



**UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
MAGISTER EN HORTOFRUTICULTURA**

**EFFECTO DE CUBIERTAS PLÁSTICAS (TECHO Y MACROTÚNEL) EN EL
MICROCLIMA, FISIOLÓGÍA, CRECIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA
FRUTA EN CEREZO (*Prunus avium* L.) CV. 'SANTINA'**

POR

MIGUEL ALEXIS PALMA GUTIÉRREZ

PROFESOR TUTOR: DR. JOSÉ ANTONIO YURI SALOMÓN

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER

TALCA - CHILE

2021

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2022

Título: Efecto de Cubiertas Plásticas (Techo y Macrotúnel) en el Microclima, Fisiología, Crecimiento y Características de la Fruta en Cerezos (*Prunus avium* L.) cv. 'Santina'.

Title: Effect of Plastic Covers (Roof and High Tunnel) on the Microclimate, Physiology, Vegetative Growth and Fruit Characteristics in Sweet Cherry (*Prunus avium* L.) cv. 'Santina'.

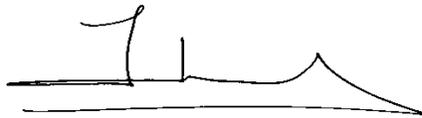
Estudiante: Miguel Alexis Palma Gutiérrez

Fecha de Inicio: Agosto de 2018

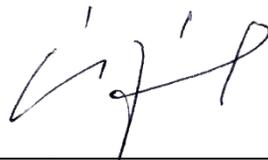
Fecha de Terminó: Agosto de 2020



Profesor Guía: Dr. José Antonio Yuri
Profesor Titular
Director Centro de Pomáceas
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca
ayuri@utalca.cl



Profesor Informante: Dr. Yerko Moreno Simunovic
Profesor Titular
Director Centro Tecnológico de la Vid y el Vino
Facultad de Ciencias Agraria
Universidad de Talca
ymoreno@utalca.cl



Profesor Invitado: M.S. Álvaro Sepúlveda León
Jefe Laboratorio de Ecofisiología Frutal
Centro de Pomáceas
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca
asepulveda@utalca.cl

Fecha de Defensa de la Tesis: 11 de Noviembre de 2021

AGRADECIMIENTOS

Agradezco muy afectuosamente al Centro de Pomáceas, quien me ha acogido desde que me formé como agrónomo y ha apoyado mi crecimiento profesional y personal.

Agradezco a mis profesores José Antonio Yuri, Yerko Moreno y Álvaro Sepúlveda, por todos sus consejos, críticas y felicitaciones durante la ejecución de esta Tesis. También, agradezco a la Dirección y Cuerpo Docente de la Facultad de Ciencias Agrarias por su orientación y experiencias transmitidas durante el magister.

Agradezco a mis compañeros de estudios, particularmente a Sergio Vivanco, por los gratos momentos que compartimos tanto dentro como fuera de las aulas.

Agradezco la colaboración entregada por la empresa Inés Escobar S.A., en especial a José Miguel Diez, Ricardo Neira y María Jesús Catalán, quienes nos confiaron la evaluación de este proyecto en el Huerto Santa Carmen.

Agradezco a los estudiantes: Matías Arévalo, Cristian Tapia, Diego Montenegro, Juan Aburto y Juan Vallejos; quienes ejecutaron las mediciones de la primera temporada de este proyecto. También, agradezco el apoyo de mis colegas del Centro de Pomáceas: Javier Sánchez, Mariana Moya, Daniela Simeone, Mauricio Fuentes, Brenda Fuentes y Yudidsa Quinteros; por su ayuda tanto en terreno como en el laboratorio.

Finalmente, agradezco a mis padres: Germán y María; y mis hermanos: Paulina y Rodrigo; por transmitirme su amor por la agricultura y apoyar todas mis decisiones.

RESUMEN

El presente estudio evaluó durante dos temporadas el efecto de cubiertas plásticas tipo techo y macrotúnel, sobre el microclima, respuesta fisiológica, crecimiento vegetativo y características fisicoquímicas de la fruta en cerezos cv. 'Santina', en un huerto comercial establecido en un clima mediterráneo de la zona central de Chile.

El monitoreo microclimático fue realizado mediante un registro de la temperatura y humedad relativa del aire, mediciones de la radiación total, fotosintéticamente activa (PAR) y ultravioleta (B). Las variables de la planta analizadas fueron: fenología, potencial xilemático y conductancia estomática. El crecimiento vegetativo de los árboles fue determinado a través del tamaño y desarrollo foliar de brotes del año. La calidad, contenido de antocianinas, fenoles y capacidad antioxidante de la fruta fue evaluada a cosecha y luego de 30 días de almacenaje en atmósfera modificada.

Las cubiertas afectaron el microclima, generándose bajo el techo un ambiente más sombrío que bajo el macrotúnel. En la zona superior de los árboles, el microclima bajo las cubiertas tendió a ser más cálido y seco que al aire libre; contrariamente, en el nivel inferior, bajo el techo las condiciones fueron más frías y frescas que al aire libre y bajo el macrotúnel. Estas variaciones generaron similares tendencias en la acumulación térmica e indicadores de estrés ambiental en los dos niveles analizados.

La plena flor se adelantó 5 días en los árboles bajo techo y 7 días bajo el macrotúnel, respecto a la fecha ocurrida al aire libre, manteniéndose casi inalterado este desfase hasta la cosecha. En la segunda temporada, el adelanto en la brotación fue apoyado con rompedores de receso, lográndose un anticipo de 17 y 38 días en la plena flor, y 9 y 29 días en la cosecha, bajo el techo y macrotúnel, respectivamente.

Los cerezos cultivados bajo las dos cubiertas presentaron menor estrés hídrico o no mostraron diferencias, respecto a los que crecieron al Aire Libre. Sin embargo, luego de la cosecha, los árboles que se desarrollaron bajo las cubiertas presentaron mayor estrés.

El crecimiento vegetativo fue mínimamente afectado, variando los resultados entre las dos temporadas. El contenido de clorofila y nitrógeno en la hoja fue mayor en los árboles bajo macrotúnel e igual en aquellos bajo techo, respecto a los que crecieron al aire libre. Posterior a la cosecha, las hojas de los árboles cultivados bajo las dos cubiertas presentaron menor nivel de flavonoides.

La concentración de P, Ca, y Zn en las hojas de los árboles bajo techo y macrotúnel fue menor a los niveles alcanzados en las que se desarrollaron al aire libre. En los frutos, la concentración Ca fue mayor bajo las cubiertas, y la de K, Mg y Zn, menor.

Los frutos tuvieron un color levemente menos intenso, menor firmeza y acidez titulable bajo las cubiertas, manteniéndose las diferencias luego de 30 días de almacenaje en atmósfera modificada.

La concentración de antocianinas en la piel de los frutos tendió a ser menor en los cultivados bajo las cubiertas, aunque no visibles al ojo. También el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante en la fracción comestible de los frutos fueron menores.

ABSTRACT

The present study evaluated during two seasons the effect of plastic covers, roof and high tunnel type, on the microclimate, physiological response, vegetative growth and physicochemical characteristics of fruits in sweet cherry trees cv. 'Santina', in a commercial orchard established in a Mediterranean climate in central zone of Chile.

The microclimatic monitoring was carried out by recording the temperature and relative humidity of the air, and measurements of total, photosynthetically active (PAR) and ultraviolet (B) radiation. The plant variables analyzed were: phenology, xylem potential and stomatal conductance. The vegetative growth of the trees was determined through the size and foliar development of shoots of the year. The quality, anthocyanin content, phenols and antioxidant capacity of the fruits were evaluated at harvest and after 30 days of storage in modified atmosphere.

The covers affected the microclimate, creating a darker environment under the roof than under the high tunnel. In the higher zone of trees, the microclimate under the covers tended to be warmer and drier than in the open air; on the contrary, in the lower level, under the roof the conditions were cooler and wet than in the open air and under the high tunnel. These variations generated similar trends in thermal accumulation and indicators of environmental stress at the two levels analyzed.

The full bloom was 5 days earlier in the trees under roof and 7 days in those under high tunnel, with respect to date occurred at Open Air, this lag remained almost unchanged until the harvest. In the second season, the advance of bud break was helped by break dormancy, achieving an advance of 17 and 38 days in full bloom, and 9 and 29 days in harvest, under the roof and high tunnel, respectively.

The sweet cherry trees grown under the two covers presented less water stress or did not show differences, with respect to those that grew in Open Air. However, after harvest, the trees grown under covers presented higher stress.

The vegetative growth was minimally affected, varying the results between two seasons. The chlorophyll and nitrogen content in leaves were higher in trees under High Tunnel and same in those under Roof, with respect to those grown in Open Air. After harvest, the leaves of trees grown under the two covers showed lower level of flavonoids.

The P, Ca, and Zn concentration in the leaves of the tree under roof and high tunnel was lower than the levels reached in those grown at open air. In the fruits, Ca concentration was higher under the covers, and K, Mg and Zn were lower.

The fruits had a slightly less intense color, less firmness and titratable acidity under covers, maintaining the differences after 30 days of storage in modified atmosphere.

The anthocyanin concentration in the skin fruits tended to be lower in those grown under the covers although not visible to the eye. Also the content of polyphenols and antioxidant capacity in the edible fraction of the fruits were lower.

Keywords: rain protection, phenology, water status, fruit quality, firmness.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Hipótesis.....	2
1.2. Objetivo General	2
1.3. Objetivos Específicos	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Generalidades del Cerezo cv. 'Santina' y portainjerto 'Colt'	3
2.2. Fisiología del Crecimiento del Cerezo.....	3
2.3. Generalidades del Sistema de Conducción Kym Green Bush (KGB).....	4
2.4. Uso de cubiertas plásticas y modificación microclimática en cerezos	5
2.4.1. Techo	6
2.4.2. Macrotúnel.....	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. Material Vegetal y Condiciones Ambientales	11
3.2. Tratamientos.....	11
3.3. Mediciones	12
3.3.1. Monitoreo Microclimático	12
3.3.2. Fenología.....	12
3.3.3. Estado Hídrico	13
3.3.4. Crecimiento Vegetativo	13
3.3.5. Análisis Mineralógico de Frutos y Hojas.....	13
3.3.6. Calidad de Fruta.....	14
3.3.7. Antocianinas.....	14
3.3.8. Fenoles	14
3.3.9. Capacidad Antioxidante	15
3.3.10. Análisis Económico.....	15
3.4. Análisis Estadístico.....	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1. Filtración de la Radiación	16
4.2. Variación Microclimática	18
4.3. Fenología	22
4.4. Estado Hídrico.....	26
4.5. Crecimiento Vegetativo.....	28
4.6. Índices de pigmentos en hojas	30
4.7. Contenido mineralógico en hojas y frutos.....	32
4.8. Calidad de la fruta.....	35
4.9. Características bioquímicas de la fruta	38
4.10. Análisis Económico.....	40
6. REFERENCIAS	43
7. ANEXOS	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Radiación interceptada: Total (W/m^2), Fotosintéticamente Activa (PAR, $\mu mol/m^2s$) y Ultravioleta B (UV-B, $\mu W/cm^2$); el 19-oct-2018, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Huerto Santa Carmen, Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2018/2019.	17
Figura 2.	Radiación interceptada: Total (W/m^2), Fotosintéticamente Activa (PAR, $\mu mol/m^2s$) y Ultravioleta B (UV-B, $\mu W/cm^2$); el 08-nov-2018, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Huerto Santa Carmen, Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2019/2020.	17
Figura 3.	Fechas fenológicas de Puntas Verdes, Plena Flor, Pinta (Envero) e Inicio de Cosecha, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Huerto Santa Carmen, Sagrada Familia, Región del Maule. Temporadas 2018/2019 y 2019/2020.	22
Figura 4.	Retorno Floral (%) en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Huerto Santa Carmen, Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2020/2021.	24

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1:	Resumen de los principales resultados reportados por el uso de cubiertas plásticas en techo en cerezos alrededor del mundo.	7
Cuadro 2:	Resumen de los principales resultados reportados por el uso de cubiertas plásticas en macrotúnel en cerezos alrededor del mundo.	9
Cuadro 3:	Aplicación de rompedores de dormancia.	12
Cuadro 4:	Temperatura ($^{\circ}C$) media mensual del aire en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, a 3,0 y 1,5 m de altura, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel.	18
Cuadro 5:	Humedad relativa (%) media mensual del aire durante las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, a 3,0 y 1,5 m de altura, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel.	18
Cuadro 6:	Grados Día (GD, Base $10^{\circ}C$) Acumulados en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, a 3,0 y 1,5 m de altura, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel.	20
Cuadro 7:	Grados Hora (GDH, Base $4,5^{\circ}C$) Acumulados en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, a 3,0 y 1,5 m de altura, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel.	20
Cuadro 8:	Índice de Estrés Acumulado en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, a 3,0 y 1,5 m de altura, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel.	21
Cuadro 9:	Déficit de Presión de Vapor (DPV) Acumulado en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, a 3,0 y 1,5 m de altura, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel.	21
Cuadro 10:	Fechas de ocurrencia de los estados fenológicos en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.	24
Cuadro 11:	Producción de fruta (kg) en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.	25
Cuadro 12:	Conductancia Estomática ($mmol/m^2\cdot s$) y Potencial Xilemático (MPa) durante la precosecha de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 (19-nov.-2018) y 2019/2020 (29-oct.-2019),	26

Cuadro 13:	Conductancia Estomática (mmol/m ² ·s) y Potencial Xilemático (MPa) durante la postcosecha de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 (18-ene.-2019) y 2019/2020 (28-ene.-2020),	26
Cuadro 14:	Largo (cm), N° de hojas/brote, Área foliar/brote (cm ²) y Largo de internudos (cm), de brotes anuales de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 (23-ene.-2019) y 2019/2020 (28-ene.-2020).	28
Cuadro 15:	Peso (g), Área (cm ²) y Relación Peso/Área (mg/cm ²) en hojas de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 (23-ene.-2019) y 2019/2020 (28-ene.-2020).	28
Cuadro 16:	Índices SPAD y Dualex (Clorofila, Balance de Nitrógeno, Flavonoides y Antocianinas) durante la precosecha de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 (19-nov.-2018) y 2019/2020 (29-oct.-2019).	31
Cuadro 17:	Índices SPAD y Dualex (Clorofila, Balance de Nitrógeno, Flavonoides y Antocianinas) durante la postcosecha de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 (18-ene.-2019) y 2019/2020 (28-ene.-2020).	31
Cuadro 18:	Concentración de Nitrógeno (N, %), Fósforo (P, %), Potasio (K, %), Calcio (Ca, %), Magnesio (Mg, %), Manganeso (Mn, ppm), Cinc (Zn, ppm), Hierro (Fe, ppm), Boro (B, ppm) y Materia Seca (M.S., %) en hojas de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.	33
Cuadro 19:	Concentración de Nitrógeno (N, mg/100 g), Fósforo (P, mg/100 g), Potasio (K, mg/100 g), Calcio (Ca, mg/100 g), Magnesio (Mg, mg/100 g), Manganeso (Mn, ppm), Cinc (Zn, ppm), Hierro (Fe, ppm), Boro (B, ppm) y Materia Seca (M.S., %) en frutos de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.	33
Cuadro 20:	Relaciones entre la concentración de Nitrógeno/Calcio (N/Ca), Potasio/Calcio (K/Ca), Magnesio/Calcio (Mg/Ca), Nitrógeno/Potasio (N/K), Potasio/Fósforo (K/P), Fósforo/Calcio (P/Mn) en frutos de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.	33
Cuadro 21:	Peso (g), Diámetro (mm), Color (1-5), Firmeza (g/mm), Sólidos Solubles (°Bx) y Acidez Titulable (%) al momento de la cosecha, en frutos de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.	36
Cuadro 22:	Peso (g), Diámetro (mm), Color (1-5), Firmeza (g/mm), Sólidos Solubles (°Bx) y Acidez Titulable (%) luego de 30 días de almacenaje en atmosfera modificada, en frutos de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.	36
Cuadro 23:	Antocianinas totales (mg/100 g PF), Fenoles totales (mg EAG/100 g PF) y Capacidad Antioxidante (µmol ET/100 g PF) a cosecha, en frutos de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.	39
Cuadro 24:	Antocianinas totales (mg/100 g PF), Fenoles totales (mg EAG/100 g PF) y Capacidad Antioxidante (µmoles ET/100 G PF) luego de 30 días de almacenaje en atmósfera modificada, en frutos de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.	39
Cuadro 25:	Semana de Venta, Precio (USD/kg), Producción (kg/ha), Exportación (kg/ha) e Ingreso (USD/ha) por venta de cerezas en el Mercado Mayorista de Jiangnan, China, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1:	Temperatura Máxima (°C) entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.	49
Anexo 2:	Temperatura Máxima (°C) entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.	49
Anexo 3:	Temperatura Mínima (°C) entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.	50
Anexo 4:	Temperatura Mínima (°C) entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.	50
Anexo 5:	Humedad Relativa Máxima (%) entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.	51
Anexo 6:	Humedad Relativa Máxima (%) entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.	51
Anexo 7:	Humedad Relativa Mínima (%) entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.	52
Anexo 8:	Humedad Relativa Mínima (%) entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.	52
Anexo 9:	Grados Día Acumulados entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.	53
Anexo 10:	Grados Día Acumulados entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.	53
Anexo 11:	Grados Hora (G.D.H.) Acumulados entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.	54
Anexo 12:	Grados Hora (G.D.H.) Acumulados entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.	54
Anexo 13:	Índice de Estrés Acumulado entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.	55
Anexo 14:	Índice de Estrés Acumulado entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.	55
Anexo 15:	Déficit de Presión de Vapor (D.P.V.) Acumulado entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.	56
Anexo 16:	Déficit de Presión de Vapor (D.P.V.) Acumulado entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.	56

1. INTRODUCCIÓN

El cerezo (*Prunus avium* L.) se ha convertido en uno de los cultivos frutales más competitivos del mundo. La creciente y atractiva demanda de cerezas desde los mercados asiáticos, principalmente China, ha motivado una rápida expansión de las plantaciones y una alta intensificación de la producción. En Chile, la superficie de cerezos rondaría las 39.645 ha, posicionándose como el tercer frutal más plantado y el segundo con mayor tasa de crecimiento anual (~2.000 ha/año) (CIREN-ODEPA, 2018-2020). Durante la temporada 2020/2021, el volumen de exportaciones bordeó las 350 mil t, equivalentes a US\$1.800 millones FOB en ingresos para el país (ODEPA-Servicio Nacional de Aduanas, 2021).

Uno de los problemas más importantes en el cultivo del cerezo es la partidura de la fruta, causada principalmente por la absorción de agua depositada sobre ésta por las lluvias (Simon, 2006). Este fenómeno se debe, entre otros factores, al enorme diferencial osmótico entre el agua de lluvia y el alto contenido de solutos en las cerezas (Knoche y Winkler, 2017). El ingreso de agua genera un rápido incremento del volumen celular, llegando a provocar heridas en la piel del fruto, que deterioran su apariencia e impiden su comercialización (Balbontín et al., 2013; Correia et al., 2018). La ocurrencia de precipitaciones intensas durante una etapa de madurez avanzada del fruto, puede generar la inviabilidad comercial de la cosecha, dado el alto costo que conllevaría la eliminación de los frutos dañados (Knoche y Winkler, 2017; Looney, 1985).

En Chile, la principal estrategia para prevenir la partidura de las cerezas es mediante la implementación de cubiertas plásticas sobre los árboles, lo que evita el contacto del agua de la lluvia con los frutos (Cline et al., 1995; Correia et al., 2018). Se estima que cerca del 15% de la superficie nacional (≈4.500 ha) ya se encontraría bajo estas estructuras (Yuri et al., 2019). No obstante, junto con la protección del daño, el uso estas cubiertas también conlleva una modificación microclimática que puede alterar la fisiología de los árboles y las características fisicoquímicas de la fruta.

En huertos de cerezos con cubiertas plásticas se han registrado alzas de 2-9 °C en la temperatura del aire (Børve y Meland, 1998), disminución del 40% de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Wallberg y Sagredo, 2014) y descenso de 8 a 15 km/h en la velocidad del viento (Lang, 2009). Además, se han reportado adelantos en la fenología, aumento en el tamaño de las hojas y la longitud de los brotes anuales (Lang, 2009; Wallberg y Sagredo, 2014). También, se ha detectado mayor contenido de clorofila en las hojas (Overbeck et al., 2018). En cuanto a las características fisicoquímicas de la fruta, se han observado efectos tanto negativos, positivos y nulos (Ahumada et al., 2020a; Blanco et al., 2021b, 2021a, 2019b; Blanke y Balmer, 2008; Børve et al., 2003; Børve y Meland, 1998; Cline et al., 1995; Kafkaletou et al., 2015; Lang et al., 2011; Lang, 2014; Mika et al., 2019; Overbeck et al., 2017; Ruiza et al., 2017; Simon, 2006; Sotiropoulos et al., 2014; Usenik et al., 2009; Wallberg y Sagredo, 2014). Los resultados varían de acuerdo a la forma de instalación (techo o macrotúnel), cultivar y temporada (Børve y Meland, 1998; Lang et al., 2011), dificultándose la obtención de conclusiones generales del efecto de las cubiertas en esta especie.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de cubiertas plásticas, en forma de techo y macrotúnel, sobre el microclima, respuesta fisiológica y características fisicoquímicas de la fruta en cerezos cv. 'Santina', en un huerto comercial establecido en un clima mediterráneo de la zona central de Chile.

1.1. Hipótesis

El uso de cubiertas plásticas en cerezos genera un alza de la temperatura y variación del espectro de radiación solar, lo cual acelera la fenología de los árboles y la maduración de la fruta.

1.2. Objetivo General

Evaluar el efecto de cubiertas plásticas, tipo techo y macrotúnel, sobre el microclima, respuesta fisiológica y características fisicoquímicas de cerezas (*Prunus avium* L.) cv. 'Santina'.

1.3. Objetivos Específicos

Describir las condiciones meteorológicas y de transmisión de la radiación en cada ambiente.

Comparar el comportamiento fenológico y fisiológico de los árboles en cada ambiente.

Contrastar las características de calidad y bioquímicas de la fruta cultivada en cada ambiente.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades del Cerezo cv. 'Santina' y portainjerto 'Colt'

El cerezo (*Prunus avium* L.) es una especie frutal de la familia Rosaceae, subfamilia Spiraeoideae, tribu Amygdaleae. Esta especie, al igual que otros cultivos del género *Prunus*, se caracteriza por formar frutos en drupa (Iezzoni et al., 2017).

Las especies cultivadas de cerezos provienen probablemente de Asia Menor, alrededor del Mar Caspio y el Mar Negro (Iezzoni et al., 2017). Los árboles son caducifolios, con tendencia a crecer grandes y vigorosos (Long et al., 2015).

La variedad 'Santina' proviene de un programa de mejoramiento genético desarrollado en Summerland, Canadá, durante el año 1973. La variedad es el resultado del cruzamiento de 'Stella' con 'Summit'. Los árboles son grandes y vigorosos. Los frutos son de forma arriñonada, tamaño medio a grande, textura firme y coloración rojiza. La fecha de maduración es 2-10 días después de 'Burlat'. En estado maduro, los frutos son muy susceptibles a la partidura (Quero-García et al., 2017).

El portainjerto 'Colt' se obtuvo en 1958 en la Estación Experimental de East Malling, Reino Unido. El portainjerto deriva del cruzamiento entre *Prunus avium* con *Prunus pseudocerasus*. Los cerezos injertados sobre 'Colt' exhiben un crecimiento vigoroso, similar al expresado sobre 'Mazzard' o 'F12/1'. Entre las ventajas de 'Colt' destacan su facilidad de enraizamiento y una positiva influencia en el desarrollo vegetativo de los árboles. Entre las desventajas, se encuentra su baja resistencia a temperaturas bajo 0 °C, y limitado desarrollo en suelos poco profundos, secos y calcáreos (Hrotkó y Rozpara, 2017; Webster, 1980).

2.2. Fisiología del Crecimiento del Cerezo

En su ambiente nativo sin intervenciones, los árboles de cerezo crecen verticalmente y en altura, con tendencia a formar un eje central alto. El crecimiento es rápido y la dominancia apical es fuerte. En los primeros años, los árboles se despliegan vegetativamente, estableciéndose competitivamente en el bosque, y luego transfieren recursos a la fructificación. Los árboles pueden llegar a crecer hasta 18-20 m de altura (Gil, 2009; Long et al., 2015).

Los cerezos crecen y florecen desde yemas simples que pueden ser vegetativas o reproductivas (Ayala y Lang, 2017).

En general, el cerezo produce pocas ramas comparado con otros carozos, dependiendo de las variedades y la edad de las plantas. Feucht (1967) describió la ramificación de los cerezos con las siguientes características:

- Formación de verticilos: Emite ramificaciones laterales casi exclusivamente en la parte distal de los brotes formados el año anterior. Estas ramas forman los verticilos ("patas de gallina").
- Ausencia de anticipados: Los anticipados son ramificaciones que se forman sobre crecimientos del mismo año (desarrollo simultáneo). En esta especie se producen anticipados solamente en ramas muy vigorosas y en ciertas variedades.
- Capacidad para rebrotar: Los rebrotes nacen solo a partir de yemas vegetativas latentes o de yemas vegetativas en la base de los dardos. Estos son poco frecuentes en forma espontánea.

El crecimiento de las yemas vegetativas comienza al final de la floración, produciendo múltiples nudos con hojas solitarias. Estos pueden ser con mínimas longitudes entre nudos y la formación de

solo una roseta con 5-8 hojas preformadas (primordios), resultando en un dardo, o tener distancias de entre nudos largas, y continuar con la formación de nuevas hojas y nudos más allá de las hojas preformadas, resultando en la extensión de un brote primario o la formación de nuevos brotes laterales (Ayala y Lang, 2017).

En variedades vigorosas, el crecimiento anual puede sobrepasar el metro de longitud en las primeras temporadas. Luego de haber alcanzado su estado productivo, un brote posee una longitud de 50 a 60 cm (Moreno, 1995).

