, liderado por la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, INIA La Cruz y la Universidad Arturo Prat, el cual busca generar, a través de la biotecnología, nuevos conocimientos para mejorar la tolerancia de las plantas al estrés abiótico provocado por los efectos del cambio climático. Este sistema permite ejecutar modificaciones genéticas precisas, dirigidas e inserción en sitios específicos, así como corrección de errores (Wang *et al.*, 2025). Estudios recientes han demostrado la eficacia de este método, disminuyendo, por ejemplo, glutelinas de tipo B (GluB) en arroz (*Oryza sativa* L.), disminuyendo su expresión genética respecto al arroz “salvaje o nativo”, de esta manera, se puede crear una variedad de arroz apta para personas alérgicas al gluten (AlHusnain *et al.*, 2024). Otro estudio logró modificación de TMS5 induciendo la esterilidad masculina termosensible (>24 °C) en Huahang 48 y simultáneamente editar FGR generando 2-AP, compuesto responsable de la fragancia característica del arroz, transformándolo en una línea masculina estéril superior: Huahang 48s (Chen *et al.*, 2025). Por otro lado, se logró la esterilidad masculina en maíz (*Zea mays* L.), generando la mutación Ms26ΔE5, que inactiva parte del gen Ms26 (gen relacionado con la fertilidad masculina) garantizando cruzamiento controlados, permitiendo híbridos limpios, asegurando mejor productividad, rendimiento y calidad del grano (Hou *et al.*, 2024).

En frutales, durante la última década, se ha aplicado esta tecnología con el fin de mejorar la calidad y tolerancia al estrés. Tripathi *et al.* (2019) utilizaron esta tecnología en plátano (*Musa spp*) mejorando su tolerancia al estrés hídrico y para el control de la patogénesis viral. Respecto a esta misma fruta, Tripathi *et al.* (2021), logró generar resistencia a la marchitez del plátano provocada por *Xanthomonas* spp. Por otro lado, Hu *et al.* (2021) lograron, mediante esta tecnología, alargar la vida útil del plátano, alcanzando hasta 40 días de diferencia con la fruta no modificada. En uva (*Vitis vinifera* L.) también se han obtenido resultados favorables como una mayor acumulación de antocianinas (Sunitha y Rock, 2020), resistencia

a botritis (*Botrytis cinérea*) (Wang *et al.*, 2018a), al mildiu (*Plasmopara viticola*) (Li *et al.*, 2020), entre otras investigaciones realizadas en cítricos, papaya, manzana y frutilla (Chauhan *et al.*, 2025)

Sin embargo, a pesar de los resultados positivos obtenidos en las diversas investigaciones, se requiere estandarizar protocolos para que la tecnología CRISPR/Cas se pueda implementar de forma exitosa, además de que actualmente cada país tiene distintas limitaciones legislativas respecto a los organismos genéticamente modificados. Por otro lado, a pesar de tener una alta eficacia y especificidad, se han producido mutaciones no deseadas. Aunque no son mutaciones críticas, se debe ampliar su investigación en ese sentido (Martin-Valmaseda *et al.*, 2023; Ambika *et al.*, 2024).

Esta tecnología permite una modificación precisa a rasgos deseables en los cultivos, tanto en cualidades organolépticas del fruto como en resistencia al estrés del árbol, sin la introducción de transgenes, haciéndolos así más aceptados por la población y entidades regulatorias. Además, puede combatir las pérdidas de rendimiento en pre- y postcosecha (Chovatiya *et al.*, 2024), además de acortar el periodo de tiempo necesario para obtener variedades con las características deseadas comercialmente, al permitir la introducción simultánea de las mejoras necesarias (Chauhan *et al.*, 2025).