A medida que avanza la primavera, el ascenso de la temperaturas y la mayor insolación estimulan el crecimiento en longitud de los brotes, hasta su cese por competencia e inhibición con las hojas, engrosamiento del tronco, aparición de brotes anticipados y el crecimiento de raíces y frutos, junto con la disminución de las temperaturas y el largo del día (Gil, 2009).

El cerezo tiene una gran capacidad de floración y, al mismo tiempo, una relativa perseverancia en ese aspecto. La carga floral influye sobre la formación de flores en escala menor que en otras especies frutales (Feucht, 1967).

El potencial fructífero del cerezo está constituido por dos poblaciones de yemas florales. Unas ubicadas en las bases de los brotes anuales, y las otras en los dardos (Ayala y Lang, 2017).

Los dardos frutales de cerezo se distinguen de los de otras especies especialmente por su longevidad, pudiendo permanecer productivos incluso en el interior de la copa. La capacidad productiva de los dardos puede durar sobre diez años. Los dardos con mayor capacidad de fructificación se ubican en las secciones de dos y tres años de la rama (Feucht, 1967). La fruta de mejor calidad se produce en los dardos jóvenes y en la base de la madera de un año (Moreno, 1995).

Las yemas florales de cerezos contienen 1-6 flores, los dardos frutales usualmente tienen 1-6 yemas, aunque es posible más (Ayala y Lang, 2017).

En la parte media de los brotes se pueden formar dardos no frutales provenientes de yemas vegetativas. Estos tienen una yema vegetativa terminal que los mantienen creciendo 0,8-1 cm al año. Estos dardos pueden volverse frutales más adelante, pero deben comenzar desde una yema vegetativa en madera de un año (Moreno, 1995).

2.3. Generalidades del Sistema de Conducción Kym Green Bush (KGB)

Este sistema debe su nombre a su creador Kym Green, quien es un destacado productor de cerezos australiano que desarrolló este modelo para formar huertos peatonales, posibles de manejar y cosechar desde el piso (Long et al., 2015).

El sistema KGB está basado en el modelo del Vasito Español que consiste en la formación de árboles de tamaño menor, tipo arbusto, con múltiples ejes permanentes, de los cuales nacían pequeños laterales renovables que contenían la fruta (Ellena, 2012; Long et al., 2015). El KGB se diferencia por ser un poco más cerrado y ubicar la producción de la fruta en dardos distribuidos a lo largo de múltiples ejes renovables, siendo en este caso la única estructura permanente la madera del marco interior del árbol (Long et al., 2015).

El objetivo del sistema KGB consiste en diluir el vigor natural del cerezo, por medio de la formación de un arbusto con múltiples ramificaciones verticales (18 a 25, dependiendo de la combinación variedad/portainjerto), entre los primeros 2-3 años de desarrollo, esperando que éstas produzcan dardos y fructifiquen verticalmente. La formación de los árboles es relativamente sencilla y requiere un

trabajo mínimo, no obstante, demora un año más en entrar en producción que los sistemas en eje (Long et al., 2015).

Los árboles adquieren la forma de un cono invertido, favorable para el ingreso de luz a los niveles más bajos, lográndose una mayor fructificación en esa zona en comparación con los sistemas tradicionales (Ayala y Lang, 2017).

La poda madura es simple y sigue un plan repetible, consistiendo básicamente en una renovación de las ramas para mantener los dardos jóvenes y productivos (Ayala y Lang, 2017; Long et al., 2015).

Los portainjertos recomendados para el sistema KGB son los de crecimiento vigoroso a semivigoroso, tales como 'Colt' o 'MaxMa 14'. Las variedades apropiadas son las que producen fruta mayoritariamente en dardos, tales como 'Lapins', 'Sweetheart' y 'Santina' (Tapia, 2017).

Las densidades de plantación recomendadas para Chile van de 1.000 y 1.300 plantas/ha (Tapia, 2017).

2.4. Uso de cubiertas plásticas y modificación microclimática en cerezos

El plástico es un material ampliamente utilizado en agricultura, principalmente para modificar las condiciones microclimáticas del cultivo (Maraveas, 2020). En cerezos, el uso de cubiertas plásticas protege a los árboles de fenómenos climáticos adversos, tales como lluvias y granizos, y genera un ambiente mucho más cálido cuando son dispuestas como invernaderos (Blanke et al., 2017). La evitación del depósito de agua o granizo en las plantas, previene la formación de partiduras o lesiones en los frutos (Cline et al., 1995; Correia et al., 2018). Por otro lado, cuando se eleva la temperatura, se promueve una aceleración del crecimiento de los frutos, pudiéndolos cosechar más temprano (Blanco et al., 2019b; Lang et al., 2011).

Junto con los beneficios antes mencionados, el uso de cubiertas plásticas en cerezos también conlleva efectos secundarios en la respuesta fisiológica de los árboles. Investigaciones realizadas en diversas zonas productoras alrededor del mundo, han reportado un aumento en el crecimiento vegetativo en los árboles cubiertos, observándose mayor longitud de brotes, área foliar y área de sección transversal de tronco (Blanke et al., 2017; Dekova y Blanke, 2007; Lang et al., 2011; Lang, 2009; Wallberg y Sagredo, 2014). También, alteraciones en las características fisicoquímicas de los frutos, como cambios en la firmeza, coloración, sólidos solubles y compuestos bioactivos (Blanco et al., 2019b; Blanke y Balmer, 2008; Børve et al., 2003; Børve y Meland, 1998; Cline et al., 1995; Lang et al., 2011; Mika et al., 2019; Overbeck et al., 2017; Ruisa et al., 2017; Sotiropoulos et al., 2014; Usenik et al., 2009; Wallberg y Sagredo, 2014). No obstante, los efectos no son constantes entre las variedades y temporadas, por lo que no se puede inferir conclusiones generales.

Las alteraciones en los árboles son atribuidas a la modificación microclimática generada por las cubiertas. Entre los cambios registrados, se han medido alzas de 2-9 °C en la temperatura del aire (Børve y Meland, 1998), disminución del 40% de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Wallberg y Sagredo, 2014) y descenso de 8 a 15 km/h en la velocidad del viento (Lang, 2009).

La exposición de los cerezos a alta temperatura tiene tanto efectos negativos como positivos. Durante el periodo de floración, altas temperaturas afectan negativamente la cuaja (Hedhly et al., 2007; Zhang et al., 2018) e inducen malformaciones en los frutos (Beppu et al., 2001). En cambio, durante el periodo de división y crecimiento celular en los frutos, un ambiente cálido acelera la maduración (Usenik y Štampar, 2011) y estimula la formación de polifenoles y la capacidad antioxidante (Overbeck et al., 2017). Además, la filtración de la radiación durante este periodo desfavorece la formación de

antocianinas en las variedades bicolors como 'Rainier' (Lang, 2009). En las variedades rojas y púrpura oscuras, se han medido descensos de coloración con instrumental de laboratorio, pero en magnitud generalmente imperceptible para los consumidores (Overbeck et al., 2017). La pigmentación simultánea de la piel y la pulpa en estas variedades, explicaría la dificultad para percibir el efecto (Blanke et al., 2017).

Por otro lado, se ha observado que un alza térmica moderada, acompañada con alta humedad de suelo, aumenta la tasa fotosintética en cerezos. En cambio, cuando los cerezos son expuestos a altas temperaturas y baja humedad de suelo, la actividad fotosintética disminuye (Beppu et al., 2003; Blanke et al., 2017). Bajo cubiertas se han observado mínimos cambios sobre la fotosíntesis, debido a que, a pesar de que la temperatura suele ser mayor, el efecto es atenuado por una alta filtración de la radiación (Sotiropoulos et al., 2014).

El estado hídrico de los cerezos también sería afectado por la modificación microclimática. En esta especie, la transpiración de la hoja está directamente relacionada con el déficit de presión de vapor (DPV), radiación global y temperatura del aire (Neilsen et al., 2017). Bajo cubiertas, se ha observado un aumento del potencial xilemático y conductancia estomática de las hojas, principalmente en el periodo próximo a la cosecha (Blanco et al., 2019b).

Finalmente, el ambiente más cálido y con menor radiación dificulta la actividad de las abejas en la polinización (Predieri et al., 2003). Por lo tanto, para asegurar la producción de cerezos en estas condiciones, se requiere del apoyo de otros agentes polinizadores adaptados a este ambiente, como los abejorros (*Bombus* sp.) (Lang, 2014). También, se está empezando a practicar una polinización mecánica a través de una aspersión de polen externo con pulverizadores electrostáticos (Taylor y Whiting, 2019).

A continuación, se describen los dos principales sistemas de instalación de cubiertas y la experiencia de cultivo en múltiples regiones del mundo.

2.4.1. Techo

Las cubiertas en techo son el sistema de protección más empleado en los huertos de cerezos en Chile (Lang, 2017). Las cubiertas se instalan en estructuras de postes de madera, metal o cemento prensado, sujetas por alambres de acero inoxidable, cuerdas o elásticos. El material de las cubiertas suele ser rafias o films de polietileno de alta densidad (HDPE) (Bastías et al., 2019).

Las cubiertas pueden instalarse en estructuras móviles o fijas. Las móviles suelen ser desplegadas solo ante pronóstico de lluvias, por medio de operarios o sistemas automatizados. Las cubiertas fijas están desplegadas durante toda la temporada (Ellena, 2012).

Alrededor del mundo, se han realizado múltiples evaluaciones del efecto de las cubiertas plásticas en techo, sobre la calidad de la fruta y el desarrollo vegetativo de los árboles. El **Cuadro 1** muestra los principales resultados de cada investigación:

Cuadro 1: Resumen de los principales resultados reportados por el uso de cubiertas plásticas en techo en cerezos alrededor del mundo.

Ubicación	Temporada	Principales resultados reportados	Referencia
Lofthus, Noruega	1992	- Aumento del peso de los frutos. - Sin efectos en los sólidos solubles, firmeza, tamaño y coloración de los frutos.	Cline et al., 1995.
Lofthus, Noruega	1994/1995	- Descenso en el contenido de sólidos solubles, menor coloración de jugo y retraso en la madurez de los frutos cubiertos con diseño tipo sombrilla. - Sin cambios en los frutos cubiertos con diseño de techo inclinado.	Børve et al., 2003; Børve y Meland, 1998.
Ullensvang, Noruega	1998/1999	- Sin efectos en la calidad de fruta por aumento del periodo de cobertura.	Børve y Stensvand, 2003.
Ljubljana, Eslovenia	2006	- Sin cambios en el peso de los frutos. - Efectos opuestos en la coloración de los frutos de las variedades estudiadas. - Aumento de los azúcares y ácidos orgánicos de los frutos. - Sin cambios en el contenido de fenoles y antocianinas de los frutos.	Usenik et al., 2009.
Dobele, Letonia	2010/2012	- Aumento del peso de los frutos. - Sin cambios en la firmeza y contenido de sólidos solubles de los frutos.	Ruisa et al., 2017.
Lewiczyn, Polonia	2016/2018	- Sin efectos en la firmeza, actividad antioxidante y contenido de antocianinas totales de los frutos. - Reducción del peso, contenido de sólidos solubles, acidez titulable, materia seca y polifenoles de los frutos, solo en la segunda temporada de observación.	Mika et al., 2019.
Berlín, Alemania	2003/2005	- Menor cantidad de hojas y más bajo incremento del diámetro de los troncos. - Reducción de la actividad fotosintética y menor acumulación de carbohidratos. Sin embargo, el descenso es mínimo cuando los árboles están suficientemente regados. - Disminución del uso del agua de los árboles. - Descenso en los requerimientos nutricionales de los árboles. - Aumento del tamaño, contenido de azúcares y peso de los frutos.	Schäfer, 2005.
Pirna, Alemania	2008/2009	- Sin cambios en la fecha de floración. - Retraso en la cosecha de las variedades tardías. - Sin cambios en el rendimiento. - Leve aumento en el tamaño de los frutos.	Krieghoff, 2013.
Bonn, Alemania	2014	- Sin alteración en el área foliar de los árboles. - Aumento en el contenido relativo de clorofila y flavonoides de las hojas.	Overbeck et al., 2018.
Salónica, Grecia	2009/2011	- Sin diferencias en la productividad y peso de los frutos, en la mayoría de las variedades estudiadas. - Aumento de la capacidad antioxidante de los frutos en la mayoría de las variedades estudiadas, en la primera temporada de estudio. En la segunda temporada, no se observaron diferencias en todas las variedades. - Descenso de la tasa fotosintética de los árboles, solo en una de las tres variedades estudiadas.	Sotiropoulos et al., 2014.
Macedonia, Grecia	2009/2011	- Sin efecto en el rendimiento. - Sin cambios en el peso, firmeza, acidez titulable, valor de pH, capacidad antioxidante, pardeamiento de pedicelo y resistencia de remoción de pedicelo de los frutos.	Kafkaletou et al., 2015.

Guiyang, China	2020	<ul style="list-style-type: none"> - Alteraciones en el contenido de compuestos volátiles de los frutos. - Atenuación en la intensidad de color de los frutos. - Aumento de la dureza, elasticidad, masticabilidad y resiliencia, resistencia de la piel y firmeza de pulpa de los frutos. - Incremento en el contenido de sólidos solubles y sin cambios en la acidez titulable. 	Zhang et al., 2021.
Collipulli, Chile	2010/2011	<ul style="list-style-type: none"> - Adelanto en la fenología y diferenciación de las yemas florales. - Extensión en el largo de brotes. - Aumento del área foliar de brotes y hojas, en los árboles cubiertos desde brotación. - Incremento del tamaño, peso y contenido de sólidos de los frutos. - Descenso de la coloración y firmeza de los frutos. 	Wallberg y Sagredo, 2014.
Quinta de Tilcoco, Chile	2017	<ul style="list-style-type: none"> - Adelanto de 4 a 5 días de la cosecha. - Aumento en el tamaño y contenido de azúcares de los frutos. - Descenso de la firmeza de los frutos. 	Bastías et al., 2019; Bastías y Leyton, 2018.
Curicó, Chile	2018/2019 – 2019/2020	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento del Índice de Área Foliar (IAF), siendo mayor el efecto cuando las cubiertas eran mantenidas durante la postcosecha. - Sin cambios en el crecimiento de raíces. - Disminución en la temperatura superficial de las hojas. Los frutos no presentaron variaciones. - Aumento en la conductancia estomática y potencial xilemático. - Nulo efecto en la asimilación de CO₂. - Sin variaciones en el número de centros frutales/árbol y de primordios florales/centro frutal entre las temporadas. Tampoco en la producción de fruta/árbol. - Incremento en el peso de los frutos. - Sin efecto en el contenido de sólidos solubles y materia seca. - Disminución en la firmeza de los frutos, siendo mayor el efecto bajo las cubiertas de plástico de baja densidad en comparación con las de rafia, y cuando la ubicación de la fruta es más próxima a la cubierta. - Disminución de la concentración de calcio ligado en la fruta ubicada en el nivel superior de los árboles, principalmente cuando se usa cubiertas de plástico de baja densidad. - Sin variaciones en los índices de madurez luego de 30 días de almacenaje. 	Abud et al., 2020.
Perquenco y Puerto Octay, Chile	2018/2019 y 2019/2020	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento del peso y calibre de la fruta. - Disminución de los sólidos solubles y acidez de la fruta. - Efecto inconsistente en el pardeamiento de pedicelo. - Menores efectos negativos en la fruta con aplicación extras de K. 	Bustamante et al., 2021.
Guizhou, China	2019	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento del área foliar. - Disminución del grosor de la hoja, tejido esponjoso, tejido empalizada, y densidad estomática. - Reducción de la fotosíntesis neta, conductancia estomática, eficiencia del uso del agua y limitación estomática. - Incremento en la eficiencia del uso de la luz, concentración de CO₂ intercelular y contenido de clorofila de las hojas. - Disminución del punto de compensación de la hoja y punto de compensación de CO₂. - Aumento de la tasa cuántica aparente y tasa de carboxilación de la hoja. - Reducción del rendimiento cuántico, tasa de transferencia de electrones y la eficiencia máxima del fotosistema II (Fv/Fm). 	Zhang et al., 2021a.

2.4.2. Macrotúnel

Las cubiertas dispuestas como macrotúnel tienen un costo de instalación mucho más elevado al requerido en el techo, debido a que generalmente utilizan estructuras de soporte más rígidas y especializadas, como arcos metálicos, sujeciones con cuerdas y garfios de anclaje. El material de las cubiertas suele ser film de polietileno de alta densidad (HDPE) (Lang, 2017).

Las cubiertas de los macrotúneles suelen ser fijas, manteniendo protegidos los árboles desde floración hasta la cosecha. En los costados generalmente se dejan cortinas móviles, posibles de abrir de manera manual o automatizada, para permitir la ventilación y reducción de la temperatura interna (Blanke y Balmer, 2008; Lang, 2014).

Las evaluaciones del cultivo de cerezos bajo macrotúnel son escasas y discrepantes en las conclusiones. El **Cuadro 2** resume los principales resultados reportados hasta el momento.

Cuadro 02: Resumen de los principales resultados reportados por el uso de cubiertas plásticas en macrotúnel en cerezos alrededor del mundo.

Ubicación	Temporada	Principales resultados reportados	Referencia
Lofthus, Noruega	2009	<ul style="list-style-type: none"> - Sin diferencias en el rendimiento. - Aumento en el tamaño de los frutos. - Mayor contenido de sólidos solubles de los frutos. 	Meland et al., 2017.
Bonn, Alemania	2004/2005	<ul style="list-style-type: none"> - Adelanto de 6 a 13 días en la fecha de floración. - Adelanto de 12 a 19 días en la fecha cosecha. - Aumento del crecimiento vegetativo. - Descenso del contenido de clorofila de las hojas. - Sin cambios en la fotosíntesis. - Disminución del tamaño y firmeza de los frutos. - Sin cambios en la coloración de los frutos. - Aumento del contenido de sólidos solubles y acidez titulable. - Alta reducción de la producción en la segunda temporada de estudio. 	Balmer et al., 2005; Blanke y Balmer, 2008.
Bonn, Alemania	2006	<ul style="list-style-type: none"> - Adelanto de 12 a 18 días en la floración. - Avance de 16 a 18 días en la cosecha. - Sin cambios en el contenido de clorofila de las hojas. - Descenso del contenido de calcio y magnesio y aumento del nitrógeno y fósforo en las hojas. - Aumento del crecimiento vegetativo. - Sin cambios en la coloración de los frutos. 	Dekova y Blanke, 2007; Hamm et al., 2007.
Bonn, Alemania	2007/2008	<ul style="list-style-type: none"> - Sin diferencias en la firmeza de los frutos de las variedades tempranas, y descenso en las tardías. - Sin cambios en el contenido de sólidos solubles y acidez de los frutos. - Aumento del tamaño de los frutos en algunas variedades. - Alza en la capacidad antioxidante y contenido de ácido ascórbico en los frutos de algunas variedades. - Aumento en el contenido de fenoles de los frutos. - Disminución del contenido de proteínas alergénicas. - Adelanto de dos semanas de la fecha de cosecha. 	Schmitz-Eiberger y Blanke, 2012.
Bonn, Alemania	2008/2009	<ul style="list-style-type: none"> - Descenso en el ángulo de contacto y mayor carga de cera cuticular en las hojas. - Mayor contenido de cera cuticular en los frutos. 	Hunsche y Noga, 2011.
Bonn, Alemania	2014	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento del tamaño y peso de los frutos. - Menor negatividad del potencial osmótico de los frutos. - Aumento de la capacidad antioxidante de los frutos. - Incremento en contenido de polifenoles de los frutos. 	Overbeck et al., 2017.

Benton Harbor, Estados Unidos	2005/2007	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución en 50% de la producción de fruta, asociado a una menor actividad polinizadora de las abejas (<i>Apis mellifera</i>), debido al alza térmica y la alteración en la transmisión de luz por la cubierta. En las temporadas siguientes, el rendimiento fue equivalente gracias al uso de polinizadores de la especie <i>Bombus</i> spp., los cuales están adaptados a condiciones más cálidas y no ven alterada su navegación por filtraciones en el espectro de luz. - Mayor altura de los árboles, aunque con menor aumento en el diámetro de tronco. - Aumento de 20-25% en el área foliar de los árboles, pero sin diferencias en el largo y número de hojas por brote. - Mayor tamaño y contenido de azúcares en los frutos. - Descenso en la coloración de los frutos de la variedad 'Rainier'. Sin efectos en las variedades oscuras. 	Lang et al., 2011; Lang, 2014, 2013, 2009.
Sagrada Familia, Chile	2017/2018	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de 30% en la conductancia estomática de las hojas. - Adelanto de 4 días de plena flor y 8 días de la cosecha. - Sin cambios en la producción de fruta. - Sin diferencias en la relación de área foliar por fruto (193 cm²/fruto). - Aumento del tamaño de los frutos. - Disminución de la firmeza y contenido de sólidos solubles. 	Blanco et al., 2019b.
Región de O'Higgins, Chile	2019/2020	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento general del potencial mátrico de suelo, potencial xilemático y conductancia estomática de los árboles. - Adelanto de 7 días de la plena flor y 10 días en la cosecha. - Sin diferencias en el rendimiento de fruta/árbol, pero descenso significativo de la producción en el nivel superior. - Aumento en el peso y reducción de la firmeza de la fruta. 	Blanco et al., 2021b.
Región de O'Higgins y Región del Maule, Chile	2018/2019 – 2019/2020	<ul style="list-style-type: none"> - Adelanto de 11 días en la fecha de cosecha. - Disminución en el rendimiento de fruta, asociado a alta temperatura y humedad relativa durante la floración y cuaja de los árboles. - Aumento de 13% del tamaño y disminución de 10% en la firmeza de los frutos. - Sin efecto en la concentración de sólidos solubles y acidez titulable de los frutos. - Mantención de las diferencias de firmeza en la postcosecha, pero similares valores en los otros índices de calidad. - Descenso en la concentración de calcio y aumentos en las relaciones K/Ca, Mg/Ca y N/Ca en los frutos. - Sin diferencias en la susceptibilidad al <i>cracking</i> y <i>pitting</i> inducido. 	Blanco et al., 2021a.

La investigación científica chilena sobre el uso de cubiertas en techo y macrotúneles es aún incipiente frente a la gran superficie que ha adoptado esta tecnología. Los resultados varían entre cultivares y localidades, requiriéndose más experiencias y trabajos que permitan predecir el comportamiento de la especie en las contrastantes condiciones edafoclimáticas nacionales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Material Vegetal y Condiciones Ambientales

El estudio fue llevado a cabo durante las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, en árboles de cerezo (*Prunus avium* L.) cv. 'Santina' sobre portainjerto 'Colt', cultivados en el huerto comercial "Santa Carmen" de la empresa "Inés Escobar S.A.", ubicado en la comuna de Sagrada Familia, Región del Maule, Chile (35°01'41" S, 71°26'51" O, 135 msnm). Los árboles fueron plantados el año 2012 en orientación Este-Oeste. El sistema de conducción era Kym Green Bush (KGB) con 18 a 22 ejes por planta. La distancia de plantación era de 2,2 m sobre la hilera y 4,0 m entre hileras (1.136 árboles/ha).

El clima es de tipo mediterráneo con verano seco y cálido, e invierno húmedo y templado. El promedio anual de precipitaciones es cercano a 500 mm, concentradas entre mayo y julio (invierno). Durante la primavera eventualmente ocurren eventos intensos de precipitación que pueden superar los 30 mm/día. La temperatura promedio anual es de 15 °C. El mes más cálido es diciembre con una temperatura máxima promedio de 30 °C, y el más frío es julio con una temperatura mínima promedio de 2 °C. El periodo libre de heladas se extiende entre los meses de noviembre a marzo (FDF, 2019).

El suelo es de origen sedimentario, con textura superficial franco-limosa y franco-arcillo-limosa en los perfiles inferiores (CIREN, 1997). El agua de riego proviene del Río Lontué (conductividad eléctrica promedio 1 dS/m). Los árboles eran regados con una doble línea de goteros por hilera y cuatro emisores de presión compensada por árbol (4 L/h). El periodo de riego abarcó los meses de septiembre a abril.

La polinización fue realizada por abejas (*Apis mellifera*) durante la temporada 2018/2019, y por abejas y abejorros (*Bombus terrestris*) durante la temporada 2019/2020.

3.2. Tratamientos

Los tratamientos fueron establecidos en tres parcelas homogéneas de 0,5 ha. Éstos consistieron en una cobertura plástica en Techo, una en Macrotúnel y un testigo al Aire Libre. Los dos sistemas de cubiertas fueron establecidos por primera vez en agosto de 2018.

La cubierta en techo era rafia de polietileno de alta densidad (HDPE), de 250 µm de espesor, modelo Vöen (Vóhringer GmbH & Co. Berg, Alemania). Las cubiertas fueron instaladas sobre una estructura de postes de madera y alambres a 4 m sobre el suelo. El ancho de cubrimiento era de 4 m. La cubierta se desplegaba desde mediados de agosto hasta 20 días después de plena flor (DDPF). Luego solo se cerrará ante un pronóstico de helada o lluvia.

La cubierta en macrotúnel era film de polietileno de alta densidad (HDPE) de 150 µm de espesor, modelo Plastidermic Plus (Haygrove Ltd., Ledbury, Reino Unido). Éste estaba formado por 3 bóvedas de 8 m de ancho, 4,5 m de altura máxima y 100 m de largo. La estructura era soportada por arcos metálicos cada 12 m. La cubierta se desplegó desde mediados de agosto hasta el final de la cosecha. Durante el periodo de floración, se abrió lateralmente para reducir la temperatura y favorecer el vuelo de las abejas. A lo largo de la temporada, se abrió cuando la temperatura interna superaba los 25 °C y se cerrará cuando era inferior a 10 °C.

En la temporada 2018/2019, a ninguno de los tratamientos se les aplicó rompedores de dormancia. Luego en la 2019/2020, las parcelas bajo Techo y Macrotúnel recibieron la aplicación de Dormex® (BASF) y Fiore® (ANASAC), en las fechas descritas en el **Cuadro 3**.

Cuadro 03: Aplicación de rompedores de dormancia.

Temporada	Tratamiento	Dormex®	Fiore®
2018/2019	Aire Libre	-	-
	Techo	-	-
	Macrotúnel	-	-
2019/2020	Aire Libre	-	-
	Techo	24-jul.-2019	30-jul.-2019
	Macrotúnel	03-jul.-2019	09-jul.-2019

Por otro lado, los tres tratamientos recibieron las mismas prácticas culturales en cuanto a control fitosanitario y fertilización. El riego era programado de acuerdo a los requerimientos de cada sector.

3.3. Mediciones

3.3.1. Monitoreo Microclimático

El monitoreo microclimático contempló un análisis de la radiación solar transmitida y el registro de la temperatura del aire (°C) y humedad relativa (%) en cada uno de los ambientes.

La radiación solar transmitida fue medida como la radiación total (W/m²) con un piranómetro LI-200SZ (LI-COR, inc., Lincoln, USA); la radiación fotosintéticamente activa (μmol/m²·s) con un sensor quantum LI-190SZ (LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, USA); y radiación ultravioleta B (μW/cm²) con un radiómetro UV-B PMA2102 (Solar Light Co. Inc., Philadelphia, USA). Las mediciones fueron realizadas cerca de 30 Días Después de Plena Flor (DDPF), alrededor del mediodía, con cielo despejado, a dos alturas (1,5 y 3,0 m sobre el suelo), en las entre hileras y bajo la proyección de las cubiertas, en tres posiciones aleatorias al interior de cada tratamiento.

La temperatura y humedad relativa del aire fue registrada cada 15 min, con sensores meteorológicos HOBO UX 100 (Onset Computer Corporation, MA, USA). Se utilizaron dos sensores por tratamiento, ubicados en la posición central de cada parcela, a una altura de 1,5 y 3,0 m sobre el suelo. Con estos datos, se calcularon la temperatura mínima, media y máxima diaria, y la humedad relativa mínima, media y máxima, entre el 15-sep. al 15-mar. de cada temporada. Además, se estimaron los índices agroclimáticos de acumulación térmica, como Grados Día (GD, base 10 °C) (Stanley et al., 2000) y Grados Hora de Crecimiento (GDH, base 4,5 °C y óptimo 25 °C) (Anderson et al., 1986); y de acumulación de demanda atmosférica, como Déficit de Presión de Vapor (DPV, kPa) (Howell y Dusek, 1995) e Índice de Estrés (Torres et al., 2016), estimado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Unidad de Estrés: } \frac{(TA-10)}{(-0,2HR+15)}$$

Donde: TA: Temperatura del aire (°C).
HR: Humedad Relativa (%).

3.3.2. Fenología

El registro fenológico contempló las fechas de puntas verdes, plena flor, pinta, inicio de cosecha y caída de hojas (50%). La determinación fue realizada por personal del huerto, mediante un seguimiento visual general de los árboles en cada tratamiento.

Adicionalmente al inicio de la temporada 2020/2021, se realizó una evaluación del retorno floral de los árboles, contabilizando el número de yemas florales y vegetativas formadas en 1 m lineal de rama en 10 árboles/tratamiento. El retorno floral fue expresado como el porcentaje que representaba el número de yemas florales frente al total de yemas formadas.

3.3.3. Estado Hídrico

El estado hídrico de los árboles fue evaluado mediante el potencial xilemático (MPa) y conductancia estomática de la hoja ($\text{mmol/m}^2\cdot\text{s}$).

El potencial xilemático fue determinado usando una cámara de presión tipo Scholander, modelo 3005 (Soil moisture, Corp. Santa Bárbara, CA, USA). La medición fue realizada en hojas previamente cubiertas durante 1 h con bolsas plásticas herméticas con envoltura de aluminio.

La conductancia estomática fue medida con un porómetro portátil SC1 (Decagon - Meter Inc., Pullman, WA, USA).

Ambas mediciones fueron realizadas alrededor del mediodía, a los 60 y 90 DDPF (pre y postcosecha), en hojas sanas de 5 árboles por tratamiento, ubicadas próximas a un centro frutal y una altura de 1,5 m desde el suelo.

3.3.4. Crecimiento Vegetativo

El crecimiento vegetativo de los árboles fue determinado a través del tamaño y desarrollo foliar de brotes del año, al final de cada temporada.

Los brotes fueron cortados, almacenados en un *cooler* y transportados inmediatamente al laboratorio, donde se les midió el largo (cm), número de hojas/brote, peso fresco foliar/brote (g), área foliar/brote (cm^2) mediante un medidor LI-3100 (LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, USA). El peso fresco/hoja fue obtenido del cociente entre peso fresco/brote y el número de hojas/brote. El área/hoja fue estimado como el cociente entre el área foliar/brote y el número de hojas/brote. El contenido de materia seca foliar (%) fue medido por deshidratación por 2 días, en una estufa de secado D-6450 (Heraeus GmbH & CO. Hanau, Alemania).

Además, se midieron índices de pigmentos foliares: clorofila, con un medidor SPAD 502 Plus (Konica Minolta Holdings, Inc., Tokio, Japón), y de clorofila, balance de nitrógeno (NBI), antocianinas y flavonoides, con un medidor Dualex® Scientific (Force-A, Orsay, Francia).

Las mediciones de crecimiento vegetativo fueron realizadas a 4 brotes/árbol, de 10 árboles por tratamiento, alrededor de los 125 DDPF, cuando éstos ya presentaban un desarrollo foliar completo.

Los pigmentos fueron medidos alrededor de los 60 y 90 DDPF, en el tercio medio de 3 hojas/árbol de 10 árboles por tratamiento, ubicadas próximas a un centro frutal y una altura de 1,5 m desde el suelo.

3.3.5. Análisis Mineralógico de Frutos y Hojas

La concentración de los elementos minerales fue determinada en frutos y hojas, mediante espectrofotometría de absorción atómica en el Centro Tecnológico de Suelos y Cultivos (Acreditación ISO 9001) de la Universidad de Talca. Las cuantificaciones incluyeron Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Boro (B).

Las mediciones en los frutos fueron realizadas al inicio de la cosecha de cada tratamiento, y en las hojas alrededor de 125 DDPF (febrero) en todos los tratamientos. Los resultados consideraron una repetición en la temporada 2018/2019, y tres en la 2019/2020.

3.3.6. Calidad de Fruta

Las mediciones de calidad de fruta fueron realizadas al inicio de la cosecha de cada tratamiento. En cada fecha se muestrearon 10 kg fruta y se transportaron en un *cooler* al laboratorio. De éstos, 5 kg fueron apartados para analizarlos inmediatamente y 5 kg se almacenaron en bolsas de atmósfera modificada (Envases Pac Life, Santiago, Chile), y cajas de cartón durante 30 días en una cámara de frío a 0 °C y 90% de humedad relativa, simulando las condiciones y tiempo de transporte a China.

Las variables analizadas fueron peso (g), tamaño (mm), color (1-5, escala de color de cerezas de la Pontificia Universidad Católica de Chile), firmeza (g/mm, FirmTech II, BioWorks Inc, Wamego, USA), concentración de sólidos solubles (°Bx, PAL-1, Atago, Tokio, Japón), y acidez titulable (% ácido málico, TitroLine easy, Schott AG, Maguncia, Alemania).

La calidad fue comparada al momento de la cosecha comercial y a la salida de almacenaje de cada tratamiento. En cada fecha, las determinaciones fueron realizadas a submuestras de 50 frutos (5 repeticiones de 10 frutos) por tratamiento.

3.3.7. Antocianinas

La concentración de antocianinas totales (mg/100 g de Peso Fresco, PF) fue estimada en discos de 0,95 cm² de piel del fruto, según el método de Fuleki y Francis (1968). Los discos fueron extraídos, fragmentados y macerados en 500 µL de Etanol/HCl 1,5 N a 4 °C en oscuridad durante 24 h. Tras la incubación, el extracto se centrifugó a 3.000 r.p.m. (400 g), durante 3 min. Luego de sacar el sobrenadante, se realizó una nueva extracción a los discos con el mismo procedimiento. La absorbancia se midió a 535 nm con un espectrofotómetro Pharo 300 (Merck KGaA, Darmstadt, Alemania).

Las determinaciones fueron realizadas a muestras de 5 frutos por tratamiento, al momento de la cosecha y luego de 30 días en almacenaje.

3.3.8. Fenoles

Las determinaciones de fenoles totales fueron realizadas en un extracto fenólico de la fracción comestible del fruto (piel más pulpa). Éste fue preparado a partir de 2 g de muestra pulverizada con nitrógeno líquido y disueltos en 10 mL de etanol 80%. Para facilitar la extracción, la solución fue sometida por 15 min en un baño ultrasónico y 10 min en un baño termoregulado a 100 °C. El extracto se filtró al vacío y se aforó hasta 10 mL con etanol 80%. Posteriormente, éste se almacenó en oscuridad a -20 °C hasta la realización de las determinaciones.

La cuantificación de los fenoles totales (mg EAG/100 g de peso fresco) fue realizada mediante el método del Folin-Ciocalteu descrito por Singleton y Rossi (1965). La curva de calibración fue elaborada con ácido gálico (AG). Las determinaciones se realizaron con 10 µL del extracto fenólico y 490 µL de etanol 50%. Luego, se les agregó 2,5 mL de agua destilada y 0,5 mL de Folin-Coicalteu, y se homogenizaron durante 3 s, dejando 5 min de reposo. Finalmente, se añadió 0,5 mL de Na₂CO₃ con 2,5 mL de agua destilada y se dejó reposar por 15 min. La absorbancia fue medida a 760 nm con un espectrofotómetro Pharo 300 (Merck KGaA, Darmstadt, Alemania).

Las determinaciones fueron realizadas a 5 frutos por tratamiento, al inicio de las cosechas comerciales y a la salida de almacenaje.

3.3.9. Capacidad Antioxidante

La capacidad antioxidante ($\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de peso fresco) fue estimada usando el mismo extracto fenólico, mediante el método de Huang et al. (2002) y Prior et al. (2003) con modificaciones. El estándar se preparó con 0,1624 g de 2,2'-azobis(2-amidinopropano) dihidrocloruro (AAPH) y 10 μL de fluorescencia sódica, disueltos en 4 mL de tampón fosfato pH 7,4 75 mM. La curva de calibración se realizó utilizando 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico (TROLOX) 75 mM, con concentraciones entre 6,5 y 100 μM en tampón fosfato pH 7,4 75 mM. La fluorescencia fue medida con un lector de microplacas Synergy HT (BioTek Instruments, Winooski, Vermont, USA).

Las determinaciones fueron realizadas a 5 frutos por tratamiento, al inicio de las cosechas comerciales y a la salida de almacenaje.

3.3.10. Análisis Económico

El análisis económico comparó el ingreso monetario generado por la comercialización de la fruta en diferentes momentos de venta en el mercado chino, debido a las distintas fechas de cosecha en cada tratamiento y temporada de estudio.

El ingreso fue estimado como el producto entre el volumen exportado/ha (85% del volumen producido/ha) y el precio promedio de las cerezas (calibres J y SJ) reportado en el Mercado Mayorista de Jiangnan, China, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020 (SAG-ASOEX, 2021), en la semana posterior a la fecha de cosecha de cada tratamiento, que equivaldría al tiempo que demoraría la fruta en llegar al destino en un despacho por avión.

3.4. Análisis Estadístico

Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza multifactorial ($p \leq 0,05$), comparando el efecto de la temporada, tratamiento y su interacción. Cuando existieron diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó una separación de medias utilizando la prueba HSD de Tukey ($p \leq 0,05$). Los análisis estadísticos fueron realizados a través del software R versión 3.5.2, paquete R Commander versión 2.5.3.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Filtración de la Radiación

Las cubiertas plásticas generaron una reducción significativa de la radiación solar recibida por las plantas, aunque con diferente magnitud entre el tipo de cubierta, rango del espectro y altura de medición (**Figura 1 y 2**).

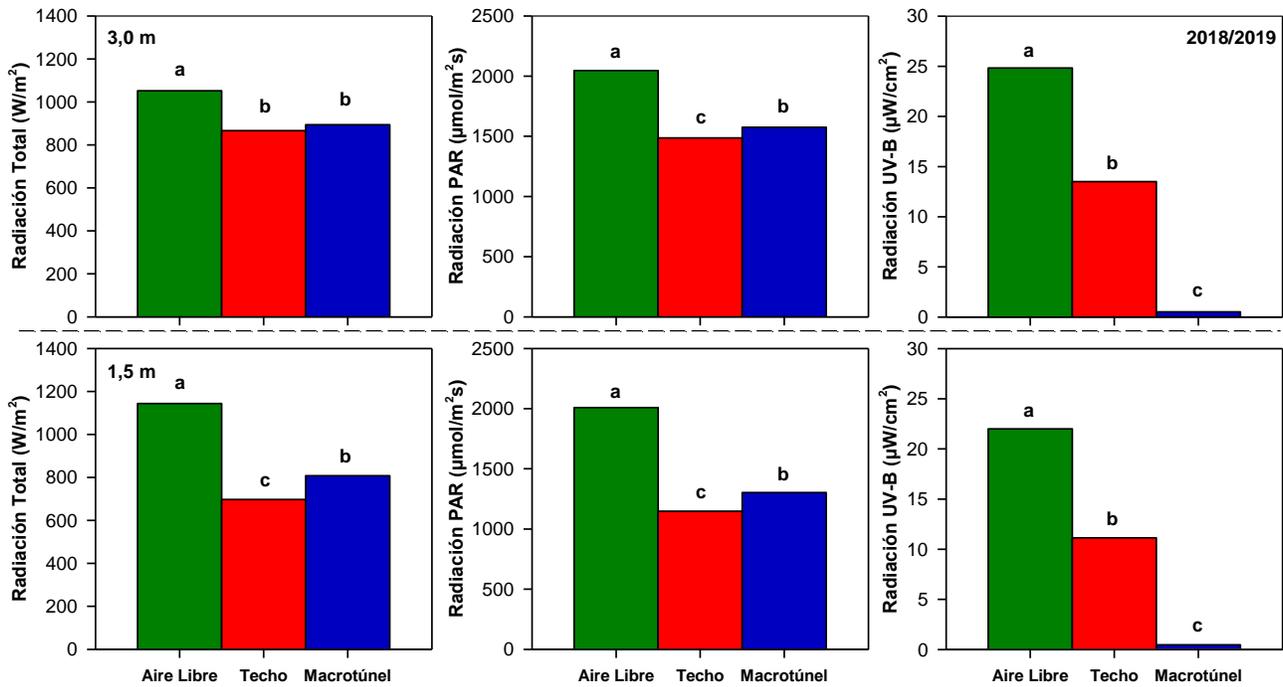
Las evaluaciones realizadas durante el periodo de crecimiento de los frutos, en las dos temporadas de estudio, indicaron que el Techo generó un ambiente más sombrío que el Macrotúnel, transmitiéndose bajo cada cubierta un 31 y 22% menos de radiación solar total de la recibida al Aire Libre, respectivamente. Asimismo, en el rango de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), se contabilizó un flujo 38 y 29% menor bajo el Techo y Macrotúnel, respectivamente. En contraste, la radiación ultravioleta (B) fue la más alterada por las cubiertas. Mientras que bajo el Techo se percibió un 49% menos del valor registrado al Aire Libre, bajo el Macrotúnel la reducción fue del 98%. Estas variaciones son semejantes a las reportadas en otros huertos de cerezos con tipos de cubiertas similares (Blanco et al., 2021b; Blanke y Balmer, 2008; Dekova y Blanke, 2007; Mika et al., 2019; Overbeck et al., 2018; Wallberg y Sagredo, 2014).

Las diferencias en la densidad del material (HDPE o LDPE), aditivos (protector UV), diseño (rafia o film) y forma de instalación (techo inclinado o macrotúnel arqueado) de las cubiertas explican las distintas filtraciones generadas (Blanke et al., 2017). Además, cuando la altura de medición era menor, solía disminuir la cantidad de la radiación percibida, por una mayor difusión de la luz (Healey et al., 1998) y la sombra de la copa de los árboles (Overbeck et al., 2018).

A pesar del descenso en la radiación PAR bajo las cubiertas, ésta se encontró en todas las mediciones sobre el nivel de saturación de la fotosíntesis para el cerezo (1.000-1.100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$), por lo que esta alteración no debería restringir la asimilación de los árboles (Blanke et al., 2017; Wallberg y Sagredo, 2014). No obstante, en huertos de cerezos con copas muy densas, el cultivo bajo cubiertas se ha complementado con el uso de *mulch* reflectantes para aumentar la iluminación en la parte interior de los árboles, favoreciendo también la coloración de los frutos en las variedades bicolors (Lang, 2009).

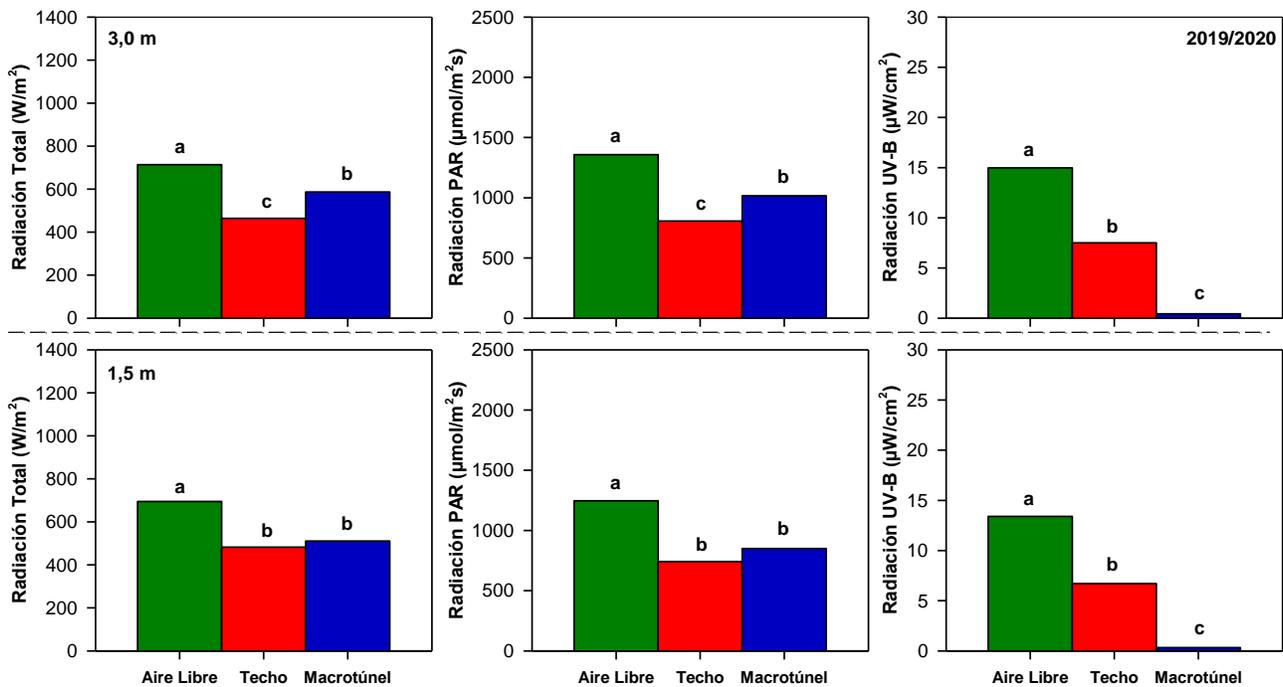
Por otro lado, la alta filtración de la radiación UV, especialmente bajo el Macrotúnel, ha conllevado problemas en la polinización de los árboles, alcanzándose baja cuaja cuando esta actividad fue realizada solo con abejas (*Apis mellifera*). El bloqueo de esta región del espectro lumínico desorienta el vuelo de estos insectos, siendo escasa su actividad en huertos con cubiertas (Blanke et al., 2017; Lang, 2009). Por este motivo, durante la floración sería adecuado mantener las cubiertas replegadas, o utilizar otros vectores adaptados al ambiente modificado, como los abejorros (*Bombus terrestris*) (Estay, 2007). También se ha evaluado la realización de una polinización mecánica en cerezos bajo cubiertas, mediante la aplicación del polen a través de una pulverizadora electrostática en remplazo de las abejas, no obstante los resultados han sido erráticos (Taylor y Whiting, 2019). Junto a los problemas en la polinización, la reducción en la transmisión de la radiación UV puede incrementar la actividad residual de los agroquímicos aplicados durante la temporada, pudiendo quedar niveles más altos en la fruta producida bajo cubierta al momento de la cosecha (Long et al., 2021).

La reducción de la radiación solar, junto con la restricción en el flujo del viento causadas por las cubiertas conllevan variaciones microclimáticas en cada ambiente.



* Columnas seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente, según Prueba HSD de Tukey.

Figura 1. Radiación interceptada: Total (W/m^2), Fotosintéticamente Activa (PAR, $\mu mol/m^2s$) y Ultravioleta B (UV-B, $\mu W/cm^2$); el 19-oct-2018, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Huerto Santa Carmen, Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2018/2019.



* Columnas seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente, según Prueba HSD de Tukey.

Figura 2. Radiación interceptada: Total (W/m^2), Fotosintéticamente Activa (PAR, $\mu mol/m^2s$) y Ultravioleta B (UV-B, $\mu W/cm^2$); el 08-nov-2018, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Huerto Santa Carmen, Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2019/2020.

4.2. Variación Microclimática

Las condiciones microclimáticas fueron afectadas por las cubiertas, aunque con diferente magnitud entre el tipo de cubierta, altura de medición y la temporada de estudio.

En promedio, durante los meses en que ocurre el crecimiento de los frutos (Sep.–Dic.), a 3,0 m de altura, la temperatura media del aire fue 0,8 y 1,4 °C más alta al interior del Techo y Macrotúnel, respectivamente, en comparación a lo registrado al Aire Libre. En cambio, a 1,5 m, la variaron fue de -0,2 y 0,8 °C (**Cuadro 4**).

En cuanto a la humedad relativa media del aire durante los mismos meses, en la altura superior se registró una diferencia de -1,4 y -3,5 puntos porcentuales en el Techo y Macrotúnel, respectivamente, en comparación a lo medido al Aire Libre. En la altura inferior, el cambio fue de 3,3 y -3,5 puntos porcentuales (**Cuadro 5**).

Cuadro 4: Temperatura (°C) media mensual del aire en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, a 3,0 y 1,5 m de altura, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel.

Temporada	Altura	Tratamiento	Temperatura Media (°C)						
			Sep.*	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.**
2018/2019	3,0 m	Aire Libre	12,9	14,5	18,3	20,3	21,6	21,8	18,2
		Techo	14,3	15,4	19,5	20,9	21,9	22,5	19,5
		Macrotúnel	14,7	16,7	20,8	21,6	21,5	21,5	18,0
	1,5 m	Aire Libre	13,3	14,9	18,7	21,1	21,9	22,0	18,1
		Techo	13,3	14,7	18,5	20,6	21,7	21,9	18,0
		Macrotúnel	14,3	16,2	20,2	21,8	23,0	22,8	18,8
2019/2020	3,0 m	Aire Libre	12,3	14,7	19,3	21,6	22,1	20,8	21,5
		Techo	13,7	15,3	19,6	21,8	22,2	20,7	21,4
		Macrotúnel	13,5	16,5	19,5	21,6	22,3	21,0	21,8
	1,5 m	Aire Libre	12,6	15,0	19,7	22,2	22,8	21,4	21,8
		Techo	13,1	14,8	19,3	21,6	22,3	20,8	21,2
		Macrotúnel	13,3	15,8	20,0	22,3	23,0	21,6	22,0

* Incluye datos del 15 al 30 de Septiembre; ** Incluye datos del 01 al 15 de Marzo.

Cuadro 5: Humedad relativa (%) media mensual del aire durante las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, a 3,0 y 1,5 m de altura, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel.

Temporada	Altura	Tratamiento	Humedad Relativa Media (%)						
			Sep.*	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.**
2018/2019	3,0 m	Aire Libre	77,4	70,8	63,9	60,5	55,4	59,7	63,2
		Techo	73,8	68,7	61,8	59,0	54,5	58,5	61,7
		Macrotúnel	70,8	65,1	58,0	56,7	54,5	59,7	62,9
	1,5 m	Aire Libre	75,0	68,6	62,5	56,6	52,8	58,2	61,7
		Techo	77,3	71,6	65,6	61,2	56,5	61,1	65,4
		Macrotúnel	69,9	63,3	56,0	52,5	46,5	51,4	53,9
2019/2020	3,0 m	Aire Libre	73,7	66,5	57,5	52,4	56,4	56,9	58,1
		Techo	72,3	66,2	57,2	52,5	56,5	57,4	58,9
		Macrotúnel	71,4	64,9	56,5	51,8	54,9	55,2	56,4
	1,5 m	Aire Libre	72,5	63,7	54,8	50,0	53,4	54,2	56,6
		Techo	73,0	68,0	59,0	54,3	57,2	58,0	60,4
		Macrotúnel	68,4	64,3	52,7	48,2	51,1	50,3	53,2

* Incluye datos del 15 al 30 de Septiembre. ** Incluye datos del 01 al 15 de Marzo.

Las mayores variaciones microclimáticas ocurrieron en la temporada 2018/2019, cuando las cubiertas estuvieron por mayor tiempo desplegadas. En 2019/2020, la postura del Techo fue acotada exclusivamente a los periodos de alta probabilidad de lluvias.

En el periodo de postcosecha (Ene.–Mar.), las cubiertas permanecieron mayoritariamente replegadas, haciéndose mínimas las diferencias entre los registros meteorológicos de los tratamientos.