## **CONCLUSIONES**

El aumento de la temperatura ambiental, producto del cambio climático, afecta múltiples etapas del desarrollo del cerezo (*Prunus avium* L.). La reducción de frío invernal interfiere con la dormancia de las yemas, provocando brotación irregular y disminución en la cantidad y calidad del fruto. Durante la diferenciación floral, las altas temperaturas inducen malformaciones como múltiples pistilos, comprometiendo su calidad comercial. En floración, afectan la viabilidad del polen y la fecundación, mientras que el acortamiento del ciclo de crecimiento reduce el calibre y la firmeza del fruto. Además, el estrés térmico limita la fotosíntesis a través del cierre estomático, disminuye la acumulación de carbohidratos y la síntesis de antocianinas, afectando el rendimiento y coloración del fruto.

Frente a estos desafíos, el uso de mallas de sombreado, caolinita y enfriamiento evaporativo, ha demostrado eficacia para reducir el estrés térmico.

Las herramientas genéticas, como los genes MADS-box y el uso de CRISPR/Cas9, abren nuevas opciones de adaptación a estrés biótico y abiótico en cereza.

## REFERENCIAS

1. Agrawal, S., Kumar, P., Das, R., Singh, K., Singh, N., Singh, S., Singh, A. K., Shukla, P. K., Rajput, V. D., Minkina, T., Bhattacharya, I., Mishra, S. K., & Tiwari, K. N. (2024). Plant genome editing technologies: An updated overview. En *Interdisciplinary Biotechnological Advances* (pp. 1–23). Springer Nature Singapore.
2. Aguilar Alínquer, B. (2018). El suelo de cultivo y las condiciones climáticas: AGAF0108: (2ª ed.). IC Editorial. <https://elibro.net/es/lc/udec/titulos/221543>
3. Agusti, M. (2010). *Fruticultura* (2ª ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
4. AlHusnain, L., AlKahtani, M. D. F., Attia, K. A., Sanaullah, T., & Elsharnoby, D. E. (2024). Application of CRISPR/Cas9 system to knock out GluB gene for developing low glutelin rice mutant. *Botanical Studies*, 65(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s40529-024-00432-0>
5. Aliaga, O. (2017). Boletín técnico Pomáceas. <https://pomaceas.usalca.cl/wp-content/uploads/2018/05/Cerezos-escenario-actual-desaf%C3%ADos-y-calidad-de-fruta..pdf>
6. Almada, R. (2022). Inducción y organogénesis floral en cerezo: los primeros pasos en el desarrollo de las yemas florales y en la “construcción” de la calidad de la fruta. *Revista Fruticola, COPEFRUT*, 16–20.
7. Ambika, Bhati, S., & Kumar, R. (2024). Plant breeding using the CRISPR-Cas9 system for food security and facing climate change. En *Interdisciplinary Biotechnological Advances* (pp. 149–181). Springer Nature Singapore.
8. Aoun, M., & Manja, K. (2020). Effects of a photoselective netting system on Fuji and Jonagold apples in a Mediterranean orchard. *Scientia Horticulturae*, 263(109104), 109104. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109104>