Las modificaciones microclimáticas generadas por el Techo y el Macrotúnel mostraron tendencias similares a las observadas en investigaciones anteriores en cerezos (Ahumada et al., 2020c; Balmer et al., 2005; Blanco et al., 2019b; Børve et al., 2003; Børve y Meland, 1998; Dekova y Blanke, 2007; Hamm et al., 2007; Meland et al., 2017; Mika et al., 2019; Schäfer, 2005; Wallberg y Sagredo, 2014). Los mayores cambios ocurrirían cuando las condiciones ambientales son más cálidas, como los días despejados (Børve et al., 2003), y en la zona más próxima a las cubiertas (parte superior de los árboles) (Mika et al., 2019). A una altura inferior, las diferencias son menores debido a la sombra proyectada por la copa de los árboles que amortigua el alza térmica. Además, a este nivel se observó un efecto opuesto entre los tipos de cubierta. Bajo el Techo, el ambiente más oscuro y ventilado generó temperaturas inferiores y humedad relativa superiores a las percibidas al Aire Libre, mientras que al interior del Macrotúnel ocurrió lo contrario, debido a su mayor transparencia y diseño más cerrado.

Las variaciones de la temperatura bajo las cubiertas conllevaron diferencias en la acumulación térmica, pero con distinta magnitud entre los modelos de medición. En promedio entre las dos temporadas de estudio, desde el 15-Sep. al 31-Dic., los Grados Días (GD, base 10 °C) acumulados en las parcelas con Techo y Macrotúnel, a 3,0 m de altura, fueron 10 y 18% más altos, respectivamente a lo calculado al Aire Libre. En cambio a 1,5 m, la acumulación bajo el Techo fue 3% inferior, y en el Macrotúnel 9% superior (**Cuadro 6**). Por otro lado, la acumulación en Grados Hora de Crecimiento (GDH, base 4,5 °C), a 3,0 m sobre el suelo, fue 5 y 8% menores bajo el Techo y Macrotúnel, respectivamente, a lo estimado al Aire Libre. Mientras que a 1,5 m, la diferencia fue mínima, con solo 1% más de acumulación bajo el Techo y 2% menos en el Macrotúnel (**Cuadro 7**).

Las diferencias en la acumulación de GD entre los tratamientos indicarían la permanencia por mayor tiempo a altas temperaturas bajo las cubiertas. En cambio, los resultados obtenidos con el modelo GDH señalan que el tiempo de exposición a temperaturas dentro del rango de crecimiento óptimo de las plantas sería levemente menor en la zona superior de los árboles, y casi inalterada en la inferior (Anderson y Seeley, 1992).

Una mayor acumulación térmica adelanta la salida del receso en los cerezos (Drogoudi et al., 2020). No obstante, la exposición a temperaturas elevadas durante el periodo de floración, también se ha asociado a disminución en la cuaja de los árboles, debido a que en el ambiente más cálido disminuye la viabilidad del polen y ocurre degeneración de los óvulos (Hedhly et al., 2007). Por este motivo, sería favorable mantener ventilado o replegar las cubiertas hasta la fructificación, a fin de evitar problemas en las estructuras reproductivas.

Posteriormente, durante el crecimiento de los frutos, la mayor temperatura ayudaría a acelerar los procesos fisiológicos y adelantar la fenología de los árboles (Blanke et al., 2017).

Cuadro 6: Grados Día (GD, Base 10 °C) Acumulados en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, a 3,0 y 1,5 m de altura, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel.

Temporada	Altura	Tratamiento	Grados Dia (GD, Base 10 °C) Acumulados							Acumulado
			Sep.*	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.**	
2018/2019	3,0 m	Aire Libre	52	156	254	321	361	331	147	1.623
		Techo	75	187	289	339	368	350	167	1.775
		Macrotúnel	80	224	329	360	359	321	141	1.814
	1,5 m	Aire Libre	59	171	268	345	371	336	144	1.693
		Techo	59	167	261	332	363	333	143	1.657
		Macrotúnel	73	207	309	367	403	359	160	1.877
2019/2020	3,0 m	Aire Libre	55	167	282	361	376	316	173	1.729
		Techo	77	186	291	368	379	313	171	1.785
		Túnel	74	222	289	361	382	321	176	1.824
	1,5 m	Aire Libre	60	179	293	378	397	331	177	1.815
		Techo	67	171	284	360	381	315	169	1.747
		Macrotúnel	68	196	302	382	402	338	180	1.867

* Incluye datos del 15 al 30 de Septiembre; ** Incluye datos del 01 al 15 de Marzo.

Cuadro 7: Grados Hora (GDH, Base 4,5 °C) Acumulados en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, a 3,0 y 1,5 m de altura, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel.

Temporada	Altura	Tratamiento	Grados Hora (GDH, Base 4,5 °C) Acumulados							Acumulado
			Sep.*	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.**	
2018/2019	3,0 m	Aire Libre	3.106	7.371	8.915	9.552	9.162	7.910	3.892	49.910
		Techo	3.310	7.321	7.641	8.595	8.720	7.374	3.424	46.385
		Macrotúnel	3.454	6.951	6.677	8.238	8.995	8.185	4.169	46.669
	1,5 m	Aire Libre	3.245	7.313	8.094	8.004	8.023	7.314	3.690	45.683
		Techo	3.242	7.370	8.016	8.279	8.262	7.313	3.602	46.085
		Macrotúnel	3.414	6.937	7.214	7.641	7.490	6.992	3.552	43.240
2019/2020	3,0 m	Aire Libre	2.906	7.700	8.959	9.670	9.061	8.111	4.281	50.688
		Techo	2.942	7.741	8.743	9.274	8.890	8.088	4.318	49.996
		Túnel	3.146	7.165	8.738	9.430	8.755	7.829	4.109	49.172
	1,5 m	Aire Libre	3.035	7.650	8.302	8.695	8.203	7.335	3.994	47.214
		Techo	3.080	7.492	8.321	8.976	8.496	7.536	4.085	47.985
		Macrotúnel	3.216	8.017	8.287	8.775	8.373	7.468	4.073	48.207

* Incluye datos del 15 al 30 de Septiembre; ** Incluye datos del 01 al 15 de Marzo.

Además, las fluctuaciones en la temperatura y humedad relativa causaron diferencias en la demanda hídrica del microclima alrededor de los árboles, estimada a través del Índice de Estrés y Déficit de Presión de Vapor (DPV) acumulado (**Cuadro 8 y 9**).

En el nivel superior de los árboles, el Índice de Estrés Acumulado promedio entre los meses de Septiembre a Diciembre fue 24 y 34% más alto en las parcelas con Techo y Macrotúnel, respectivamente, comparado a lo estimado al Aire Libre. En cambio en el nivel inferior, la acumulación fue 6 y 1% menor. Por otro lado, para el mismo periodo de registro, el DPV acumulado a 3,0 m de altura fue 14 y 25% superior en el Techo y Macrotúnel, respectivamente, de acuerdo al cómputo realizado al Aire Libre. Mientras que a 1,5 m, la acumulación fue 8% menor en el Techo y 8% superior en el Macrotúnel.

Cuadro 8: Índice de Estrés Acumulado en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, a 3,0 y 1,5 m de altura, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel.

Temporada	Altura	Tratamiento	Índice de Estrés Acumulado							Acumulado
			Sep.*	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.**	
2018/2019	3,0 m	Aire Libre	3.694	15.908	31.724	41.837	55.114	45.613	22.429	216.319
		Techo	8.699	24.482	43.003	50.483	59.488	53.984	30.246	270.385
		Macrotúnel	8.260	30.723	50.941	53.152	55.895	43.260	20.799	263.030
	1,5 m	Aire Libre	5.116	18.928	35.280	48.475	58.071	46.597	21.326	233.793
		Techo	4.874	18.635	33.333	46.125	56.880	47.166	22.121	229.134
		Macrotúnel	4.458	20.832	39.640	51.669	69.285	52.248	25.277	263.409
2019/2020	3,0 m	Aire Libre	5.788	20.383	41.121	56.265	54.219	48.240	24.907	250.923
		Techo	10.589	24.720	44.063	58.450	55.543	47.925	24.391	265.681
		Túnel	9.699	29.732	44.166	57.822	57.164	51.298	26.895	276.776
	1,5 m	Aire Libre	6.809	22.089	44.044	60.942	59.738	52.551	25.564	271.737
		Techo	7.481	20.201	41.045	54.871	55.264	48.328	23.268	250.458
		Macrotúnel	5.164	16.066	41.682	58.573	57.710	50.278	23.795	253.268

* Incluye datos del 15 al 30 de Septiembre; ** Incluye datos del 01 al 15 de Marzo.

Cuadro 9: Déficit de Presión de Vapor (DPV, kPa) Acumulado en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020, a 3,0 y 1,5 m de altura, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel.

Temporada	Altura	Tratamiento	Déficit de Presión de Vapor (DPV, kPa) Acumulado							Acumulado
			Sep.*	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.**	
2018/2019	3,0 m	Aire Libre	6,6	19,2	29,8	37,1	46,3	39,5	19,1	198
		Techo	9,9	23,9	37,0	42,2	48,5	45,3	24,9	232
		Macrotúnel	10,3	29,3	44,2	46,0	46,6	38,0	17,8	232
	1,5 m	Aire Libre	7,7	21,8	32,6	43,6	49,5	40,9	18,6	215
		Techo	7,1	20,2	30,3	40,1	47,2	40,4	18,6	204
		Macrotúnel	9,2	26,5	39,6	48,4	59,1	46,7	22,6	252
2019/2020	3,0 m	Aire Libre	7,6	22,3	36,1	46,9	46,2	40,6	21,0	221
		Techo	10,6	24,8	37,4	47,9	46,6	40,1	20,7	228
		Macrotúnel	10,3	28,4	37,9	47,8	48,3	42,6	22,4	238
	1,5 m	Aire Libre	8,4	24,5	39,2	50,9	51,3	44,6	22,2	241
		Techo	8,8	22,0	36,2	46,1	47,3	41,1	20,2	222
		Macrotúnel	9,0	23,1	39,6	50,6	51,4	45,4	22,2	241

* Incluye datos del 15 al 30 de Septiembre; ** Incluye datos del 01 al 15 de Marzo.

Estos resultados indican que el microclima bajo las cubiertas tendió a ser más estresante que al Aire Libre, principalmente en la parte superior de los árboles. En contraste en el nivel inferior, el Techo generó una condición menos demandante que al exterior, debido a la menor temperatura y mayor humedad relativa generada por el ambiente más sombrío y ventilado. En cambio bajo el Macrotúnel, el ambiente más iluminado y hermético generó una condición similar o superior a la percibida al Aire Libre, contrastando con lo reportado previamente para este tipo de cubierta, donde el microclima tuvo una humedad relativa permanentemente mayor a la del campo abierto (Blanco et al., 2021b). Esta discrepancia puede atribuirse a las diferentes condiciones climáticas y frecuencia de ventilación del macrotúnel entre los estudios.

Las variaciones microclimáticas causadas por las cubiertas, especialmente tipo Techo, podrían ser aminoradas con cambios en el diseño y la forma de instalación del plástico. Evaluaciones realizadas en cerezos mostraron que los techos de film provocaron menores cambios en la temperatura que los con diseño en rafia (Abud et al., 2018; Bastías y Leyton, 2018). Además, se ha observado que mientras mayor es el espacio comprendido entre el techo y los árboles, menores son las perturbaciones ambientales (Overbeck et al., 2018).

4.3. Fenología

El uso de las cubiertas generó un adelanto de la fenología de los árboles, siendo mayor su efecto cuando se promovió el anticipo de la brotación con la aplicación de rompedores químicos de dormancia en la temporada 2019/2020 (**Figura 3**).

En la temporada 2018/2019, el desplazamiento fenológico fue realizado únicamente con el despliegue de las cubiertas a partir de agosto, alrededor de 30 días antes de la fecha de plena flor promedio de cerezos cv. 'Santina' cultivados al aire libre en la zona de Sagrada Familia. Esta intervención favoreció una acumulación térmica más temprana que a campo abierto, logrando un adelanto de 3 y 7 días en la aparición de puntas verdes, y 5 y 7 días en la plena flor de los árboles bajo el Techo y Macrotúnel, respectivamente, a las fechas ocurridas al Aire Libre. Estas diferencias tendieron a mantenerse a lo largo de la temporada, ocurriendo el inicio de la cosecha de las parcelas bajo Techo y Macrotúnel 4 y 8 días más temprano que en la al Aire Libre.

Posteriormente en la temporada 2019/2020, la estrategia del huerto incluyó la aplicación de Dormex® y Fiore® en las parcelas con Techo y Macrotúnel, a fin de lograr un adelanto mayor en la cosecha, y además programar la maduración de los bloques secuencialmente, ayudando a facilitar la logística de las labores en aquel momento. Esta estrategia logró un adelanto de 12 y 37 días en la aparición de puntas verdes, y 17 y 38 días en la plena flor bajo el Techo y Macrotúnel, respectivamente, a las fechas registradas al Aire Libre. Con el avance de la temporada, las diferencias fueron haciéndose menores, dándose inicio a la cosecha de los cuarteles con Techo y Macrotúnel 9 y 29 días más temprano que al Aire Libre.

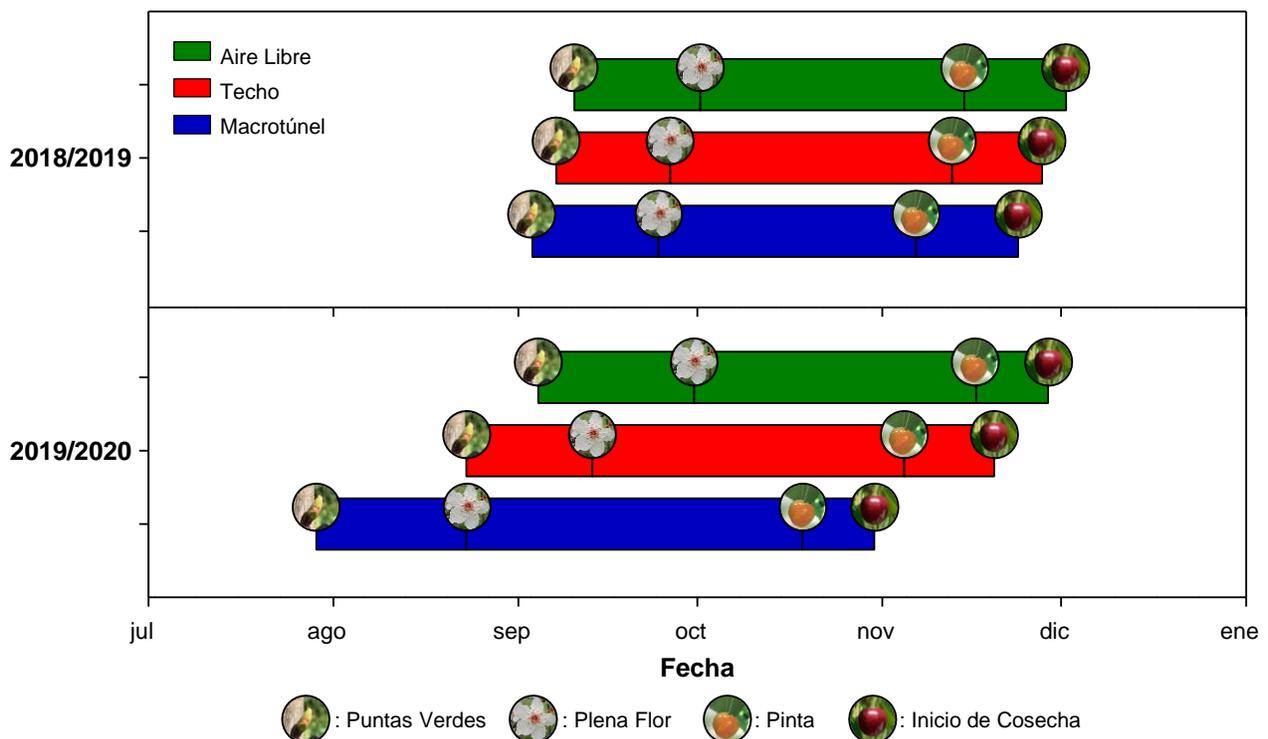


Figura 3. Fechas fenológicas de Puntas Verdes, Plena Flor, Pinta (Envero) e Inicio de Cosecha, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Huerto Santa Carmen, Sagrada Familia, Región del Maule. Temporadas 2018/2019 y 2019/2020.

El periodo reproductivo de los árboles, comprendido entre las fechas de plena flor e inicio de cosecha, casi no mostró diferencias entre los tratamientos en la temporada 2018/2019. En cambio en la 2019/2020, este periodo fue 8 y 9 días más largo en los árboles cultivados bajo el Techo y el Macrotúnel, respectivamente a lo ocurrido al Aire Libre (**Cuadro 10**). Por otro lado, la necesidad térmica en el periodo reproductivo, estimada mediante los modelos de Grados Día Acumulados (GDA) y Grados Hora de Crecimiento (GDH, por su sigla en inglés), mostró leves variaciones entre los tratamientos. En la temporada 2018/2019, los árboles establecidos bajo el Techo acumularon 6,7% menos GDA y 0,07% menos GDH que lo requerido por los cultivados al Aire Libre. Mientras que bajo el Macrotúnel, la acumulación de GDA fue 3,6% superior y de GDH 11% inferior. Posteriormente en la temporada 2019/2020, el recuento de GDA y GDH bajo el Techo fue 5% menor y 3,8% mayor, respectivamente a lo registrado en el periodo reproductivo de los árboles al Aire Libre. En cambio bajo el Macrotúnel, el requerimiento fue 25 y 1,8% menor. Las diferencias en el periodo reproductivo y el requerimiento térmico pueden ser explicadas por las distintas condiciones climáticas con las que inició cada tratamiento. El adelanto de la floración bajo las cubiertas generó un desarrollo inicial del fruto más lento, debido a que ocurrió en un momento en que las condiciones ambientales aún son moderadas.

En ambas temporadas, la caída de hojas pasó en la misma fecha entre los árboles cultivados al Aire Libre y bajo el Techo. En cambio, en los que se encontraban bajo el Macrotúnel, esta fase ocurrió 12 días más temprano en la temporada 2018/2019, y 3 días antes en la 2019/2020, que la sucedida al Aire Libre. Estas variaciones ocasionaron que el periodo vegetativo, comprendido entre las fechas de puntas verdes y caída de las hojas, fuera 3 días más largo en los árboles bajo el Techo, y 5 días más corto en los bajo Macrotúnel, respecto al registrado al Aire Libre en la temporada 2018/2019, y 12 y 34 días más largo en la 2019/2020. El alargamiento del periodo de vegetación es atribuido principalmente a un más lento desarrollo en las etapas iniciales de la brotación.

Las experiencias anteriores sobre la influencia del uso de cubiertas en la fenología de los cerezos han obtenido dispares resultados. Por ejemplo, en un trabajo realizado en Alemania con cerezos bajo techo no notaron variaciones en la fecha de floración, pero si un retraso en la cosecha de las variedades tardías (Krieghoff, 2013). En cambio, en otras investigaciones realizadas en Chile, se ha observado un adelanto de 15 días en la plena flor (Wallberg y Sagredo, 2014), y 4 a 5 días en la cosecha (Bastías et al., 2019; Bastías y Leyton, 2018), respecto a la ocurrida al aire libre. En el caso de los macrotúneles, en cerezos cultivados en Alemania, se ha reportado un anticipo de entre 6 a 18 días en fecha de floración, y 12 a 19 días en la de cosecha, en relación a la ocurrida a campo abierto (Balmer et al., 2005; Blanke y Balmer, 2008; Dekova y Blanke, 2007; Hamm et al., 2007). En Chile, el adelanto ha variado entre 4 a 7 días en la plena flor y 8 a 11 días en la cosecha (Blanco et al., 2021b, 2021a, 2019b). Los distintos resultados obtenidos pueden ser atribuidos a las diferencias en las condiciones climáticas de cada zona de estudio, junto con la incorporación de estrategias complementarias para desplazar la fenología, como la aplicación de rompedores de receso, uso de mallas negras o enfriamiento evaporativo durante el invierno para acelerar la acumulación de frío, etc. (Long et al., 2021).

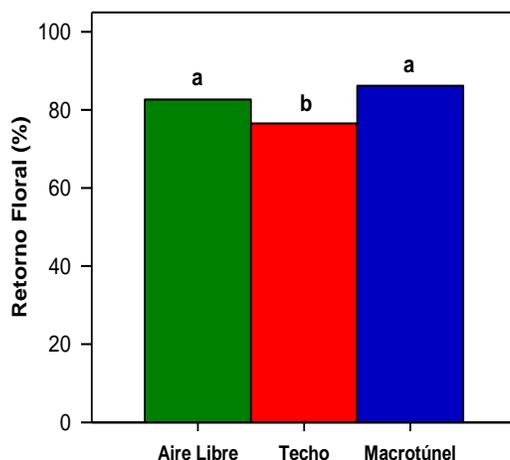
Si bien el adelanto de la fenología de los árboles puede traer positivos impactos en el precio de venta de la fruta, la anticipación de la brotación a una fecha muy temprana puede hacer coincidir la floración y el desarrollo inicial del fruto con condiciones ambientales aún con muy baja temperatura. Esta situación puede causar daños en los órganos florales y dificultar la actividad de los polinizadores, con consecuencias negativas en la cuaja y retención de la fruta (Blanke et al., 2017). Por este motivo, la estrategia de adelanto de la fenología debiera ser acompañada con sistemas de protección de heladas y un programa nutricional e hídrico que apoye el desarrollo inicial de los árboles, tendientes a proteger las estructuras formadas, disminuir el aborto frutal ("pasma"), contener el crecimiento vegetativo y ayudar a que el tiempo ganado en el adelanto de la floración se mantenga hasta la cosecha de la fruta.

Cuadro 10: Fechas de ocurrencia de los estados fenológicos, Periodo Reproductivo y Periodo Vegetativo en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.

Temporada	Tratamiento	Estados Fenológicos					Periodo Reproductivo			Periodo Vegetativo
		Puntas Verdes	Plena Flor	Pinta (Envero)	Inicio Cosecha	Caída de hojas	Días	GDA	GDH	Días
2018/2019	Aire Libre	10-Sep.	01-Oct.	14-Nov.	01-Dic.	06-May.	61	449	15.687	238
	Techo	07-Sep.	26-Sep.	12-Nov.	27-Nov.	06-May.	62	419	15.676	241
	Macrotúnel	03-Sep.	24-Sep.	06-Nov.	23-Nov.	24-Abr.	60	465	13.993	233
2019/2020	Aire Libre	04-Sep.	30-Sep.	16-Nov.	28-Nov.	27-Abr.	59	453	15.524	236
	Techo	23-Ago.	13-Sep.	04-Nov.	19-Nov.	27-Abr.	67	430	16.112	248
	Macrotúnel	29-Jul.	23-Ago.	18-Oct.	30-Oct.	24-Abr.	68	337	15.247	270

GDA: Grados Día Acumulados; GDH: Grados Hora de Crecimiento.

Luego de las dos temporadas de estudio, se realizó una evaluación del retorno floral de los árboles, para analizar si el uso de las cubiertas pudiera tener consecuencias en la formación de las yemas reproductivas. Las mediciones mostraron que los árboles cultivados bajo el Techo presentaron cerca de un 7% menos de retorno floral que los que se desarrollaron al Aire Libre (**Figura 4**). Estos resultados contrastan con los reportados en una reciente investigación realizada con cerezos bajo techo, en donde no se observaron variaciones en el número de centros frutales/árbol y de primordios florales/centro frutal entre los árboles cultivados al aire libre y bajo plásticos de diferente densidad y tiempo de postura (Ahumada et al., 2020b).



* Columnas seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente, según Prueba HSD de Tukey.

Figura 4. Retorno Floral (%) en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Huerto Santa Carmen, Sagrada Familia, Región del Maule. Temporadas 2020/2021.

Las investigaciones sobre el cultivo de cerezos bajo cubiertas concuerdan en que la reducción en la transmisión de la radiación solar no es suficiente para afectar la capacidad fotosintética y el crecimiento de los árboles (Blanke et al., 2017). En el caso del presente estudio, el menor retorno floral alcanzado bajo el Techo puede ser consecuencia de la alta carga frutal que soportaron los árboles entre las temporadas, lo cual puede haber afectado su disponibilidad de reservas (**Cuadro 11**). En contraste, se observó que los árboles que se desarrollaron bajo el Macrotúnel y que presentaron producciones menores, debido a problemas con los polinizadores durante la floración, mostraron un retorno floral levemente mayor que los que se desarrollaron al Aire Libre, aunque sin diferencias significativas.

La inducción y diferenciación floral en cerezos es afectada por la exposición lumínica, el diferencial térmico, contenido de nutrientes y reservas, estado hídrico y balance hormonal (Koutinas et al., 2010). El uso de cubiertas puede influir en todos estos factores, pero no se ha reportado un efecto negativo en la formación de las estructuras florales, no así luego de ya abiertas, donde se ha mencionado malformaciones y baja cuaja por un excesivo calor en floración (Blanke et al., 2017).

Cuadro 11: Producción de fruta (kg) en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.

Temporada	Tratamiento	Producción/ha (kg)	Producción/árbol (kg)
2018/2019	Aire libre	5.753	5,1
	Techo	7.300	6,4
	Macrotúnel	666	0,6
2019/2020	Aire libre	11.028	9,7
	Techo	12.233	10,8
	Macrotúnel	6.060	5,3

4.4. Estado Hídrico

El estado hídrico de los árboles presentó variaciones entre los tratamientos. Las mediciones realizadas durante el periodo de crecimiento de los frutos (pre cosecha) en la temporada 2018/2019, mostraron que la conductancia estomática de las hojas que se desarrollaron bajo ambas cubiertas fue significativamente más alta que en las que lo hicieron al Aire Libre. No obstante, en la siguiente temporada no se percibieron mayores cambios en esta variable ni en el potencial xilemático de los árboles (**Cuadro 12**).

En contraste, las mediciones realizadas luego de la recolección de la fruta (post cosecha) y sin presencia de los tratamientos, en ambas temporadas de estudio, indicaron que los árboles que se cultivaron bajo las cubiertas tendieron a mostrar mayor estrés hídrico que los que crecieron al Aire Libre (**Cuadro 13**).