9. Asociación de Exportadores de Chile (ASOEX), (2024). Temporada 2023-2024: Exportaciones de cerezas chilenas cierran con nuevo récord en China. Frutas de Chile. <https://www.asoex.cl/component/content/article/25-noticias/1415-temporada-2023-2024-exportaciones-de-cerezas-chilenas-cierran-con-nuevo-record-en-china.html>
10. Ayala, M., & Lang, G. A. (2015). 13C-Photoassimilate partitioning in sweet cherry (*Prunus avium*) during early spring. *Ciencia e Investigacion Agraria*, 42(2), 6–6. doi:10.4067/s0718-16202015000200006
11. Bastías, R., & Boini, A. (2023). Apple production under protective netting systems. En A. Küden (Ed.), *Apple Cultivation - Recent Advances*. IntechOpen.
12. Bastías, R., Meza, C., & Urra, I. (2024). Consideraciones sobre las causas y el manejo de frutos dobles y suturas en Cerezos. <https://centrofruticulturasur.cl/web/articulo-consideraciones-sobre-las-causas-y-el-manejo-de-frutos-dobles-y-suturas-en-cerezos/>
13. Beppu, K., Suehara, T., & Kataoka, I. (2003). High temperature and drought stress suppress the photosynthesis and carbohydrate accumulation in a 'Satonishiki' sweet cherry. *Acta horticulturae*, (618), 371–377. doi:10.17660/actahortic.2003.618.43
14. Beppu, Kenji, & Kataoka, I. (2011). Studies on pistil doubling and fruit set of sweet cherry in warm climate. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 80(1), 1–13. doi:10.2503/jjshs1.80.1
15. Beppu, K., Ikeda, T., & Kataoka, I. (2000). Effect of high temperature exposure time during flower bud formation on the occurrence of double pistils in 'Satohnishiki' sweet cherry. *Scientia Horticulturae*, 87(1–2), 77–84. doi:10.1016/s0304-4238(00)00173-4
16. Blanco, V., Blaya-Ros, P. J., Torres-Sánchez, R., & Domingo, R. (2019). Influence of regulated deficit irrigation and environmental conditions on reproductive response of sweet cherry trees. *Plants*, 9(1). doi:10.3390/plants9010094
17. Blanke, M. M., Lang, G. A., & Meland, M. (2017). Orchard microclimate modification. En *Cherries: botany, production and uses* (pp. 244–268). Wallingford: CABI.

18. Brito, C., Dinis, L.-T., Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. (2019). Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. *Scientia Horticulturae*, 250, 310–316. doi:10.1016/j.scienta.2019.02.070
19. Chauhan, S., Sharma, A., Verma, P., & Singh, N. P. (2025). Unlocking genetic potential in fruit crops with CRISPR/Cas technology. *Applied Fruit Science*, 67(1). <https://doi.org/10.1007/s10341-024-01224-3>
20. Chen, T., Pu, N., Ni, M., Xie, H., Zhao, Z., Hu, J., Lu, Z., Xiao, W., Chen, Z., He, X., & Wang, H. (2025). Development of Fragrant Thermosensitive Genic Male Sterile Line Rice Using CRISPR/Cas9. *Agronomy*, 15(2), 411. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020411>
21. Chovatiya, A., Rajyaguru, R., Tomar, R. S., & Joshi, P. (2024). Revolutionizing Agriculture: Harnessing CRISPR/Cas9 for Crop Enhancement. *Indian Journal of Microbiology*, 64(1), 59–69. <https://doi.org/10.1007/s12088-023-01154-w>
22. Comisión Nacional de Seguridad y Soberanía Alimentaria. (2022). Plan de contingencia alimentaria.
23. Eeraerts, M. (2023). A minimum of 15% semi-natural habitat facilitates adequate wild pollinator visitation to a pollinator-dependent crop. *Biological Conservation*, 278(109887), 109887. doi:10.1016/j.biocon.2022.109887
24. Elzinga, J. A., Atlan, A., Biere, A., Gigord, L., Weis, A. E., & Bernasconi, G. (2007). Time after time: flowering phenology and biotic interactions. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(8), 432–439. doi:10.1016/j.tree.2007.05.006
25. Erez, A., & Couvillon, G. A. (1987). Characterization of the influence of moderate temperatures on rest completion in peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112 (5), 677-680.
26. Fadón, E., Herrero, M., & Rodrigo, J. (2015). Flower development in sweet cherry framed in the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*, 192, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.027>
27. Frías, M. 2006. Requerimiento de frío en frutales. Pomáceas, *Boletín Técnico*, 6(4). Junio. 3 p.
28. Hedhly, A. (2003). Efecto de la temperatura sobre la fase reproductiva en cerezo (*Prunus avium* L.). [Tesis, Universidad de Lleida]. Zaragoza.