Cuadro 12: Conductancia Estomática (mmol/m²·s) y Potencial Xilemático (MPa) durante la precosecha de cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 (19-nov.-2018) y 2019/2020 (29-oct.-2019),

Temporada	Tratamiento	Conductancia Estomática (mmol/m ² ·s)	Potencial Xilemático (MPa)
2018/2019	Aire Libre	165 b	-
	Techo	312 a	-
	Macrotúnel	264 a	-
	Significancia	**	-
2019/2020	Aire Libre	310	-0,76
	Techo	299	-0,73
	Macrotúnel	348	-0,79
	Significancia	n.s.	n.s.
Temporada		**	-
Tratamiento		**	-
Temporada * Tratamiento		**	-

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

Cuadro 13: Conductancia Estomática (mmol/m²·s) y Potencial Xilemático (MPa) durante la postcosecha de cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 (18-ene.-2019) y 2019/2020 (28-ene.-2020),

Temporada	Tratamiento	Conductancia Estomática (mmol/m ² ·s)	Potencial Xilemático (MPa)
2018/2019	Aire Libre	282	-
	Techo	220	-
	Macrotúnel	222	-
	Significancia	n.s.	-
2019/2020	Aire Libre	364	-1,13 a
	Techo	356	-1,37 b
	Macrotúnel	281	-1,47 b
	Significancia	n.s.	**
Temporada		**	-
Tratamiento		n.s.	-
Temporada * Tratamiento		n.s.	-

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

Durante el periodo de crecimiento de las cerezas, se ha reportado que un potencial xilemático sobre -0,9 MPa no limitaría la producción de fruta en cerezos cv. 'New Star' (Marsal et al., 2009). En base a esta referencia, los árboles de todos los tratamientos no habrían presentado estrés hídrico durante la precosecha.

Algunas experiencias recientes en el cultivo de cerezos bajo macrotúnel han reportado que previo a la cosecha, los árboles cubiertos presentan mayor conductancia estomática y un potencial xilemático

menos negativo que aquellos que se desarrollan a campo abierto, asociado a un menor DPV en el ambiente modificado (Blanco et al., 2021b, 2019b). Similar tendencia ha sido reportada para diseños en techo de polietileno de distintas densidades y periodo de cobertura (Ahumada y Cuevas, 2020). En el presente estudio se observó un efecto semejante pese a la generación de un microclima con mayor demanda hídrica, especialmente bajo el Macrotúnel, lo que podría explicarse por la mantención de alta disponibilidad de agua en el suelo a través del riego, lo cual se ha observado aminoraría la respuesta hídrica de los árboles frente a las variaciones ambientales (Blanco et al., 2018).

La aplicación de un riego deficitario controlado en cerezos cv 'Santina'/'Colt' bajo macrotúnel ha permitido un ahorro del 25% del consumo regular de agua del huerto, sin afectar el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruta, no así cuando se aplica el mismo tratamiento a campo abierto (Blanco et al., 2021b), indicando que el uso de cubiertas podría ayudar a aumentar la eficiencia hídrica del cultivo.

En la postcosecha, la condición más estresada de los árboles que crecieron bajo las cubiertas indicaría que la modificación microclimática a la que fueron expuestos durante las etapas iniciales del crecimiento vegetativo podría haberles conferido una menor ambientación fisiológica frente a la alta radiación solar y temperatura recibida en el verano. En este periodo, el potencial xilemático de los árboles que fueron cultivados bajo el Techo y Macrotúnel estuvo bajo $-1,3$ MPa, valor umbral propuesto como límite de estrés hídrico en la postcosecha de cerezos cv 'Prime Giant' (Blanco et al., 2018). Este estrés en postcosecha puede repercutir en un descenso en la asimilación de CO_2 y acumulación de reservas, aumentando el riesgo de alteraciones en la diferenciación floral y producción frutal de la siguiente temporada, debido a una menor capacidad refrigerante de la planta (Marsal et al., 2009; Wenden et al., 2017).

Los resultados del presente estudio indican que el estado hídrico de los cerezos bajo cubiertas muestra menor estrés o no es alterado cuando se mantiene alta disponibilidad de agua en el suelo. Luego del retiro de las cubiertas, se debe prestar atención al desempeño fisiológico de los árboles, puesto que pareciera que presentasen dificultades de ambientación en las condiciones más estresantes del verano. En este periodo puede ajustarse la programación del riego, y emplear estrategias para reducir el estrés en los árboles, como la aplicación de protectores solares tipo caolinitas o la instalación de mallas sombreadoras. También puede evaluarse la permanencia del techo desplegado para disminuir la radiación sobre los árboles.

4.5. Crecimiento Vegetativo

El crecimiento y desarrollo foliar de los brotes anuales fue afectado por las cubiertas, aunque con diferente comportamiento entre las temporadas de estudio (**Cuadro 14**). Durante la temporada 2018/2019, los brotes que crecieron bajo el Techo tuvieron una longitud 23% mayor que los medidos al Aire Libre. Sin embargo, en la temporada 2019/2020 no se observaron diferencias entre los tratamientos. Por otro lado, en la primera temporada, el número de hojas y área foliar tendieron a ser más altos en los brotes que crecieron bajo las cubiertas, en cambio en la segunda, el efecto tendió a ser opuesto, sobre todo bajo el Macrotúnel. A pesar de estos cambios, en ambas temporadas no se percibieron variaciones en el largo de los entrenudos.

El peso y área de las hojas no mostró diferencias significativas entre los tratamientos; no obstante, el peso específico (relación Peso/Área) sí fue alterado, especialmente bajo el Techo, lo que indicaría un menor espesor en su lámina foliar (**Cuadro 15**).

Cuadro 14: Largo (cm), N° de hojas/brote, Área foliar/brote (cm²) y Largo de entrenudos (cm), de brotes anuales de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 (23-ene.-2019) y 2019/2020 (28-ene.-2020).

Fecha	Tratamiento	Largo (cm)	N° de hojas/brote	Área foliar/brote (cm ²)	Largo de entrenudos (cm)
2018/2019	Aire Libre	43,5 b	19,3 b	1.383	2,3
	Techo	52,9 a	22,0 a	1.519	2,4
	Macrotúnel	47,1 ab	21,8 a	1.433	2,2
	Significancia	*	*	n.s.	n.s.
2019/2020	Aire Libre	26,2	18,8 a	1.044	1,5
	Techo	26,5	17,7 ab	1.062	1,6
	Macrotúnel	26,3	15,8 b	947	1,7
	Significancia	n.s.	*	n.s.	n.s.
Temporada	**	**	**	**	
Tratamiento	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
Temporada * Tratamiento	n.s.	**	n.s.	n.s.	

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

Cuadro 15: Peso (g), Área (cm²) y Relación Peso/Área (mg/cm²) en hojas de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 (23-ene.-2019) y 2019/2020 (28-ene.-2020).

Fecha	Tratamiento	Peso (g)	Área (cm ²)	Peso específico (mg/cm ²)
2018/2019	Aire Libre	2,1	71,7	28,6 ab
	Techo	1,9	70,0	27,6 b
	Macrotúnel	2,0	66,4	30,1 a
	Significancia	n.s.	n.s.	**
2019/2020	Aire Libre	1,4	56,2	25,9
	Techo	1,5	61,2	24,7
	Macrotúnel	1,5	60,0	25,5
	Significancia	n.s.	n.s.	n.s.
Temporada	**	**	**	
Tratamiento	n.s.	n.s.	**	
Temporada * Tratamiento	n.s.	n.s.	n.s.	

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

En general, las evaluaciones de cerezos bajo cubiertas indican que el crecimiento vegetativo tiende a aumentar (Blanke et al., 2017). En cerezos bajo techo se ha reportado mayor elongación de brotes y tamaño de hojas (Wallberg y Sagredo, 2014), así como mayor Índice de Área Foliar (IAF), aumentando las diferencias cuando la cubierta permanecía desplegada por más tiempo (Ahumada

et al., 2020d). Sin embargo, también se ha observado menor cantidad de hojas y reducido incremento del diámetro de tronco, asociados a una menor actividad fotosintética de los árboles (Schäfer, 2005).

Por otro lado, las experiencias de cerezos bajo macrotúnel han mostrado mayor área de sección transversal de tronco (ASTT) y altura de los árboles (Lang et al., 2011), mayor área foliar/árbol, IAF y relación área foliar/fruto (Blanco et al., 2021b), mayor elongación y área foliar de los brotes (Balmer et al., 2005; Hamm et al., 2007; Lang, 2014), mayor velocidad de crecimiento de las hojas (Blanco et al., 2019b), menor ángulo de contacto y mayor carga de cera cuticular de las hojas (Hunsche y Noga, 2011), y mayor contenido de clorofila en las hojas (Overbeck et al., 2018). No obstante, también se ha indicado ausencia de variaciones en la morfología de las hojas (Blanco et al., 2019b; Overbeck et al., 2018).

El ambiente más cálido promovería el crecimiento vegetativo en los cerezos (Blanke et al., 2017). Además, este efecto puede acrecentarse por los cambios en la composición de la radiación solar recibida bajo las cubiertas, lo cual puede inducir diferentes respuestas en los fotorreceptores de los árboles (Bastías y Corelli-Grappadelli, 2012). Ante una menor radiación UV, algunas especies aumentan el largo de sus brotes, asociado principalmente a una mayor dominancia apical dada una menor fotodestrucción de las auxinas (Barnes et al., 1990; Ros y Tevini, 1995). También, se ha observado mayor área y menor grosor de las hojas cuando hay menos radiación UV, posiblemente por una menor necesidad de capas de fotoprotección (Jansen, 2002; Overbeck et al., 2018).

Las alteraciones en el crecimiento vegetativo pueden afectar la intercepción y distribución de la luz al interior de la copa de los árboles, perjudicando la inducción/diferenciación floral para la siguiente temporada (Ayala y Lang, 2017). Además, estos cambios pueden desbalancear la relación área foliar/fruto, con consecuencias negativas en la producción y calidad de la fruta, por una mayor competencia de fotoasimilados (Ayala y Lang, 2015).

Los cambios en el crecimiento vegetativo de los árboles bajo cubiertas pueden ser aminorados utilizando portainjertos y variedades de bajo vigor, programas nutricionales con menor aporte de nitrógeno y la utilización de cubiertas reflectantes para favorecer la iluminación en el interior de la canopia de los árboles (Blanke et al., 2017).

Los resultados de este estudio indican que el crecimiento vegetativo en un clima cálido con alta radiación solar es mínimamente afectado por las cubiertas, aunque los resultados varían entre las temporadas de estudio.

4.6. Índices de pigmentos en hojas

Las cubiertas generaron variaciones en el contenido relativo de pigmentos en las hojas, medido a través de los índices SPAD y Dualex, aunque con diferente magnitud entre el tipo de cubierta, momento de evaluación y temporada de estudio.

Durante el periodo de crecimiento de los frutos (precosecha) en la temporada 2018/2019, los índices SPAD y de Clorofila no mostraron variaciones entre los tratamientos. No obstante en la temporada 2019/2020, ambos índices fueron significativamente superiores bajo las cubiertas. El índice de balance de nitrógeno fue más alto solo en las hojas de los árboles bajo el Macrotúnel en ambas temporadas de estudio. El índice de flavonoides fue 19% inferior en las hojas que crecieron bajo el Macrotúnel respecto a lo medido al Aire Libre y bajo el Techo en la primera temporada. En cambio en la segunda, este índice no mostró variaciones entre los tratamientos. El índice de antocianinas no fue afectado por las cubiertas en la temporada 2018/2019. Sin embargo en la siguiente, las hojas bajo el Techo y Macrotúnel mostraron valores 35% inferiores a lo obtenido al Aire Libre (**Cuadro 16**).

Luego de la cosecha de la fruta (postcosecha), los índices SPAD y de Clorofila tendieron a ser menores en los árboles bajo las cubiertas en la temporada 2018/2019. En la temporada 2019/2020, solo las hojas bajo el Macrotúnel mostraron valores significativamente menores. El índice de balance de nitrógeno en las hojas bajo el Macrotúnel fue 17% más alto que lo medido en los otros tratamientos en la primera temporada de estudio, en cambio en la segunda, las hojas bajo Techo se diferenciaron en igual magnitud. El índice de flavonoides tendió a ser inferior bajo las cubiertas en ambas temporadas. El Índice de Antocianinas fue levemente más alto bajo las cubiertas en la temporada 2018/2019. Sin embargo, en la temporada 2019/2020, solo las hojas bajo el Macrotúnel presentaron valores significativamente mayores (**Cuadro 17**).

El contenido relativo de pigmentos tendió a aumentar con el avance de la fenología de los árboles, a excepción del índice de balance de nitrógeno, que disminuyó en la temporada 2019/2020. Una reciente investigación realizada en cerezos cvs. 'Bellise', 'Samba' y 'Rita' con y sin macrotúnel, reportó un patrón similar en la evolución de estos índices, alcanzando valores más altos en los índices de clorofila y de balance de nitrógeno y más bajos en el índice de flavonoides en las hojas que se desarrollaron bajo la cubierta (Overbeck et al., 2018).

Los índices SPAD, de clorofila y de balance de nitrógeno están directamente relacionados con el estado nutricional de la planta (Cartelat et al., 2005; Overbeck et al., 2018). Un mayor valor en el índice de clorofila ha coincidido con una más alta producción de fruta en diferentes variedades de cerezos, posiblemente dado un mejor nivel de nitrógeno y capacidad fotosintética de los árboles (Overbeck et al., 2018). En el presente estudio, los índices SPAD, de clorofila y de balance de nitrógeno tendieron a ser más altos en los árboles bajo cubierta durante la precosecha, especialmente bajo el Macrotúnel, lo que concordó con el efecto observado en la conductancia estomática de las hojas (**Cuadro 13**). En la postcosecha, los valores de los árboles bajo las cubiertas mostraron tendencias diferentes entre las temporadas, y no se asociaron con el estado hídrico de las hojas.

Cuadro 16: Índices SPAD y Dualex (Clorofila, Balance de Nitrógeno, Flavonoides y Antocianinas) durante la precosecha de cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 (19-nov.-2018) y 2019/2020 (29-oct.-2019).

Temporada	Tratamiento	Índice SPAD	Índices Dualex			
			Clorofila	Balance de Nitrógeno	Flavonoides	Antocianinas
2018/2019	Aire Libre	43	23	15 b	1,6 a	0,04
	Techo	40	22	14 b	1,6 a	0,05
	Macrotúnel	42	26	21 a	1,3 b	0,04
	Significancia	n.s.	n.s.	**	**	n.s.
2019/2020	Aire Libre	35 b	25 c	17 b	1,5	0,10 a
	Techo	39 a	28 b	19 b	1,5	0,07 b
	Macrotúnel	41 a	31 a	22 a	1,5	0,06 b
	Significancia	**	**	**	n.s.	**
Temporada	n.s.	**	**	n.s.	**	
Tratamiento	n.s.	**	**	**	**	
Temporada * Tratamiento	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

Cuadro 17: Índices SPAD y Dualex (Clorofila, Balance de Nitrógeno, Flavonoides y Antocianinas) durante la postcosecha de cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 (18-ene.-2019) y 2019/2020 (28-ene.-2020).

Temporada	Tratamiento	Índice SPAD	Índices Dualex			
			Clorofila	Balance de Nitrógeno	Flavonoides	Antocianinas
2018/2019	Aire Libre	44 a	36 b	18 b	2,0 a	0,09 b
	Techo	42 ab	33 a	18 b	1,8 b	0,10 ab
	Macrotúnel	42 b	34 ab	21 a	1,7 b	0,11 a
	Significancia	**	**	**	**	**
2019/2020	Aire Libre	40 a	29 a	15 b	2,0 a	0,09 b
	Techo	42 a	31 a	17 a	1,8 b	0,07 b
	Macrotúnel	36 b	26 b	14 b	1,9 ab	0,12 a
	Significancia	**	**	**	**	**
Temporada	**	**	**	*	n.s.	
Tratamiento	**	**	n.s.	**	**	
Temporada * Tratamiento	**	**	**	*	**	

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

El índice de flavonoides ha mostrado una alta correlación con el contenido de fenoles en las hojas (Barthod et al., 2007). En copas con alta exposición a la radiación UV este índice es mayor, mientras que en las menos iluminadas tiende a disminuir, por lo que las variaciones en este indicador pueden dar una referencia de los cambios en la síntesis de compuestos fotoprotectores en las hojas frente a alteraciones lumínicas (Overbeck et al., 2018). Los menores valores en el índice de flavonoides obtenidos bajo las cubiertas durante la postcosecha, refuerzan la hipótesis propuesta en el capítulo 4.4, la cual postula que las alteraciones microclimáticas durante las etapas tempranas del crecimiento vegetativo, pueden haber dejado a las hojas menos ambientadas frente a las condiciones de alta luminosidad y estrés térmico del verano, mostrando una menor respuesta en la producción de fenoles. No obstante, pareciera ser que los árboles compensaran esta debilidad mediante la síntesis de otros compuestos fotoprotectores como las antocianinas, cuyo índice alcanzó valores más altos bajo las cubiertas en postcosecha, especialmente bajo el Macrotúnel.

4.7. Contenido mineralógico en hojas y frutos

El contenido mineralógico de las hojas y frutos fue afectado por las cubiertas, aunque con diferente magnitud entre el tipo de cubierta, elemento y temporada de evaluación.

En las hojas, el nitrógeno (N) no mostró variaciones entre los tratamientos en ambas temporadas de estudio. El fósforo (P) tampoco fue afectado en la temporada 2018/2019. No obstante en la 2019/2020, las hojas que se desarrollaron bajo el Macrotúnel obtuvieron una concentración 23% superior a la alcanzada al Aire Libre y bajo el Techo. El potasio (K) no presentó diferencias en ambas temporadas. El calcio (Ca) tendió a ser más alto en las hojas que crecieron bajo el Techo en la primera temporada; en cambio en la segunda, la concentración de este elemento fue mayor bajo las dos cubiertas. El magnesio (Mg) fue levemente mayor bajo el Techo en la temporada 2018/2019. Sin embargo en la siguiente, las hojas recolectadas bajo el Macrotúnel fueron las que obtuvieron los valores más altos.

En cuanto a los microelementos, el manganeso (Mn) tendió a ser superior bajo el Macrotúnel en ambas temporadas, aunque sin diferencias significativas. El zinc (Zn) no fue alterado por los tratamientos en la primera temporada; en cambio en la siguiente, la concentración de este elemento fue 45% mayor en las hojas que crecieron bajo las cubiertas. El hierro (Fe) mostró niveles más bajos en las hojas que crecieron bajo las cubiertas en la temporada 2018/2019, especialmente bajo el Techo. No obstante en la temporada 2019/2020, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. El boro (B) tendió a ser menor en las hojas que crecieron bajo el Techo en la primera temporada. En cambio en la segunda, la concentración fue equivalente entre los tratamientos. Por otro lado, el contenido de materia seca (M.S.) de las hojas no fue afectado por las cubiertas en ambas temporadas de estudio (**Cuadro 18**).

En el caso de los frutos, el N mostró una concentración superior en las muestras cosechadas bajo el Techo en ambas temporadas de evaluación. El P alcanzó valores levemente menores en la fruta cultivada bajo las cubiertas en las dos temporadas, aunque sin diferencias significativas. El K mostró una concentración 9 y 31% menor en la fruta producida bajo el Techo y Macrotúnel respecto a la obtenida al Aire Libre, en promedio de las dos temporadas de estudio. El Ca fue mayor en los frutos cultivados bajo las cubiertas, alcanzando los valores más altos bajo el Macrotúnel en la temporada 2018/2019, y bajo el Techo en la 2019/2020. El Mg fue levemente menor en los frutos obtenidos bajo las cubiertas en la temporada 2018/2019; en la siguiente, solo los frutos recolectados bajo el Macrotúnel mostraron una concentración significativamente menor.

Respecto a los microelementos, el Mn tendió a ser mayor en los frutos producidos bajo el Macrotúnel en las dos temporadas de evaluación, aunque sin diferencias significativas. El Zn fue mayor en la fruta cultivada bajo el Macrotúnel en la temporada 2018/2019. Sin embargo, en la 2019/2020, la concentración alcanzada en este tratamiento fue significativamente menor a la obtenida al Aire Libre y bajo el Techo. El Fe mostró una menor concentración en la fruta producida bajo el Macrotúnel en ambas temporadas. El B fue menor en los frutos producidos bajo las cubiertas en la primera temporada, especialmente bajo el Macrotúnel; en cambio, en la segunda, solo la fruta recolectada bajo el Techo presentó una concentración significativamente menor. Respecto a la M.S. de los frutos, no se observaron variaciones entre los tratamientos (**Cuadro 19**).

En lo concerniente a las relaciones en la concentración de los macroelementos en los frutos, la razón N/Ca tendió a ser menor bajo las cubiertas en ambas temporadas, aunque sin diferencias significativas. Asimismo, las relaciones K/Ca, P/Ca y Mg/Ca mostraron valores menores bajo las cubiertas en las dos temporadas de estudio. Por otro lado, la proporción N/K fue más alta en los frutos producidos bajo las cubiertas en la temporada 2018/2019, especialmente en los cultivados bajo el Macrotúnel. En la siguiente temporada esta relación continuó siendo mayor bajo las cubiertas, pero sin diferencias entre ellas. En cuanto a la relación K/P, los frutos recolectados bajo el Macrotúnel mostraron

valores más bajos que los provenientes de los árboles al Aire Libre y bajo el Techo, en las dos temporadas de estudio (**Cuadro 20**).

Cuadro 18: Concentración de Nitrógeno (N, %), Fósforo (P, %), Potasio (K, %), Calcio (Ca, %), Magnesio (Mg, %), Manganeseo (Mn, ppm), Cinc (Zn, ppm), Hierro (Fe, ppm), Boro (B, ppm) y Materia Seca (M.S., %) en hojas de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.

Temporada	Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	B (ppm)	M.S. (%)
2018/2019	Aire Libre	2,2	0,29	1,8	1,7	0,47	50	10	93	83	43
	Techo	2,1	0,31	1,9	2,0	0,51	49	11	80	71	42
	Macrotúnel	2,2	0,28	1,7	1,6	0,48	53	11	86	78	43
	Significancia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019/2020	Aire Libre	1,9	0,35 b	1,1	2,4 b	0,68 ab	61	20 b	110	111	44
	Techo	2,0	0,36 b	1,1	2,7 a	0,64 b	64	28 a	113	110	43
	Macrotúnel	1,8	0,43 a	1,1	2,6 ab	0,72 a	70	30 a	106	111	44
	Significancia	n.s.	**	n.s.	**	**	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

Cuadro 19: Concentración de Nitrógeno (N, mg/100 g), Fósforo (P, mg/100 g), Potasio (K, mg/100 g), Calcio (Ca, mg/100 g), Magnesio (Mg, mg/100 g), Manganeseo (Mn, ppm), Cinc (Zn, ppm), Hierro (Fe, ppm), Boro (B, ppm) y Materia Seca (M.S., %) en frutos de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.

Temporada	Tratamiento	N (mg/100 g)	P (mg/100 g)	K (mg/100 g)	Ca (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	B (ppm)	M.S. (%)
2018/2019	Aire Libre	158	23	220	6,4	10,5	0,50	0,70	3,2	9,3	20
	Techo	170	19	202	8,6	9,0	0,50	0,70	3,2	8,0	20
	Macrotúnel	154	18	146	11,4	9,0	0,60	1,10	2,7	6,7	18
	Significancia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019/2020	Aire Libre	135 b	20	197 a	9,3 b	10,3 a	0,43 ab	0,80 a	2,6 a	9,1 ab	19
	Techo	154 a	18	179 b	11,3 a	9,7 a	0,37 b	0,77 a	2,7 a	8,5 b	19
	Macrotúnel	123 b	18	142 c	9,5 b	8,8 b	0,53 a	0,17 b	1,5 b	10,5 a	18
	Significancia	**	n.s.	**	*	**	*	**	**	*	n.s.

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

Cuadro 20: Relaciones entre la concentración de Nitrógeno/Calcio (N/Ca), Potasio/Calcio (K/Ca), Magnesio/Calcio (Mg/Ca), Nitrógeno/Potasio (N/K), Potasio/Fósforo (K/P), Fósforo/Calcio (P/Mn) en frutos de cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.

Temporada	Tratamiento	N/Ca	P/Ca	K/Ca	Mg/Ca	N/K	K/P
2018/2019	Aire Libre	24,8	3,7	34,5	1,65	0,72	9,4
	Techo	19,7	2,2	23,4	1,05	0,84	10,4
	Macrotúnel	13,5	1,5	12,8	0,79	1,05	8,3
	Significancia	-	-	-	-	-	-
2019/2020	Aire Libre	14,7	2,1 a	21,4 a	1,11 a	0,69 b	10,1 a
	Techo	13,7	1,6 b	16,0 b	0,87 b	0,86 a	10,1 a
	Macrotúnel	13,1	1,9 ab	15,0 b	0,93 b	0,87 a	7,9 b
	Significancia	n.s.	**	**	**	**	**

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

Tanto en las hojas como en los frutos, la mayoría de los elementos se encontraba dentro de los rangos normales para el cerezo (Hanson y Proebsting, 1996; Neilsen et al., 2017). En las hojas solo fueron deficientes el Zn en la temporada 2018/2019 y el K en la 2019/2020, en todos los tratamientos. En los frutos, el Ca estaba levemente bajo al nivel de referencia (7-14 mg/100 g (Hanson y Proebsting, 1996; Neilsen et al., 2017); >10 mg/100 g (Centro de Pomáceas, 2020)), principalmente en las muestras recolectadas de los árboles cultivados al Aire Libre en la primera temporada de estudio. Por otro lado, tanto las hojas como los frutos mostraron concentraciones de B sobre lo normal en todos los tratamientos y temporadas, lo cual puede derivar de la riqueza del elemento en el suelo del huerto. Las relaciones P/Ca, Mg/Ca y K/P también se encontraban sobre los niveles referenciales propuestos por el Centro de Pomáceas, en todos los tratamientos y temporadas de estudio. También la relación N/Ca fue elevada en los frutos producidos al Aire Libre y bajo Techo en la temporada 2018/2019, y K/Ca en las muestras recolectadas al Aire Libre en la misma temporada. En el resto de los casos los valores estaban dentro de lo normal.