29. Hedhly, A., Hormaza, J. I., & Herrero, M. (2007). Warm temperatures at bloom reduce fruit set in sweet cherry. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 81, 158-164. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2007.081.025>
30. Hedhly, A., Hormaza, J. I., & Herrero, M. (2009). Global warming and sexual plant reproduction. *Trends in Plant Science*, 14(1), 30–36. doi:10.1016/j.tplants.2008.11.001
31. Hedhly, A., (2011). Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. *Environmental and Experimental Botany*, 74, 9–16. doi:10.1016/j.envexpbot.2011.03.016
32. Hou, L., Xiao, B., Zhu, J., Liu, C., Wu, Q., Xie, C., Zou, H., & Qi, X. (2024). Expediting Next-Generation Hybrid Technology in Recalcitrant Maize Inbreds through In Vivo Targeted Activity of CRISPR/Cas9. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(11), 5832. <https://doi.org/10.3390/ijms25115832>
33. Hu, C., Sheng, O., Deng, G., He, W., Dong, T., Yang, Q., Dou, T., Li, C., Gao, H., Liu, S., Yi, G., & Bi, F. (2021). CRISPR/Cas9-mediated genome editing of MaACO1 (aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase 1) promotes the shelf life of banana fruit. *Plant Biotechnology Journal*, 19(4), 654–656. <https://doi.org/10.1111/pbi.13534>
34. Imrak, B., Sarier, A., Kuden, A., Kuden, A. B., Çömlekçioğlu, S., & Tutuncu, M. (2014). Studies on shading system in sweet cherries (*Prunus avium* L.) to prevent double fruit formation under subtropical climatic conditions. *Acta horticulturae*, (1059), 171–176. doi:10.17660/actahortic.2014.1059.21
35. International Trade Centre (ITC). (2023). Lista de los mercados importadores por un producto exportado por Chile en 2023. [https://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS\\_Map.aspx?nvpm=3%7c152%7c%7c%7c%7c080929%7c%7c%7c6%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c4%7c1%7c3](https://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS_Map.aspx?nvpm=3%7c152%7c%7c%7c%7c080929%7c%7c%7c6%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c4%7c1%7c3)
36. iQonsuling. Anuarios de Mercado 2024: Cereza. <https://www.calameo.com/read/00715447041b0377a44f9>.
37. Kuden, A. B., Imrak, B., Kuden, A., Sarier, A., & Çömlekçioğlu, S. (2020). Research to prevent double fruit formation depending on climate change on cherries. *Acta horticulturae*, (1281), 517–522. doi:10.17660/actahortic.2020.1281.68

38. Lemus, G. (Ed.). (2005). El cultivo de cerezo. Instituto de investigaciones Agropecuarias, Boletín INIA N° 133.
39. Lemus, G. (2020). Polinización huertos de cerezo. <https://pomaceas.otalca.cl/wp-content/uploads/2021/11/113.-Polinizaci%C3%B3n-en-huertos-de-cerezos.-G.-Lemus.-Octubre-2020.pdf>
40. Li, M.-Y., Jiao, Y.-T., Wang, Y.-T., Zhang, N., Wang, B.-B., Liu, R.-Q., Yin, X., Xu, Y., & Liu, G.-T. (2020). CRISPR/Cas9-mediated VvPR4b editing decreases downy mildew resistance in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Horticulture Research*, 7, 149. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00371-4>
41. Limia, M. (2022). Floración en *Prunus* subgen. *Cerasus* [Tesis, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/server/api/core/bitstreams/11cd9ea9-0482-4cf1-b9c9-52337adff0af/content>
42. López, G., & DeJong, T. M. (2007). Spring temperatures have a major effect on early stages of peach fruit growth. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 82(4), 507-512. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512266>
43. Luedeling, E. (2013). Differential responses of trees to temperature variation: a review of the literature on chilling and heat requirements. *International Journal of Biometeorology*, 57(5), 679-689. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0594-y>
44. Luedeling, E., Kunz, A., & Blanke, M. M. (2013). Identification of chilling and heat requirements of cherry trees--a statistical approach. *International Journal of Biometeorology*, 57(5), 679-689. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0594-y>
45. Mahmood, K., Carew, J. G., Hadley, P., & Battey, N. H. (2000). The effect of chilling and post-chilling temperatures on growth and flowering of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *The journal of horticultural science & biotechnology*, 75(5), 598-601. <https://doi.org/10.1080/14620316.2000.11511293>
46. Marsal, J., Lopez, G., Arbones, A., Mata, M., Vallverdu, X., & Girona, J. (2009). Influence of post-harvest deficit irrigation and pre-harvest fruit thinning on sweet cherry (cv. New Star) fruit firmness and quality. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 84(3), 273-278. doi:10.1080/14620316.2009.11512516
47. Martín-Valmaseda, M., Devin, SR, Ortuño-Hernández, G., Pérez-Caselles, C.,

- Mahdavi, SME, Bujdoso, G., Salazar, JA, Martínez-Gómez, P., & Alburquerque, N. (2023). CRISPR/Cas como técnica de edición del genoma en el mejoramiento genético de árboles frutales. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 24 (23), 16656. <https://doi.org/10.3390/ijms242316656>
48. Medina-García, G., Grageda-Grageda, J., Ruiz-Corral, J. A., Casas-Flores, J. I., Rodríguez-Moreno, V. M., & De la Mora-Orozco, C. (2019). Disminución de las horas frío como efecto del cambio climático en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1325–1337. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1688>
49. Melgarejo, P., Martínez, J. J., Hernández, F., Martínez-Font, R., Barrows, P., & Erez, A. (2004). Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Scientia Horticulturae*, 100(1–4), 349–353. doi:10.1016/j.scienta.2003.09.006
50. Memmott, J., Craze, P. G., Waser, N. M., & Price, M. V. (2007). Global warming and the disruption of plant–pollinator interactions. *Ecology Letters*, 10(8), 710–717. doi:10.1111/j.1461-0248.2007.01061.x
51. Meza-Araya, C., Bastías, R. M., Campos, J., Calderón-Orellana, A., & Garriga, M. (2025). Netting design differentially affects double fruit and deep suture development in cherry orchards. *Applied Fruit Science*, 67(4). <https://doi.org/10.1007/s10341-025-01448-x>
52. Ministerio de Agricultura (2022). Investigadores chilenos desarrollan nuevas variedades de cerezas adaptadas al cambio climático. <https://minagri.gob.cl/noticia/investigadores-chilenos-desarrollan-nuevas-variedades-de-cerezas-adaptadas-al-cambio-climatico>
53. Morón, M. (2024). Efecto del cambio climático en la acumulación de frío y en el desarrollo fenológico del peral. [Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México].
54. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2025). Boletín de la fruta. [https://apps.odepa.gob.cl/powerBI/boletin\\_fruta.html](https://apps.odepa.gob.cl/powerBI/boletin_fruta.html)
55. Olivares-Soto, H., Bastías, R. M., Calderón-Orellana, A., & López, M. D. (2020). Sunburn control by nets differentially affects the antioxidant properties of fruit peel in ‘Gala’ and ‘Fuji’ apples. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 61(2), 241–254. <https://doi.org/10.1007/s13580-020-00226-w>