Las variaciones observadas en las hojas son similares a las reportadas en otras especies bajo cubiertas. En manzanos bajo mallas antigranizo se ha observado una mayor concentración de Mg, Mn y Zn en las hojas de los árboles cubiertos (Hirzel et al., 2020a, 2020b). Los autores asocian la mayor disponibilidad de Mg en las hojas desarrolladas bajo la malla a un más alto contenido de clorofila, debido a la menor radiación incidente que degrade el pigmento. Por otro lado, la más alta concentración de Mn y Zn la explican por una mayor conservación en la humedad del suelo bajo la malla, lo cual facilitaría que la transformación de los óxidos de Mn y Zn a iones Mn^{+2} y Zn^{+2} , lo que aumenta su disponibilidad y la absorción de las plantas (Hirzel et al., 2020a).

En cuanto a los frutos, una reciente investigación en cerezos bajo macrotúnel observó que la concentración de la mayoría de los macroelementos (N, P, K y Mg) fue equivalente entre aquellos cultivados bajo la cubierta y a campo abierto. Solo el Ca presentó una concentración significativamente menor bajo el macrotúnel, lo cual lo asociaron a la mayor humedad relativa generada en ese ambiente, que habría influenciado su absorción y distribución hacia los órganos vegetativos (Blanco et al., 2021a). En contraste, evaluaciones con cerezos cultivados bajo techo observaron una concentración levemente mayor de Ca ligado en los frutos que se desarrollaron bajo la cubierta. Sin embargo, también notaron que los frutos ubicados en la parte superior de los árboles (más próximos a la cubierta), presentaban una concentración menor de Ca que los que crecieron en el nivel inferior, sobre todo cuando se usaban cubiertas de plástico de baja densidad (Ahumada et al., 2020a).

Los resultados del presente estudio observaron mayor concentración de Ca en los frutos que se cultivaron bajo las cubiertas, lo cual puede estar atribuido a múltiples razones. En la temporada 2018/2019 la producción de fruta bajo el Macrotúnel fue muy baja (666 kg/ha) debido a la escasa actividad polinizadora de las abejas durante la floración, lo cual puede haber dejado mayor disponibilidad del elemento en los frutos ante el menor número de *sinks* de distribución. Por otro lado, las variaciones en el crecimiento vegetativo de los árboles fueron mínimas en las dos temporadas de observación, por lo que no debería haber ocurrido mayor competencia por el Ca hacia los órganos vegetativos. Además, dado que las cubiertas obstaculizan el movimiento del viento alrededor de los árboles, es posible que las aplicaciones foliares de los fertilizantes hayan alcanzado mayor efectividad que las realizadas al Aire Libre, debido a una menor deriva de los productos y secado más lento.

En cuanto a los otros elementos, algunas experiencias en manzanos cultivados bajo mallas, han observado menor concentración de K, Mg, S, Fe, Mn y Zn en los frutos producidos bajo la cubierta, posiblemente por una mayor traslocación de los elementos hacia el crecimiento vegetativo (Hirzel et al., 2020a; Mészáros et al., 2019).

Los cambios en el contenido mineralógico de los árboles bajo las cubiertas deben tenerse presentes para futuros ajustes a los programas nutricionales acordes a cada situación.

4.8. Calidad de la fruta

Al momento de la cosecha, los índices de madurez de la fruta fueron afectados por las cubiertas, aunque con diferente magnitud entre el tipo de cubierta y temporada de estudio (**Cuadro 21**).

El peso y diámetro de los frutos fue similar entre los tratamientos en la temporada 2018/2019. En la siguiente, el peso de los frutos producidos bajo el Techo y el Macrotúnel fue 11 y 34% superior al alcanzado al Aire Libre. Pese a esto, solo los frutos cultivados bajo el Macrotúnel presentaron un diámetro mayor.

La intensidad del color fue menor en los frutos producidos bajo el Macrotúnel en la primera temporada de observación. En la segunda, las muestras recolectadas bajo las dos cubiertas presentaron una tonalidad levemente menos intensa. A pesar de esto, la fruta de todos los tratamientos promedio en la misma categoría de color (4: caoba oscuro).

La firmeza de los frutos producidos bajo el Techo fue 11% más baja que la alcanzada en los cultivados al Aire Libre y bajo el Macrotúnel en la temporada 2018/2019. En cambio en la 2019/2020, los frutos recolectados bajo ambas cubiertas tuvieron una firmeza 17% menor a la obtenida en los cultivados al Aire Libre.

Los sólidos solubles fueron más bajos en la fruta producida bajo el Macrotúnel en la temporada 2018/2019; sin embargo, en la 2019/2020 las muestras de este tratamiento presentaron los valores más altos. Por otro lado, la fruta producida bajo el Techo obtuvo una concentración equivalente a la recolectada al Aire Libre en las dos temporadas de estudio.

La acidez titulable fue más baja en los frutos producidos bajo las cubiertas en las dos temporadas de observación.

Luego de 30 días de almacenaje en atmósfera modificada, las diferencias entre los tratamientos mostraron similares tendencias a las observadas el momento de la cosecha (**Cuadro 22**).

Experiencias anteriores sobre el cultivo de cerezos bajo cubiertas han reportado efectos tanto negativos, positivos o nulos en la calidad de la fruta (Ahumada et al., 2020a; Blanco et al., 2021b, 2021a, 2019b; Blanke y Balmer, 2008; Børve et al., 2003; Børve y Meland, 1998; Cline et al., 1995; Kafkaletou et al., 2015; Lang et al., 2011; Lang, 2014; Mika et al., 2019; Overbeck et al., 2017; Ruisa et al., 2017; Simon, 2006; Sotiropoulos et al., 2014; Usenik et al., 2009; Wallberg y Sagredo, 2014). La apreciación general indica que los frutos tienden a presentar mayor tamaño y contenido de azúcar. Sin embargo, si la temperatura alcanza niveles muy elevados durante el periodo de madurez, los frutos tienden a tener menor firmeza y sólidos solubles (Blanke et al., 2017).

En cerezos bajo techo se ha observado menor firmeza de los frutos, principalmente en la parte superior de los árboles (Ahumada et al., 2020a). Un efecto similar ha sido visto en cerezos bajo macrotúnel (Blanco et al., 2021a, 2019b). En la zona más próxima a las cubiertas el ambiente es más cálido, por lo cual se postula que el crecimiento vegetativo sería estimulado, dejando menos disponibilidad de Ca para los frutos (Ahumada et al., 2020a). En cerezos bajo macrotúnel la fruta presentó menor contenido de Ca que la cultivada al aire libre, mostrando una positiva correlación con la firmeza (Blanco et al., 2021a). Sin embargo, en el presente estudio la concentración de este elemento fue mayor en los frutos producidos bajo las dos cubiertas y, aun así, la firmeza tendió a ser menor, por lo cual el fenómeno no puede ser atribuido exclusivamente a razones mineralógicas. La caída de la firmeza también puede estar asociada a una mayor velocidad de senescencia, debido al crecimiento acelerado del fruto en el ambiente modificado. También es posible que en estas condiciones, los frutos desarrollen una mayor capacidad de transpiración para regular su temperatura, siendo mayor su densidad estomática y más rápida su deshidratación luego de la cosecha. Sin embargo, estas teorías aún no han sido investigadas.

Cuadro 21: Peso (g), Diámetro (mm), Color (1-5), Firmeza (g/mm), Sólidos Solubles (°Bx) y Acidez Titulable (%) al momento de la cosecha, en frutos de cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.

Temporada	Tratamiento	Peso (g)	Diámetro (mm)	Color (1-5)	Firmeza (g/mm)	Sólidos Solubles (°Bx)	Acidez Titulable (%)
2018/2019	Aire Libre	11,3 ab	28,6 a	4,2 a	281 a	19,6 a	1,03 a
	Techo	11,7 a	27,8 b	4,3 a	252 b	19,0 a	0,68 b
	Macrotúnel	10,8 b	27,9 b	3,7 b	286 a	17,3 b	0,70 b
	Significancia	**	**	**	**	**	**
2019/2020	Aire Libre	8,8 c	25,9 b	4,7 a	273 a	19,1 b	0,72 a
	Techo	9,8 b	25,9 b	4,4 b	224 b	19,1 b	0,31 b
	Macrotúnel	10,8 a	27,8 a	4,5 ab	228 b	21,6 a	0,39 b
	Significancia	**	**	**	**	**	**
Temporada		**	**	**	**	**	**
Tratamiento		**	**	**	**	n.s.	**
Temporada * Tratamiento		**	**	**	**	**	n.s.

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

Cuadro 22: Peso (g), Diámetro (mm), Color (1-5), Firmeza (g/mm), Sólidos Solubles (°Bx) y Acidez Titulable (%) luego de 30 días de almacenaje en atmósfera modificada, en frutos de cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.

Temporada	Tratamiento	Peso (g)	Diámetro (mm)	Color (1-5)	Firmeza (g/mm)	Sólidos Solubles (°Bx)	Acidez Titulable (%)
2018/2019	Aire Libre	12,3 a	29,2 a	4,2 b	411 a	18,2 b	0,67 a
	Techo	11,8 ab	28,7 a	4,1 b	353 b	19,1 a	0,58 b
	Macrotúnel	11,4 b	28,2 b	4,5 a	339 b	19,2 a	0,58 b
	Significancia	**	**	**	**	**	**
2019/2020	Aire Libre	8,8 b	25,9	4,7 b	273 ab	19,1	0,72 a
	Techo	9,1 ab	25,6	4,0 c	284 a	18,8	0,70 ab
	Macrotúnel	9,6 a	26,3	5,0 a	261 b	18,7	0,64 b
	Significancia	**	n.s.	**	**	n.s.	*
Temporada		**	**	**	**	n.s.	**
Tratamiento		n.s.	n.s.	**	**	n.s.	**
Temporada * Tratamiento		**	**	**	**	**	n.s.

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

En observaciones de cerezos por largo tiempo y con diferentes tipos y momentos de cobertura, se ha notado una amplia variación año a año y entre los tratamientos en el nivel de azúcar y acidez de los frutos (Blanke et al., 2017). En algunos casos, se ha propuesto que la menor concentración de sólidos solubles ocurriría por un efecto de dilución, dado el alto contenido de agua y tamaño más grande que suelen alcanzar los frutos bajo las cubiertas (Blanco et al., 2019b, 2019a; Marsal et al., 2010). En contraste, se plantea que cuando los frutos presentan mayor contenido de sólidos solubles se derivaría de una menor carga frutal en los árboles cubiertos, quedando mayor disponibilidad de asimilados para los frutos (Blanco et al., 2021a). También se ha propuesto que la respuesta es dependiente de la variedad (Schmitz-Eiberger y Blanke, 2012), por lo que se requiere seguir investigando.

Respecto a la coloración de los frutos, múltiples estudios han observado una menor intensidad en aquellos producidos bajo las cubiertas, cuando son medidos a través de instrumental de laboratorio. Sin embargo, estas diferencias pocas veces son detectables por los consumidores, sobre todo en los cultivares de pulpa roja oscura o púrpura oscura, debido a que en ellos la pigmentación ocurre de manera simultánea entre la pulpa y la piel, lo cual atenuaría el efecto (Blanke et al., 2017). En las variedades bicolors como 'Rainier', el uso de cubiertas tanto en macrotúnel como en techo, han dificultado significativamente el desarrollo de color por la filtración de la radiación UV (Lang, 2009). En

estos casos, el uso de *mulch* reflectantes puede compensar esta deficiencia, al aumentar la luminosidad de los árboles (Blanke et al., 2017; Lang, 2014).

Luego de la postcosecha, experiencias previas con cerezas cultivadas bajo techo han mostrado iguales resultados en la tasa respiratoria y en la mayoría de los atributos de calidad, que las producidas al aire libre (Kafkaletou et al., 2015). Asimismo, en cerezas recolectadas de árboles bajo macrotúnel, los índices de madurez no mostraron diferencias significativas con las cosechadas al aire libre, tanto luego de 45 días de almacenaje en atmósfera modificada, como después de 3 días expuestos a temperatura ambiente. Tampoco hubo variación en la incidencia de desórdenes fisiológicos como depresiones (*pitting*), piel de lagarto (*pebbling*) y machucones (*bruising*) (Blanco et al., 2021a). Esto derivaría de las mínimas diferencias percibidas al momento de la cosecha.

En general, los resultados de este estudio mostraron que los efectos en la calidad de la fruta son variables entre las temporadas, principalmente en el peso, tamaño y contenido de sólidos solubles, los cuales también pueden haber sido afectados por las distintas cargas frutales de los árboles. Los efectos consistentes observados entre las temporadas fue el desarrollo de una coloración levemente menos intensa, una menor firmeza y menor acidez titulable en los frutos producidos bajo las cubiertas, persistiendo estas diferencias luego del almacenaje.

4.9. Características bioquímicas de la fruta

A la cosecha, las características bioquímicas de la fruta mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, aunque con distintas tendencias entre las temporadas, tipo de cubierta y variable de medición.

La concentración de antocianinas totales en la piel de los frutos cultivados bajo las cubiertas tendió a ser menor a la obtenida en los producidos al Aire Libre en la temporada 2018/2019. Sin embargo en la 2019/2020, el contenido de este pigmento tendió a ser mayor en las muestras recolectadas bajo el Techo, y menor en las extraídas bajo el Macrotúnel, aunque sin diferencias significativas. En cuanto a la concentración de fenoles totales en la fracción comestible del fruto (piel más pulpa), no se observaron variaciones entre los tratamientos en la temporada 2018/2019. En cambio en la siguiente, los frutos cultivados bajo el Macrotúnel presentaron una concentración 23% menor a la obtenida en los producidos al Aire Libre y bajo el Techo. Por otro lado, la capacidad antioxidante, también analizada en la fracción comestible de los frutos, tendió a ser menor bajo las cubiertas en ambas temporadas de estudio (**Cuadro 23**).

Luego de 30 días de almacenaje en atmósfera modificada, algunos resultados mostraron variaciones al comportamiento presentado previo al empaque (**Cuadro 24**). La concentración de antocianinas totales tendió a mostrar similares diferencias a las observadas durante la cosecha en la temporada 2018/2019. Sin embargo en la 2019/2020, solo los frutos producidos bajo el Macrotúnel presentaron un contenido menor del pigmento, aunque sin diferencias significativas. Los fenoles totales fueron mayores en los frutos producidos bajo las cubiertas en la temporada 2018/2019. En cambio en la 2019/2020, las muestras provenientes de los árboles bajo Techo y Macrotúnel mostraron una concentración 23% menor a la alcanzada en las recolectadas al Aire Libre. En cuanto a la capacidad antioxidante, no se observaron diferencias entre los tratamientos en la temporada 2018/2019. En la 2019/2020, los frutos producidos bajo las cubiertas continuaron presentando las diferencias expresadas al momento de la cosecha.

Algunas evaluaciones previas en cerezos cultivados bajo techo no observaron diferencias en la concentración de las cuatro antocianinas predominantes en la fruta (cianidina 3-glucósido, cianidina 3-rutinósido, pelargonidina 3-rutinósido y peonidina 3-rutinósido) (Blanke et al., 2017; Kafkaletou et al., 2015; Mika et al., 2019; Usenik et al., 2009). En cambio en cerezos bajo macrotúnel, se ha percibido mayor concentración del pigmento bajo la cubierta en la mayoría de las variedades evaluadas (Overbeck et al., 2017; Schmitz-Eiberger y Blanke, 2012). Solo las cerezas de pulpa amarilla y piel bicolor como 'Rainier' o 'Early Robin' han mostrado menor contenido de antocianinas en su epidermis ante la filtración de la radiación UV (Blanke et al., 2017; Lang, 2014; Mulabagal et al., 2009).

En el presente estudio, la menor concentración de antocianinas en la piel de los frutos, sobre todo en los producidos bajo el Macrotúnel, puede indicar que las variedades de coloración roja mantienen cierta dependencia en este tejido a la radiación UV para la síntesis del pigmento. Sin embargo, como en estas variedades la pigmentación ocurre simultáneamente en la pulpa y la piel, las diferencias visuales en la coloración del fruto son leves o pocas veces percibidas, como en este caso donde los frutos de todos los tratamientos promediaron en la misma categoría de color (4: caoba oscuro).

En cuanto a los fenoles, en cerezas producidas bajo techo se ha obtenido igual o menor concentración que en aquellas provenientes de árboles al aire libre, dependiendo de la temporada de observación (Mika et al., 2019; Usenik et al., 2009). En cambio en cerezas cultivadas bajo macrotúnel, el contenido de fenoles ha sido mayor que el obtenido en las producidas sin cubierta (Overbeck et al., 2017; Schmitz-Eiberger y Blanke, 2012). Por otro lado, la capacidad antioxidante de las cerezas producidas bajo techo ha sido igual o superior que la de las desarrolladas al aire libre (Kafkaletou et al., 2015; Mika et al., 2019; Sotiropoulos et al., 2014). También se ha percibido mayor actividad en las cultivadas bajo macrotúnel (Overbeck et al., 2017; Schmitz-Eiberger y Blanke, 2012).

Cuadro 23: Antocianinas totales (mg/100 g PF), Fenoles totales (mg EAG/100 g PF) y Capacidad Antioxidante ($\mu\text{mol ET}/100\text{ g PF}$) a cosecha, en frutos de cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.

Temporada	Tratamiento	Antocianinas Totales (mg/100 g PF)	Fenoles Totales (mg EAG/100 g PF)	Capacidad Antioxidante ($\mu\text{mol ET}/100\text{ g PF}$)
2018/2019	Aire Libre	269 a	59	4.168 a
	Techo	119 b	63	3.332 b
	Macrotúnel	182 ab	58	2.969 b
	Significancia	*	n.s.	**
2019/2020	Aire Libre	157 ab	115 a	6.711 a
	Techo	198 a	115 a	6.302 b
	Macrotúnel	115 b	89 b	6.071 b
	Significancia	**	**	**
Temporada		n.s.	**	**
Tratamiento		*	**	**
Temporada * Tratamiento		**	**	*

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

Cuadro 24: Antocianinas totales (mg/100 g PF), Fenoles totales (mg EAG/100 g PF) y Capacidad Antioxidante ($\mu\text{moles ET}/100\text{ g PF}$) luego de 30 días de almacenaje en atmósfera modificada, en frutos de cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.

Temporada	Tratamiento	Antocianinas Totales (mg/100 g PF)	Fenoles Totales (mg EAG/100 g PF)	Capacidad Antioxidante ($\mu\text{moles ET}/100\text{ g PF}$)
2018/2019	Aire Libre	263 a	68 c	3.426
	Techo	159 b	93 a	3.846
	Macrotúnel	189 ab	73 b	3.385
	Significancia	*	**	n.s.
2019/2020	Aire Libre	136	138 a	6.671 a
	Techo	133	107 b	6.060 b
	Macrotúnel	93	103 b	5.602 b
	Significancia	n.s.	**	**
Temporada		**	**	**
Tratamiento		**	**	**
Temporada * Tratamiento		*	**	**

n.s.: No Significativo; *: Significativo; **: Altamente Significativo.

El mayor contenido de fenoles y capacidad antioxidante en las cerezas producidas bajo macrotúnel, han sido atribuido al gran diferencial térmico ocurrido en este ambiente y al sometimiento a un estrés moderado en los árboles, lo cual estimularía la síntesis de estos compuestos (Overbeck et al., 2017). En el presente estudio, la concentración de fenoles mostró resultados variables entre las temporadas y momento de observación, y la capacidad antioxidante tendió a ser menor en la fruta cultivada bajo las cubiertas. Posiblemente en este caso, el ambiente bajo las cubiertas fue más cálido y menos fluctuante que el clima donde se observó un efecto contrario.

Luego de la postcosecha, la mayoría de las características bioquímicas de la fruta disminuyó en valor, pero continuó mostrando las diferencias observadas al momento de la cosecha o tendieron a equipararse entre los tratamientos. Situación similar fue observada en cerezas cultivadas bajo techo almacenadas por 21 días (Kafkaletou et al., 2015).

En general, los resultados del estudio indican que el cultivo de cerezos bajo cubiertas en clima cálido tiende a afectar negativamente las características bioquímicas, reduciendo sus propiedades benéficas para la salud de los consumidores.

4.10. Análisis Económico

El adelanto de la fecha de cosecha, influenciado por las cubiertas y los manejos agronómicos realizados por el huerto, es una estrategia para comercializar la fruta en el mercado chino con mejores precios de venta, aunque en este estudio no siempre se obtuvo un impacto positivo en el ingreso (**Cuadro 25**).

En la temporada 2018/2019, las cerezas cultivadas bajo el Techo y Macrotúnel se cosecharon 4 y 8 días más temprano que las producidas al Aire Libre. Este desplazamiento no mostró una variación en el precio de venta (-0,68%). Contrariamente, en la temporada 2019/2020 el desplazamiento fenológico permitió que la cosecha sucediera 9 y 29 días más temprano bajo el Techo y Macrotúnel, respecto a la fecha de los árboles al Aire Libre. Sin embargo, el precio de venta de la fruta bajo Techo fue 5,6% menor al que accedieron las cerezas al Aire Libre. En el caso de la fruta producida en el Macrotúnel, el adelanto de la cosecha permitiría venderla 4 semanas más temprano y con un precio 84% superior al alcanzado por las cultivadas al Aire Libre.

En cuanto al ingreso monetario generado en cada tratamiento, en la temporada 2018/2019 las parcelas bajo Techo y Macrotúnel aportaron un flujo 27% mayor y 89% menor, respectivamente, al percibido en el bloque al Aire Libre. Estas diferencias son atribuidas principalmente a los diferentes niveles de producción en cada tratamiento más que al precio de venta. Luego en la temporada 2019/2020, el ingreso monetario fue 4,7 y 1,3% mayor en las parcelas bajo Techo y Macrotúnel, respecto al generado en la al Aire Libre. La gran disparidad de precios entre las semanas de venta de la fruta producida bajo el Macrotúnel y al Aire Libre permitiría que el ingreso de estas parcelas fuera casi equivalente, pese a tener una diferencia de 45% en la producción.

El costo de inversión para establecer cubiertas plásticas en un huerto de cerezos varía ampliamente entre el tipo de estructura utilizada. La instalación de un diseño en techo alcanza un valor cercano a los US\$ 22.000/ha (Fernández et al., 2020), mientras que en macrotúnel puede llegar hasta los US\$ 80.000/ha (Lang et al., 2011). En el caso del presente ensayo, el costo fue de US\$ 55.000/ha.

Un análisis de rentabilidad realizado en un huerto de cerezos con techo ha estimado que la inversión puede llegar a generar un retorno al quinto año de producción de 7,7 veces el monto aportado (Fernández et al., 2020). La mayor contribución de las cubiertas a la rentabilidad del huerto es reducir el descarte por partidura generado ante la ocurrencia de precipitaciones en un estado de madurez avanzado de la fruta (Lang, 2009). Además, las cubiertas pueden proteger a los árboles frente daños provocados por otros eventos climáticos adversos como heladas y granizadas (Blanke et al., 2017). También se ha reportado que el uso de techos ayuda a obtener un precio de venta más alto por la producción de fruta con calibres más grandes (Fernández et al., 2020).

Una vez establecidas las cubiertas, el manejo del huerto debe adaptarse a las condiciones de un ambiente modificado para no afectar el potencial productivo de los árboles. En el caso del presente estudio, durante la temporada 2018/2019 la producción de fruta bajo el Macrotúnel fue 88% menor a la obtenida al Aire Libre, debido a problemas en la polinización. La filtración de la radiación UV generada por la presencia de la cubierta durante la floración, dificultó el vuelo de las abejas y generó una cuaja mucho menor a la alcanzada en los otros tratamientos. En Estados Unidos, una evaluación realizada en cerezos bajo macrotúnel reportó una producción de fruta 50% menor a la conseguida al exterior a causa de una situación similar durante la floración (Lang et al., 2011). Frente a este problema, el cultivo del cerezo bajo cubiertas plásticas debiese ser apoyado por polinizadores adaptados a condiciones más cálidas y con menor intercepción de radiación UV, como los abejorros (*Bombus terrestris*), con los cuales se ha conseguido un rendimiento frutal equivalente al obtenido en campo abierto (Lang, 2014).

Cuadro 25: Semana de Venta, Precio (USD/kg), Producción (kg/ha), Exportación (kg/ha) e Ingreso (USD/ha) por venta de cerezas en el Mercado Mayorista de Jiangnan, China, en las temporadas 2018/2019 y 2019/2020.

Temporada	Tratamiento	Fecha de Cosecha	Semana de Venta	Precio (USD/kg)	Producción (kg/ha)	Exportación (kg/ha)	Ingreso (USD/ha)
2018/2019	Aire libre	01-Dic.	49	14,7	5.753	4.890	71.884
	Techo	27-Nov.	49	14,7	7.300	6.205	91.214
	Macrotúnel	23-Nov.	48	14,6	666	566	8.265
2019/2020	Aire libre	28-Nov.	49	17,8	11.028	9.374	166.854
	Techo	19-Nov.	48	16,8	12.233	10.398	174.687
	Macrotúnel	30-Oct.	45	32,8	6.060	5.151	168.953

Además, el manejo del huerto con cubiertas plásticas debe incluir una oportuna ventilación de los árboles, para evitar que la temperatura y humedad relativa alcancen niveles muy elevados que puedan perjudicar la maduración de la fruta y promover el desarrollo enfermedades que mermen la producción (Long et al., 2021). También, se debe ajustar la programación del riego y el programa nutricional para evitar un desbalance en el desarrollo vegetativo/reproductivo de los árboles, aspectos que aún se continúan investigando (Blanke et al., 2017; Long et al., 2021).

El uso de cubiertas plásticas se ha expandido ampliamente en los huertos de cerezos en Chile, estimándose que alrededor del 15% de la superficie se cultivaría bajo estas estructuras (Yuri et al., 2019). Sin embargo, la investigación científica chilena sobre el manejo de los huertos en esta condición aún es incipiente, requiriéndose nuevos trabajos que permitan comprender el comportamiento de más variedades, tipos de cubierta, materiales y condiciones edafoclimáticas, pues pareciera que los resultados son altamente dependientes de la forma de cultivo.