56. Ortuño-Hernández, G., Sandoval-Belmar, P., Ruiz, D., Martínez-Gómez, P., Meneses, C., & Salazar, J. A. (2025). Insights into the molecular basis of fruit development in *Prunus* species. *Plant Molecular Biology Reporter*. <https://doi.org/10.1007/s11105-025-01548-8>
57. Plant Abiotic Stress for a Sustainable Agriculture (PASSA) - Facultad de Ciencias - Universidad de Chile. <https://ciencias.uchile.cl/investigacion/proyectos/PASSA>
58. Porter, J. R., & Semenov, M. A. (2005). Crop responses to climatic variation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 360(1463), 2021–2035. doi:10.1098/rstb.2005.1752
59. Predieri, S., Dris, R., Sekse, L., & Rapparini, F. (2003). Influence of environmental factors and orchard management on yield and quality of sweet cherry. *Food, Agriculture & Environment*, 1 (2), 263–266.
60. Richardson, E.A., Seeley, S.D., & Walker, D.R. (1974). A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *Research Reports & Notes. (Utah chill-unit model)*
61. Rodríguez, A., Pérez-López, D., Centeno, A., & Ruiz-Ramos, M. (2021). Viability of temperate fruit tree varieties in Spain under climate change according to chilling accumulation. *Agricultural Systems*, 186(102961), 102961. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102961>
62. Salaya, G. F. G. (1997). Latencia y letargo de yemas. In *Fruticultura: El potencial productivo: Crecimiento vegetativo y diseño de huertos y viñedos* (pp. 79–146). Ediciones UC. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1djmfg1.8>
63. Salama, A.-M., Ezzat, A., El-Ramady, H., Alam-Eldein, SM, Okba, SK, Elmenofy, HM, Hassan, IF, Illés, A. y Holb, IJ (2021). Árboles frutales de zonas templadas bajo el cambio climático: Desafíos para la latencia y los requisitos de frío en regiones con inviernos cálidos. *Horticulturae* , 7(4), 86. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7040086>
64. Salazar-Canales, F., Bastías, R. M., Calderón-Orellana, A., Wilckens, R., & González, E. (2021). Photo-selective nets differentially affect microclimatic conditions, leaf physiological characteristics, and yield in hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 62(6), 845–858. <https://doi.org/10.1007/s13580-021-00365-8>

65. Santibáñez, F. (2012). Cómo los cambios climáticos afectarán a la fruticultura chilena. *Tierra Adentro (FEDEFruta)*, (134), 16–22
66. Sønsteby, A., & Heide, O. M. (2019). Temperature effects on growth and floral initiation in sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Scientia Horticulturae*, 257(108762), 108762. doi:10.1016/j.scienta.2019.108762
67. Sunitha, S., & Rock, C. D. (2020). CRISPR/Cas9-mediated targeted mutagenesis of TAS4 and MYBA7 loci in grapevine rootstock 101-14. *Transgenic Research*, 29(3), 355–367. <https://doi.org/10.1007/s11248-020-00196-w>
68. Tan, Y., Wen, B., Xu, L., Zong, X., Sun, Y., Wei, G., & Wei, H. (2023). High temperature inhibited the accumulation of anthocyanin by promoting ABA catabolism in sweet cherry fruits. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1079292. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1079292>
69. Tripathi JN, Ntui VO, Ron M, Muiruri SK, Britt A, Tripathi L (2019) CRISPR/Cas9 editing of endogenous banana streak virus in the B genome of *Musa* spp overcomes a major challenge in banana breeding. *Communications Biology* 2, 46–57. <https://doi.org/10.1038/s42003-019-0288-7>
70. Tripathi JN, Ntui VO, Shah T, Tripathi L (2021) CRISPR/Cas9-mediated editing of DMR6 orthologue in banana (*Musa* spp) confers enhanced resistance to bacterial disease. *Plant Biotechnol Journal*, 19, 1291–1293. <https://doi.org/10.1111/pbi.13614>
71. Usenik, V., & Štampar, F. (2011). The effect of environmental temperature on sweet cherry phenology. *European Journal of Horticultural Science*, 76(1), 1–5.
72. Uso de cobertores plásticos de baja densidad en cerezos aumenta calibre de fruta – Ministerio de Agricultura. (2020). <https://www.minagri.gob.cl/noticia/uso-de-cobertores-plasticos-de-baja-densidad-en-cerezos-aumenta-calibre-de-fruta/>
73. Walters, J., & Isaacs, R. (2023). Pollen germination and tube growth in northern highbush blueberry are inhibited by extreme heat. *HortScience*, 58 (6), 635–642. doi:10.21273/hortsci17075-23
74. Wang, J., Liu, J., Jiu, S., Li, Y., Whiting, M., She, W., ... Zhang, C. (2019). The MADS-box genes PaMADS3/4/5 co-regulate multi-pistil formation induced by

- high temperature in *Prunus avium* L. *Scientia Horticulturae*, 256(108593), 108593. doi:10.1016/j.scienta.2019.108593
75. Wang, J., Sun, W., Wang, L., Liu, X., Xu, Y., Sabir, I. A., ... Zhang, C. (2022). FRUITFULL is involved in double fruit formation at high temperature in sweet cherry. *Environmental and Experimental Botany*, 201(104986), 104986. doi:10.1016/j.envexpbot.2022.104986
76. Wang, L., Liu, Y., Song, H., Zhang, X., & Wang, Y. (2025). Conditional control of CRISPR/Cas9 function by chemically modified oligonucleotides. *Molecules*, 30(9), 1956. <https://doi.org/10.3390/molecules30091956>
77. Wang, J., Liu, J., Jiu, S., Li, Y., Whiting, M., She, W., Wang, L., Ma, C., Xu, W., Wang, S., & Zhang, C. (2019). The MADS-box genes PaMADS3/4/5 co-regulate multi-pistil formation induced by high temperature in *Prunus avium* L. *Scientia Horticulturae*, 256(108593), 108593. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108593>
78. Wang, L., Zhang, C., Ma, C., Xu, W., & Wang, S. (2019). Effects of hydrogen cyanamide on physiological changes during endodormancy releasing and flowering of sweet cherries in warm region. *Acta Horticulturae*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1235.64>
79. Wang, X., Tu, M., Wang, D., Liu, J., Li, Y., Li, Z., Wang, Y., & Wang, X. (2018). CRISPR/Cas9-mediated efficient targeted mutagenesis in grape in the first generation. *Plant Biotechnology Journal*, 16(4), 844–855. <https://doi.org/10.1111/pbi.12832>
80. Warrington, I., Fulton, T., Halligan, E., & Silva, H. (1999). Apple fruit growth and maturity are affected by early season temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*.
81. Webster, A. D., & Looney, N. E. (Eds). (1995). *Cherries: Crop physiology, production and uses*. CAB International.
82. Weerakkody, P., Jobling, J., Infante, M. M. V., & Rogers, G. (2010). The effect of maturity, sunburn and the application of sunscreens on the internal and external qualities of pomegranate fruit grown in Australia. *Scientia Horticulturae*, 124(1), 57–61. doi:10.1016/j.scienta.2009.12.003
83. einberger, J.H. (1950). Chilling Requirements of Peach Varieties. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 56, 122-128.

84. Wenden, B., Campoy, J. A., Jensen, M., & López-Ortega, G. (2017). Climatic limiting factors: temperature. *Cherries: botany, production and uses* (pp. 166–188). Wallingford: CABI.
85. Yuri, J. A., Lepe, V., Moggia, C., Bastias, R., & Bertschinger, L. (2004). Sonnenbrand beim Apfel [Sunburn on apple]. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau*, 140(8), 7-10.
86. Zhang, H., Wang, Y., Shouchao, Y., Zhou, C., Li, F., Chen, X. T., Liu, L., & Wang, Y. (2023). Plant photosynthesis and dry matter accumulation response of sweet pepper to water–nitrogen coupling in cold and arid environment. *Water*, 15(11), 2134. doi:10.3390/w15112134
87. Zhang, L., Ferguson, L., & Whiting, M. D. (2018). Temperature effects on pistil viability and fruit set in sweet cherry. *Scientia Horticulturae*, 241, 8–17.