5. CONCLUSIONES

Las cubiertas afectaron el microclima alrededor de los árboles, generándose bajo el Techo un ambiente más sombrío que bajo el Macrotúnel. Además, este último presentó una transmisión de la radiación UV 96% menor. A pesar de estos cambios, la PAR no descendió a niveles que limiten el desempeño fisiológico de los cerezos.

En cuanto a la temperatura y humedad relativa, en la zona superior de los árboles el microclima bajo las dos cubiertas tendió a ser más cálido y seco que al Aire Libre. En cambio, en el nivel inferior, las condiciones bajo el Techo fueron más frías y húmedas que al Aire Libre y bajo el Macrotúnel, debido al ambiente más oscuro y ventilado. Estas variaciones generaron similares tendencias en la acumulación térmica e indicadores de estrés ambiental en los dos niveles analizados.

El ambiente más cálido bajo las cubiertas permitió un adelanto de 5 días en la plena flor de los árboles bajo Techo y 7 días en los bajo Macrotúnel, respecto a la fecha ocurrida al Aire Libre, manteniéndose casi inalterado este desplazamiento hasta la cosecha. En la segunda temporada de estudio, el adelanto fenológico fue apoyado con rompedores de receso, lográndose un anticipo de 17 y 38 días en la plena flor, y 9 y 29 días en el inicio de cosecha bajo el Techo y Macrotúnel, respectivamente al sucedido al Aire Libre.

Por otro lado, los árboles bajo las cubiertas presentaron menos estrés hídrico o no mostraron diferencias, respecto a los que crecieron al Aire Libre, cuando se mantenía alta disponibilidad de agua en el suelo. Sin embargo, luego de la cosecha de la fruta y el retiro de estas estructuras, los árboles que se habían desarrollado bajo las dos cubiertas presentaron más estrés y menor contenido de flavonoides en sus hojas. Pareciera que la filtración de la radiación solar durante los estados iniciales del crecimiento vegetativo, dejara a los árboles menos ambientados a las condiciones estresantes del verano que aquellos que se desarrollaron siempre expuestos. Pese a esto, el crecimiento de los brotes no presentó mayores variaciones.

En cuanto al contenido mineralógico, la concentración de P, Ca, y Zn fue mayor en las hojas de los árboles cultivados bajo el Techo y Macrotúnel, respecto a los niveles alcanzados en los al Aire Libre. En los frutos, la concentración Ca fue mayor bajo las cubiertas, y la de K, Mg y Zn menor.

En lo que respecta a la calidad de la fruta, las cubiertas generaron una coloración levemente menos intensa, menor firmeza y acidez titulable, manteniéndose las diferencias luego de 30 días de almacenaje en atmósfera modificada. La concentración de antocianinas en la piel de los frutos tendió a ser menor en los cultivados bajo las cubiertas. También, el contenido de fenoles y capacidad antioxidante en la fracción comestible de los frutos (piel más pulpa) fue más baja, indicando que el cultivo de cerezos bajo cubiertas en un clima cálido tiende a disminuir las propiedades beneficiosas para la salud de los consumidores.

Este trabajo representa la primera investigación que compara simultáneamente el cultivo del cerezo bajo cubiertas en techo y macrotúnel. Se espera que los resultados ayuden a comprender el impacto de cada tecnología en el microclima y el desempeño fisiológico y productivo de los cerezos en un clima mediterráneo.

6. REFERENCIAS

- Abud, C., Cuevas, R., Ahumada, L., 2020. Uso de cobertores plásticos en cerezos, C. Abud & Cía. Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Curicó.
- Abud, C., Cuevas, R., Ahumada, L., 2018. 2 Interrogantes cubiertas: Cómo afectan los cobertores plásticos a la productividad y calidad de las cerezas. *Revista MundoAgro* 107, 36–40.
- Ahumada, L., Abud, C., Cuevas, R., 2020a. Efecto sobre la calidad de la fruta, en: Abud, C., Cuevas, R., Ahumada, L. (Eds.), *Uso de cobertores plásticos en cerezos*. Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Curicó, pp. 57–66.
- Ahumada, L., Abud, C., Cuevas, R., 2020b. Efecto sobre la productividad, en: Abud, C., Cuevas, R., Ahumada, L. (Eds.), *Uso de cobertores plásticos en cerezos*. Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Curicó, pp. 47–56.
- Ahumada, L., Abud, C., Cuevas, R., Fernández, C., 2020c. Efecto sobre variables microclimáticas, en: Abud, C., Cuevas, R., Ahumada, L. (Eds.), *Uso de cobertores plásticos en cerezos*. Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Curicó, pp. 11–20.
- Ahumada, L., Abud, C., Cuevas, R., Fernández, C., 2020d. Efecto sobre el crecimiento vegetativo y radicular, en: Abud, C., Cuevas, R., Ahumada, L. (Eds.), *Uso de cobertores plásticos en cerezos*. Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Curicó, pp. 31–35.
- Ahumada, L., Cuevas, R., 2020. Efecto sobre la respuesta fisiológica de los árboles, en: Abud, C., Cuevas, R., Ahumada, L. (Eds.), *Uso de cobertores plásticos en cerezos*. Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Curicó, pp. 39–44.
- Anderson, J.L., Richardson, E.A., Kesner, C.D., 1986. Validation of chill unit and flower bud phenology models for 'Montmorency' sour cherry. *Acta Horticulturae* 184, 71–78.
- Anderson, J.L., Seeley, S.D., 1992. Modelling Strategy in Pomology: Development of the Utah Models. *Acta Horticulturae*. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1992.313.36>
- Ayala, M., Lang, G.A., 2017. Morphology, Cropping Physiology and Canopy Training, en: Quero-García, J., Iezzoni, A., Pulawska, J., Lang, G.A. (Eds.), *Cherries: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Boston, USA, pp. 269–304.
- Ayala, M., Lang, G.A., 2015. 13C Photoassimilate partitioning in sweet cherry (*Prunus avium*) during early spring. *Ciencia e Investigación Agraria* 42, 191–203.
- Balbontín, C., Ayala, H., Bastías, R.M., Tapia, G., Ellena, M., Torres, C., Yuri, J.A., Quero-garcía, J., Ríos, J.C., Silva, H., 2013. Cracking in sweet cherries: a comprehensive review from a physiological, molecular, and genomic perspective. *Chilean Journal of Agricultural Research* 73, 66–72. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000100010>
- Balmer, M., Kunz, A., Blanke, M., 2005. Verfrühung von süßkirschen unter geschlossener folie. *Erwerbs-Obstbau* 47, 78–86. <https://doi.org/10.1007/s10341-005-0062-5>
- Barnes, P.W., Flint, S.D., Caldwell, M.M., 1990. Morphological responses of crop and weed species of different growth forms to ultraviolet-b radiation. *American Journal of Botany* 77, 1354–1360. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1990.tb11387.x>
- Barthod, S., Cerovic, Z., Epron, D., 2007. Can dual chlorophyll fluorescence excitation be used to assess the variation in the content of UV-absorbing phenolic compounds in leaves of temperate tree species along a light gradient? *Journal of Experimental Botany* 58, 1753–1760. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm030>
- Bastías, R.M., Corelli-Grappadelli, L., 2012. Light quality management in fruit orchards: physiological and technological aspects. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72, 574–581.
- Bastías, R.M., Leyton, M.J., 2018. Producción de cerezos bajo rafia y plástico: Efectos en el microclima, calidad y condición de la fruta. *Revista Frutícola* 40, 8–14.
- Bastías, R.M., Salvadores, Y., Soto, G., González, E., Urra, I., Ricciardi, G., Escalona, V., Sagredo, K., Battistoni, B., Ribera, A., Levio, F., Buck, R., Muñoz, A., Reyes, M., 2019. Avances en la producción de cerezas bajo coberturas. *Revista Red Agrícola* 105, 38–42.

- Beppu, K., Ikeda, T., Kataoka, I., 2001. Effect of high temperature exposure time during flower bud formation on the occurrence of double pistils in 'Satohnishiki' sweet cherry. *Scientia Horticulturae* 87, 77–84. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00173-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00173-4)
- Beppu, K., Suehara, T., Kataoka, I., 2003. High temperature and drought stress suppress the photosynthesis and carbohydrate accumulation in 'satohnishiki' sweet cherry. *Acta Horticulturae* 618, 371–377. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.618.43>
- Blanco, V., Domingo, R., Pérez-Pastor, A., Blaya-Ros, P.J., Torres-Sánchez, R., 2018. Soil and plant water indicators for deficit irrigation management of field-grown sweet cherry trees. *Agricultural Water Management* 208, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.05.021>
- Blanco, V., Torres-Sánchez, R., Blaya-Ros, P.J., Pérez-Pastor, A., Domingo, R., 2019a. Vegetative and reproductive response of 'Prime Giant' sweet cherry trees to regulated deficit irrigation. *Scientia Horticulturae* 249, 478–489. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.016>
- Blanco, V., Zoffoli, J.P., Ayala, M., 2021a. Influence of High Tunnel Microclimate on Fruit Quality and Calcium Concentration in 'Santina' Sweet Cherries in a Mediterranean Climate. *Agronomy* 11, 1186. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061186>
- Blanco, V., Zoffoli, J.P., Ayala, M., 2021b. Eco-physiological response, water productivity and fruit quality of sweet cherry trees under high tunnels. *Scientia Horticulturae* 286, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110180>
- Blanco, V., Zoffoli, J.P., Ayala, M., 2019b. High tunnel cultivation of sweet cherry (*Prunus avium* L.): physiological and production variables. *Scientia Horticulturae* 251, 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.023>
- Blanke, M.M., Balmer, M., 2008. Cultivation of sweet cherry under rain covers. *Acta Horticulturae* 795 PART 2, 479–484. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.795.72>
- Blanke, M.M., Lang, G.A., Meland, M., 2017. Orchard Microclimate Modification, en: Quero-García, J., lezzoni, A., Putawska, J., Lang, G. (Eds.), *Cherries: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Boston, pp. 244–268.
- Børve, J., Meland, M., 1998. Rain cover protection against cracking of sweet cherries. II. The effects on fruit ripening. *Acta Horticulturae* 468, 455–458.
- Børve, J., Skaar, E., Sekse, L., Meland, M., Vangdal, E., 2003. Rain Protective Covering of Sweet Cherry Trees- Effects of Different Methods on Fruit Quality and Microclimate. *HortTechnology* 13, 143–148.
- Børve, J., Stensvand, A., 2003. Use of a Plastic Rain Shield Reduces Fruit Decay and Need for Fungicides in Sweet Cherry. *Plant Disease* 87, 523–528. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.5.523>
- Bustamante, M., Muñoz, A., Romero, I., Osorio, P., Mánquez, S., Arriola, R., Reyes-Díaz, M., Ribera-Fonseca, A., 2021. Impact of Potassium Pre-Harvest Applications on Fruit Quality and Condition of Sweet Cherry (*Prunus avium* L.) Cultivated under Plastic Covers in Southern Chile Orchards. *Plants*. <https://doi.org/10.3390/plants10122778>
- Cartelat, A., Cerovic, Z.G., Goulas, Y., Meyer, S., Lelarge, C., Prioul, J.-L., Barbottin, A., Jeuffroy, M.-H., Gate, P., Agati, G., Moya, I., 2005. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research* 91, 35–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.05.002>
- CIREN-ODEPA, 2020. Catastros Frutícolas [WWW Document]. URL <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/catastros-frucolicas> (accedido 7.30.20).
- CIREN, 1997. Descripciones de Suelos. Materiales y Símbolos. Estudio agrológico VII Región. Publicación CIREN N° 117. CIREN, Santiago, Chile.
- Cline, J.A., Meland, M., Sekse, L., Webster, A.D., 1995. Rain Cracking of Sweet Cherries: II. Influence of Rain Covers and Rootstocks on Cracking and Fruit Quality. *Acta Agriculturae Scandinavica* 45, 224–230.

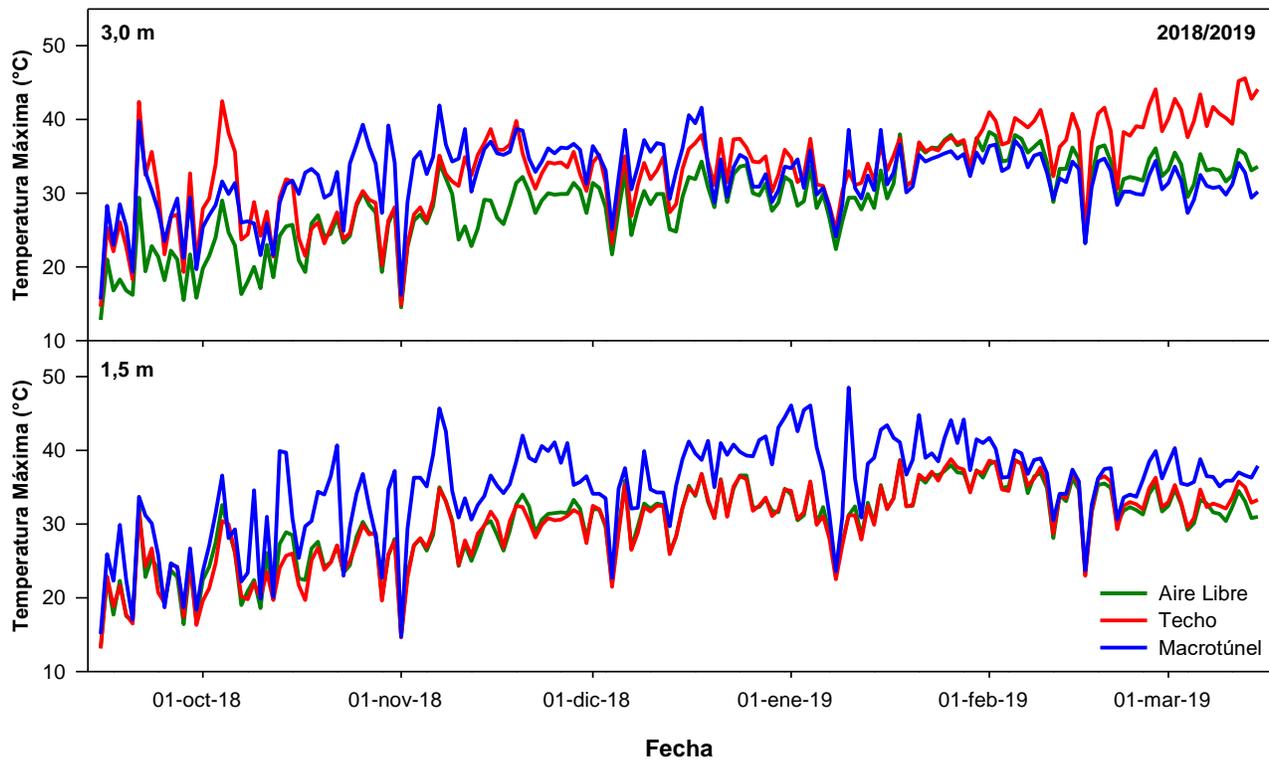
- Correia, S., Schouten, R., Silva, A.P., Gonçalves, B., 2018. Sweet cherry fruit cracking mechanisms and prevention strategies: A review. *Scientia Horticulturae* 240, 369–377. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.042>
- Dekova, O., Blanke, M., 2007. Verfrühung von süßkirschen im folienhaus. *Erwerbs-Obstbau* 49, 10–17. <https://doi.org/10.1007/s10341-006-0025-5>
- Drogoudi, P., Kazantzis, K., Kunz, A., Blanke, M.M., 2020. Effects of climate change on cherry production in Naoussa, Greece and Bonn, Germany: adaptation strategies. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 5, 1–6. <https://doi.org/10.1007/s41207-020-0146-5>
- Ellena, M., 2012. Formación y sistemas de conducción del cerezo dulce, *Boletín INIA* N° 247.
- Estay, P., 2007. *Bombus en Chile: Especies, biología y manejo*. INIA, Santiago, Chile.
- FDF, 2019. Estación Sagrada Familia [WWW Document]. *Agroclima*. URL <http://www.agroclima.cl/InfoEstacionv2.aspx?IdEst=157&Ubi=7> (accedido 7.24.19).
- Fernández, C., González, P., Widmer, I., 2020. Rentabilidad, en: Abud, C., Cuevas, R., Ahumada, L. (Eds.), *Uso de cobertores plásticos en cerezos*. Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Curicó, pp. 67–78.
- Feucht, W., 1967. *La fisiología de la madera frutal*. Universidad de Chile, Santiago.
- Fuleki, T., Francis, F.J., 1968. Quantitative Methods for Anthocyanins . 1. Extraction and Determination of Total Anthocyanin in Cranberries. *Journal of Food Science* 33, 72–77.
- Gil, G., 2009. *Fruticultura. El potencial productivo*, 4ª ed. Ediciones UC, Santiago, Chile.
- Hamm, A., Lorenz, J., Papendieck, D., Dekova, O., Blanke, M., 2007. Honigbienen zur bestäubung von verfrühten süßkirschen im geschützten anbau. *Erwerbs-Obstbau* 49, 85–92. <https://doi.org/10.1007/s10341-007-0039-7>
- Hanson, E.J., Proebsting, E.L., 1996. Cherry nutrient requirements and water relations, en: Webster, A.D., Looney, N.E. (Eds.), *Cherries: Crop Physiology, Production and Uses*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 243–257.
- Healey, K.D., Rickert, K.G., Hammer, G.L., Bange, M.P., 1998. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. *Australian Journal of Agricultural Research* 49, 665–672. <https://doi.org/10.1071/A97100>
- 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.
- Hirzel, J., Moya-Elizondo, E., Hernández, M., Guzmán, P., González, D., 2020a. Effect of shade cloth on fruit and leaf nutritional concentration and bitter pit incidence in ‘Fuji’ apples. *Chilean Journal of Agricultural Research* 80, 535–545. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000400535>
- Hirzel, J., Moya-Elizondo, E., Hernández, M., Guzmán, P., González, D., 2020b. Effect of shade cloth on the evolution of nutrient concentrations in apple tree leaves. *Scientia Horticulturae* 266, 109288. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109288>
- Howell, T.A., Dusek, D.A., 1995. Comparison of vapor-pressure-deficit calculation methods—southern high plains. *Journal of irrigation and drainage engineering* 121, 191–198. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1995\)121:2\(191\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1995)121:2(191))
- Hrotkó, K., Rozpara, E., 2017. Rootstocks and Improvement, en: Quero-García, J., Iezzoni, A., Pulawska, J., Lang, G. (Eds.), *Cherries: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Boston, USA, pp. 117–139.
- Huang, D., Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J.A., Deemer, E.K., 2002. Development and validation of oxygen radical absorbance capacity assay for lipophilic antioxidants using randomly methylated β -cyclodextrin as the solubility enhancer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 1815–1821. <https://doi.org/10.1021/jf0113732>
- Hunsche, M., Noga, G., 2011. Cuticular wax load and surface wettability of leaves and fruits collected from sweet cherry (*Prunus avium*) trees grown under field conditions or inside a polytunnel. *Acta Physiologiae Plantarum* 33, 1785–1792. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0717-9>

- Iezzoni, A., Wünsch, A., Höfer, M., Giovannini, D., Jensen, M., Quero-García, J., Campoy, J.A., Vokurka, A., Barreneche, T., 2017. Biodiversity, Germoplasm Resources and Breeding Methods, en: Quero-García, J., Iezzoni, A., Pulawska, J., Lang, G. (Eds.), *Cherries: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Boston, USA, pp. 36–59.
- Jansen, M.A.K., 2002. Ultraviolet-B radiation effects on plants: Induction of morphogenic responses. *Physiologia Plantarum* 116, 423–429. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1160319.x>
- Kafkaletoú, M., Christopoulos, M. V, Ktistaki, M., Sotiropoulos, T., Tsantili, E., 2015. Influence of rain cover on respiration, quality attributes and storage of cherries (*Prunus avium* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality* 88, 87–96. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2015.088.012>
- Knoche, M., Winkler, A., 2017. Rain-Induced Cracking of Sweet Cherries, en: Quero-García, J., Iezzoni, A., Pulawska, J., Lang, G. (Eds.), *Cherries: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Oxfordshire, UK, pp. 140–165.
- Koutinas, N., Pepelyankov, G., Lichev, V., 2010. Flower induction and flower bud development in apple and sweet cherry. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 67, 292–302. <https://doi.org/10.2478/V10133-010-0003-9>
- Kriehoff, G., 2013. Süßkirschenanbau mit Regenschutzüberdachung. *Schriftenreihe des LfULG* 23, 1–35.
- Lang, G., 2017. Una mirada a los sistemas de cobertura de cerezo en el mundo [WWW Document]. URL <http://www.redagricola.com/cl/una-mirada-los-sistemas-cobertura-cerezo-mundo/> (accedido 9.11.19).
- Lang, G., Valentino, T., Demirsoy, H., Demirsoy, L., 2011. High tunnel sweet cherry studies: Innovative integration of precision canopies, precocious rootstocks, and environmental physiology. *Acta Horticulturae* 903, 717–723. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.100>
- Lang, G.A., 2014. Growing sweet cherries under plastic covers and tunnels: Physiological aspects and practical considerations. *Acta Horticulturae* 1020, 303–312. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1020.43>
- Lang, G.A., 2013. Tree fruit production in high tunnels: Current status and case study of sweet cherries. *Acta Horticulturae* 987, 73–82. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2013.987.10>
- Lang, G.A., 2009. High tunnel tree fruit production: The final frontier? *HortTechnology* 19, 50–55. <https://doi.org/10.21273/hortsci.19.1.50>
- Long, L., Lang, S., Musacchi, S., Whiting, M., 2015. PNW 667: Cherry Training Systems. Pacific Northwest Extension Publication.
- Long, L.E., Lang, G.A., Kaiser, C., 2021. *Sweet Cherries: Crop Production Science In Horticulture*. CABI Publishing, Boston, MA.
- Looney, N.E., 1985. Benefits of calcium sprays below expectations in BC test. *Good Fruit Grower* 36, 7–8.
- Maraveas, C., 2020. Environmental sustainability of plastic in agriculture. *Agriculture* 10, 1–15. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080310>
- 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. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 84, 273–278. <https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512516>
- Marsal, J., Lopez, G., del Campo, J., Mata, M., Arbones, A., Girona, J., 2010. Postharvest regulated deficit irrigation in 'Summit' sweet cherry: Fruit yield and quality in the following season. *Irrigation Science* 28, 181–189. <https://doi.org/10.1007/s00271-009-0174-z>
- Meland, M., Frøynes, O., Kaiser, C., 2017. High tunnel production systems improve yields and fruit size of sweet cherry. *Acta Horticulturae* 1161, 117–124. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1161.20>

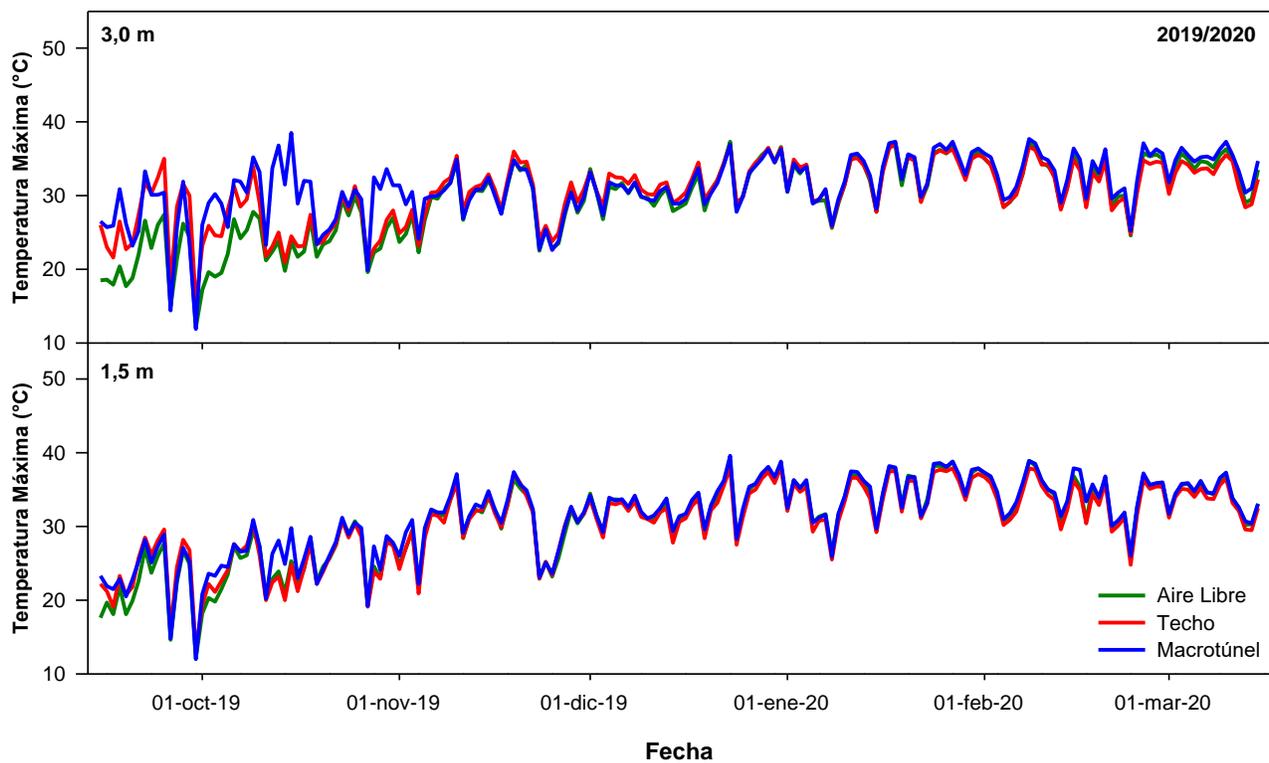
- Mészáros, M., Bělíková, H., Čonka, P., Náměstek, J., 2019. Effect of hail nets and fertilization management on the nutritional status, growth and production of apple trees. *Scientia Horticulturae* 255, 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.079>
- Mika, A., Buler, Z., Wójcik, K., Konopacka, D., 2019. Influence of the Plastic Cover on the Protection of Sweet Cherry Fruit Against Cracking, on the Microclimate under Cover and Fruit Quality. *Journal of Horticultural Research* 27, 31–38. <https://doi.org/10.2478/johr-2019-0018>
- Moreno, Y., 1995. Fisiología y aspectos básicos del cultivo del cerezo, en: Moreno, Y. (Ed.), Seminario Internacional El cultivo del Cerezo: nuevas variedades, portainjertos y sistemas de conducción. Universidad de Talca, Escuela de Agronomía, Talca, pp. 22–50.
- Mulabagal, V., Lang, G.A., DeWitt, D.L., Dalavoy, S.S., Nair, M.G., Alavoy, S.A.S.D., Air, M.U.G.N., 2009. Anthocyanin content, lipid peroxidation and cyclooxygenase enzyme inhibitory activities of sweet and sour Cherries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 1239–1246. <https://doi.org/10.1021/jf8032039>
- Neilsen, G.H., Neilsen, D., Forge, T., 2017. Environmental Limiting Factors for Cherry Production, en: Quero-García, J., Iezzoni, A., Putawska, J., Lang, G. (Eds.), *Cherries: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Boston, MA, pp. 189–222.
- ODEPA-Servicio Nacional de Aduanas, 2020. Estadísticas de Comercio Exterior [WWW Document]. URL <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/comercio-exterior> (accedido 7.30.20).
- Overbeck, V., Schmitz, M., Blanke, M., 2017. Targeted forcing improves quality, nutritional and health value of sweet cherry fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97, 3649–3655. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8224>
- Overbeck, V., Schmitz, M., Tartachnyk, I., Blanke, M., 2018. Identification of light availability in different sweet cherry orchards under cover by using non-destructive measurements with a Dualex™. *European Journal of Agronomy* 93, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.11.006>
- 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, 263–266.
- Prior, R.L., Hoang, H., Gu, L., Wu, X., Bacchiocca, M., Howard, L., Hampsch-Woodill, M., Huang, D., Ou, B., Jacob, R., 2003. Assays for hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity (oxygen radical absorbance capacity (ORACFL)) of plasma and other biological and food samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 3273–3279. <https://doi.org/10.1021/jf0262256>
- Quero-García, J., Schuster, M., López-Ortega, G., Charlot, G., 2017. Sweet Cherry Varieties and Improvement, en: Quero-García, J., Iezzoni, A., Pulawska, J., Lang, G. (Eds.), *Cherries: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Boston, USA, pp. 60–116.
- Ros, J., Tevini, M., 1995. Interaction of UV-Radiation and IAA During Growth of Seedlings and Hypocotyl Segments of Sunflower. *Journal of Plant Physiology* 146, 295–302. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)82057-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)82057-2)
- Ruisa, S., Feldmane, D., Skrivele, M., Rubauskis, E., Kaufmane, E., 2017. The effect of rain protective covering on sweet cherry fruit quality. *Acta Horticulturae* 1161, 143–147. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1161.24>
- SAG-ASOEX, 2021. Estadísticas de Exportación [WWW Document]. URL <https://www.asoex.cl/estadisticas-de-exportacion.html> (accedido 12.20.21).
- Schäfer, S., 2005. Einsparungspotenziale an Pflanzenschutz- und Düngemitteln im ökologisch orientierten Obstbau durch Überdachungssysteme -Auswirkungen auf Mikroklima, Baumwachstum, Fruchtqualität sowie den phytosanitären Status von Süßkirschen. Humboldt-Universität zu Berlin.
- Schmitz-Eiberger, M.A., Blanke, M.M., 2012. Bioactive components in forced sweet cherry fruit (*Prunus avium* L.), antioxidative capacity and allergenic potential as dependent on cultivation under cover. *LWT - Food Science and Technology* 46, 388–392. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.12.015>
- Simon, G., 2006. Review on rain induced fruit cracking of sweet cherries (*Prunus avium* L.), its causes and the possibilities of prevention. *International Journal of Horticulture Science* 12, 27–35.

- Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagent. *American Journal of Enology and Viticulture* 16, 144–158.
- Sotiropoulos, T., Petridis, A., Koukourikou-Petridou, M., Koundouras, S., Therios, I., Koutinas, N., Kazantzis, K., Pappa, M., 2014. Efficacy of using Rain Protective Plastic Films against Cracking of Four Sweet Cherry (*Prunus avium* L.) Cultivars in Greece. *International Journal of Agriculture Innovations and Research* 2, 2319–1473.
- Stanley, C.J., Tustin, D.S., Lupton, G.B., McCartney, S., Cashmore, W.M., De Silva, H.N., 2000. Towards understanding the role of temperature in apple fruit growth responses in three geographical regions within New Zealand. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 75, 413–422. <https://doi.org/10.1080/14620316.2000.11511261>
- Tapia, C., 2017. Nuevas tendencias en sistemas de conducción de cerezos [WWW Document]. URL <https://www.redagricola.com/cl/base-experiencias-productivas-chile-nuevas-tendencias-sistemas-conduccion-cerezos-2/> (accedido 7.30.20).
- Taylor, K.C., Whiting, M., 2019. Spray Pollination System to Increase Fruit Set in Sweet Cherry, en: 2019 ASHS Annual Conference.
- Torres, C.A., Sepúlveda, A., Leon, L., Yuri, J.A., 2016. Early detection of sun injury on apples (*Malus domestica* Borkh.) through the use of crop water stress index and chlorophyll fluorescence. *Scientia Horticulturae* 211, 336–342. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.022>
- Usenik, V., Štampar, F., 2011. The Effect of Environmental Temperature on Sweet Cherry Phenology. *European Journal of Horticultural Science* 76, 1611–4426.
- Usenik, V., Zadavec, P., Štampar, F., 2009. Influence of rain protective tree covering on sweet cherry fruit quality. *European Journal of Horticultural Science* 74, 49–53.
- Wallberg, B.N., Sagredo, K.X., 2014. Vegetative and reproductive development of 'Lapins' sweet cherry trees under rain protective covering. *Acta Horticulturae* 1058, 411–418.
- Webster, A.D., 1980. Dwarfing rootstocks for plums and cherries. *Acta Horticulturae* 114, 201–207.
- Wenden, B., Campoy, J.A., Jensen, M., López-Ortega, G., 2017. Climatic Limiting Factors: Temperature, en: Quero-García, J., Iezzoni, A., Putawska, J., Lang, G. (Eds.), *Cherries: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Boston, USA, pp. 166–188.
- Yuri, J.A., Sánchez-Contreras, J., Palma, M., Sepúlveda, Á., 2019. El cerezo en Chile y los desafíos de la producción bajo cubierta anti-lluvia. *Revista de Fruticultura* 54–67.
- Zhang, H., Hou, Q., Tu, K., Qiao, G., Li, Q., Wen, X., 2021a. The Effects of Rain-shelter Cultivation on the Photosynthetic Characteristics and Chlorophyll Fluorescence of Sweet Cherry (*Prunus avium* L.). *Erwerbs-Obstbau*. <https://doi.org/10.1007/s10341-021-00598-y>
- Zhang, H., Tu, K., Qiu, Z., Wen, Z., Li, Q., Wen, X., 2021b. Effects of different rain shelter coverings on volatile organic compounds in mature fruit and postharvest quality of sweet cherry. *CYTA - Journal of Food* 19, 465–475. <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.1915388>
- Zhang, L., Ferguson, L., Whiting, M.D., 2018. Temperature effects on pistil viability and fruit set in sweet cherry. *Scientia Horticulturae* 241, 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.039>

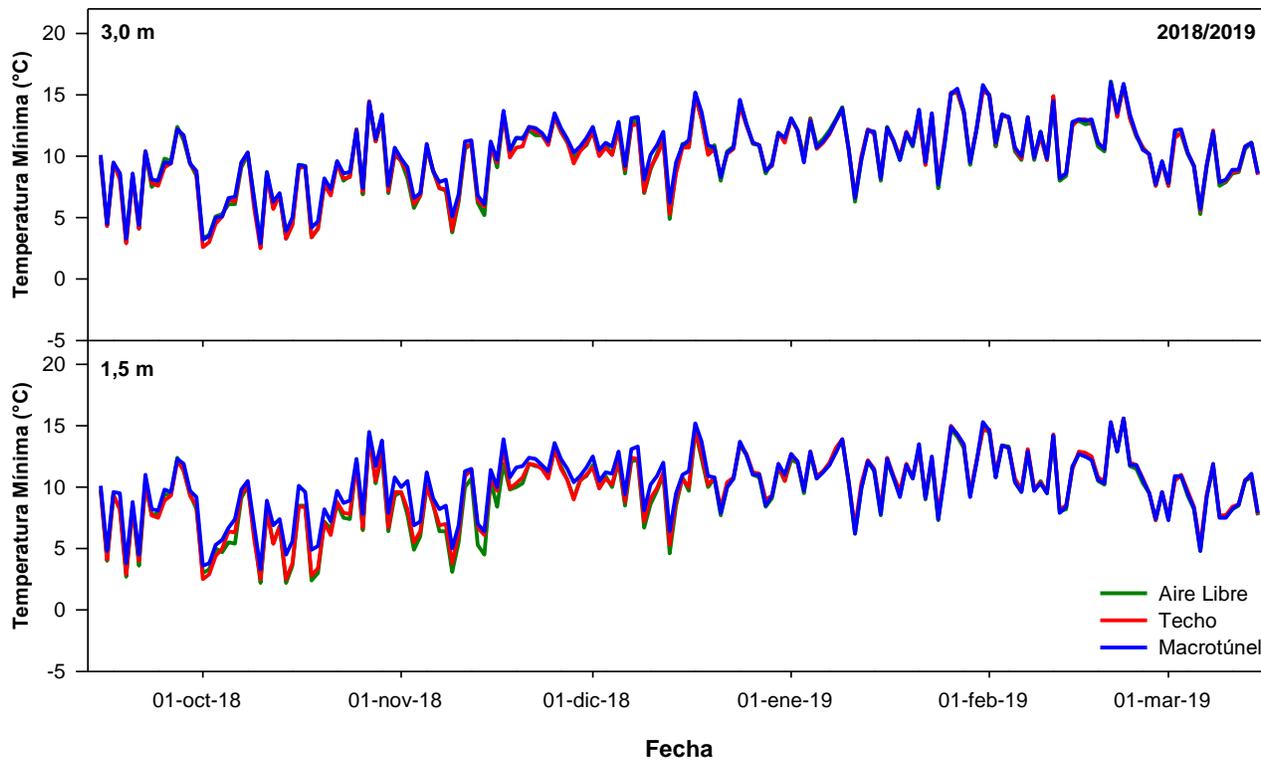
7. ANEXOS



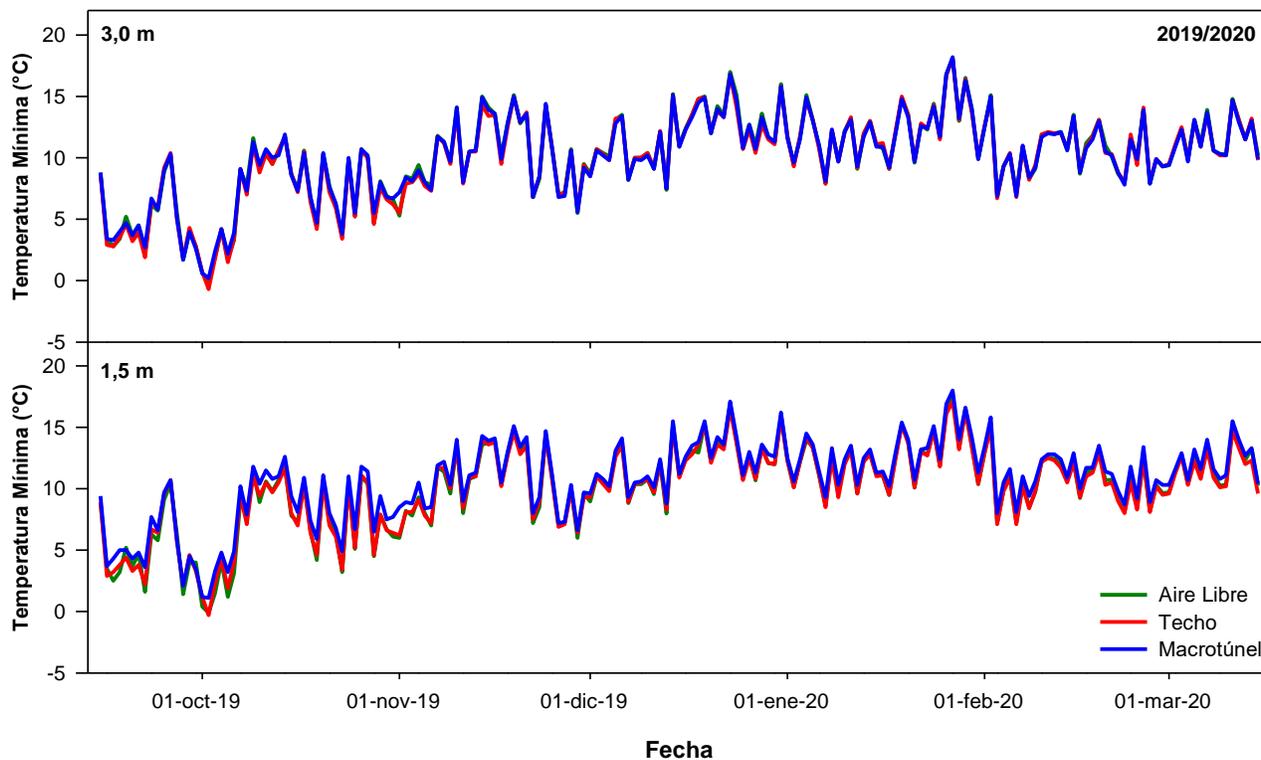
Anexo 1. Temperatura Máxima (°C) entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.



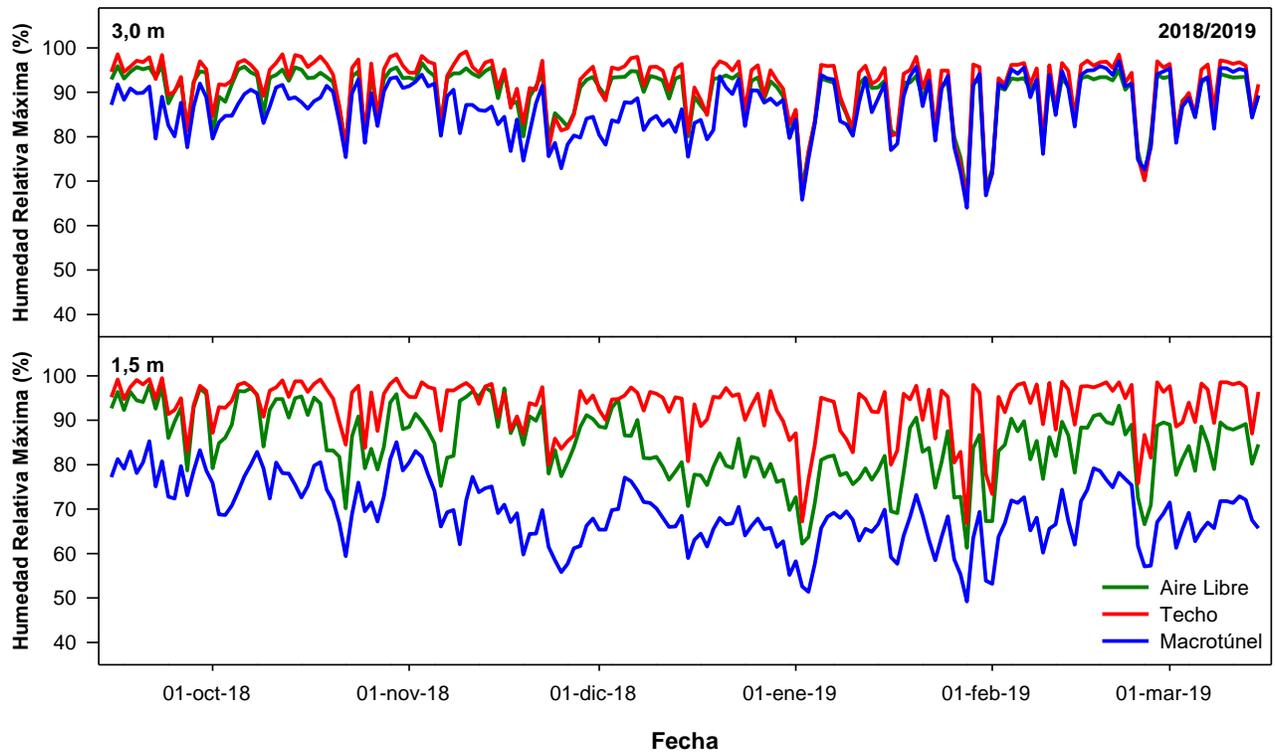
Anexo 2. Temperatura Máxima (°C) entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.



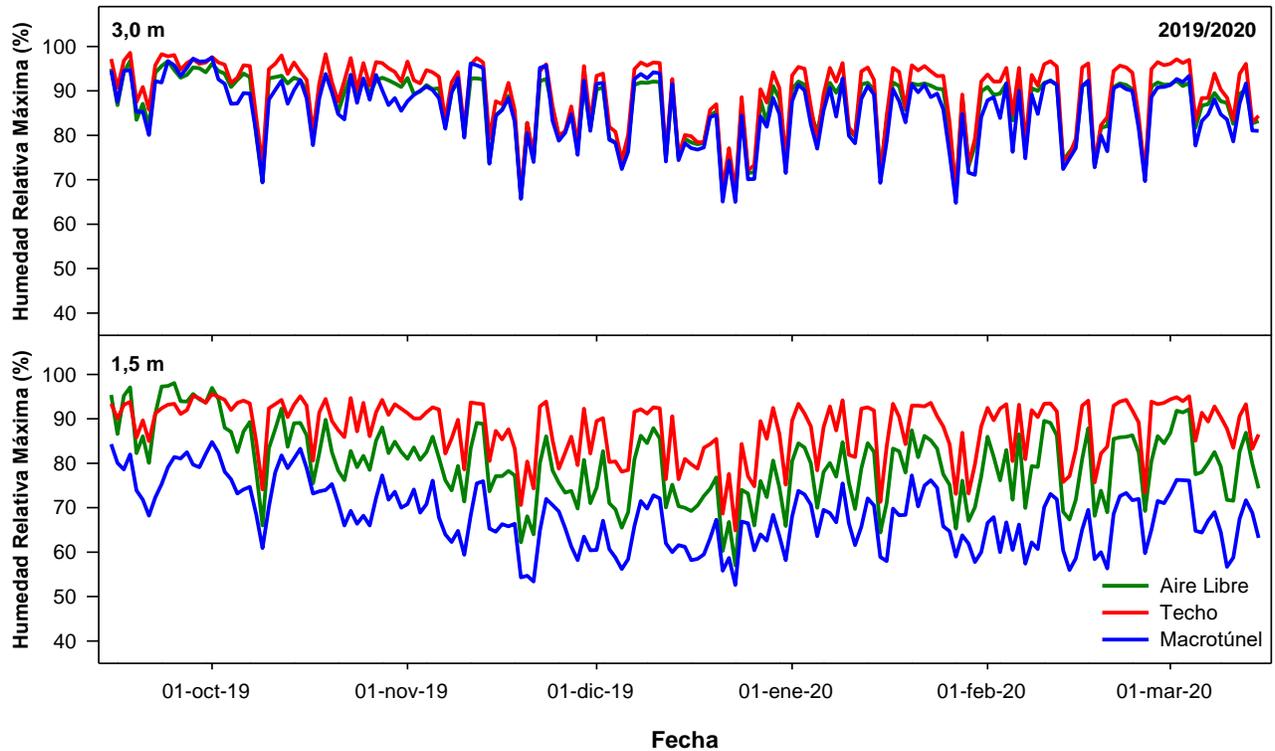
Anexo 3. Temperatura Mínima (°C) entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.



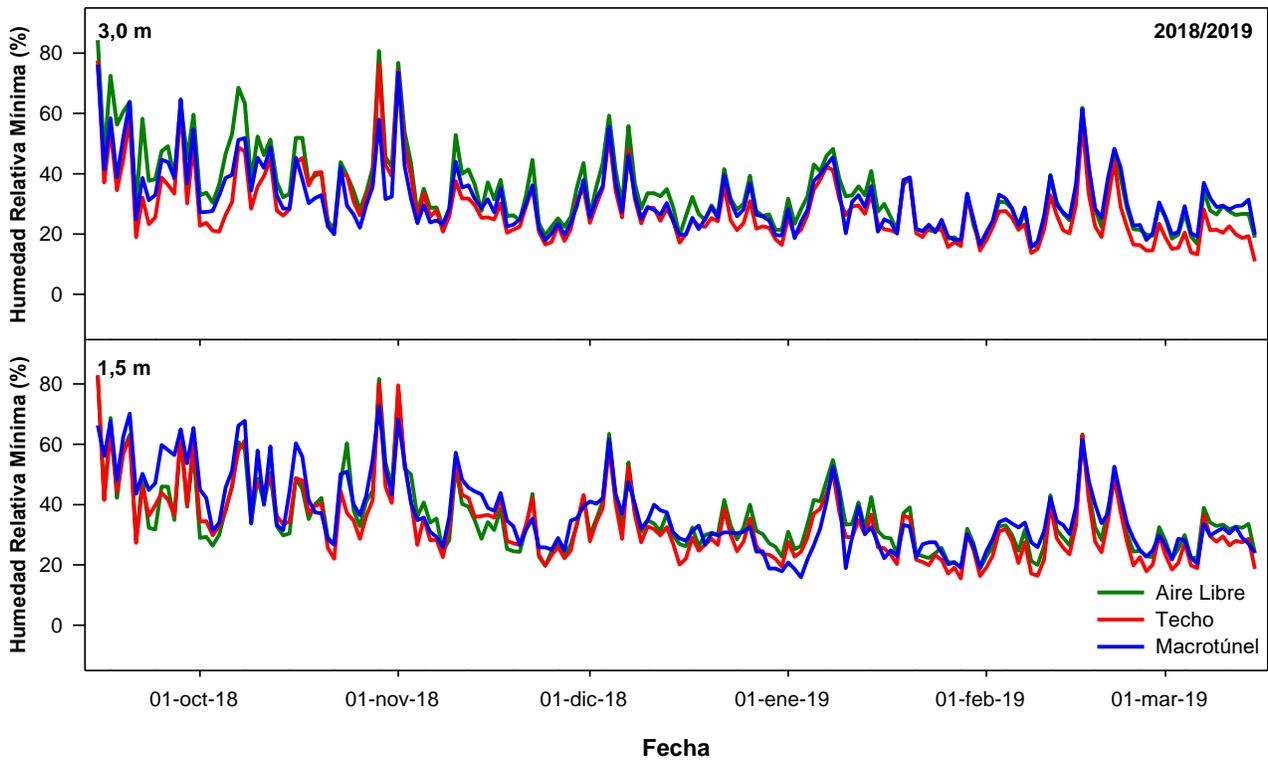
Anexo 4. Temperatura Mínima (°C) entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.



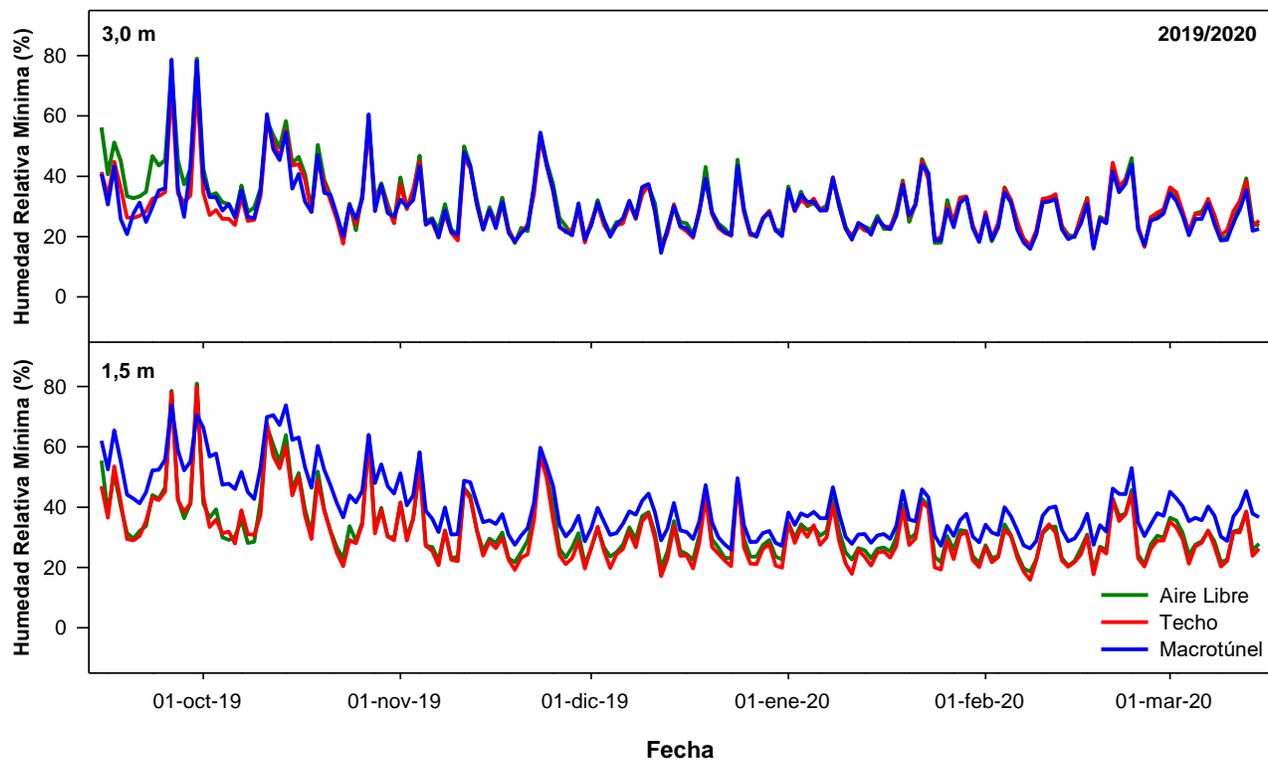
Anexo 5. Humedad Relativa Máxima (%) entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.



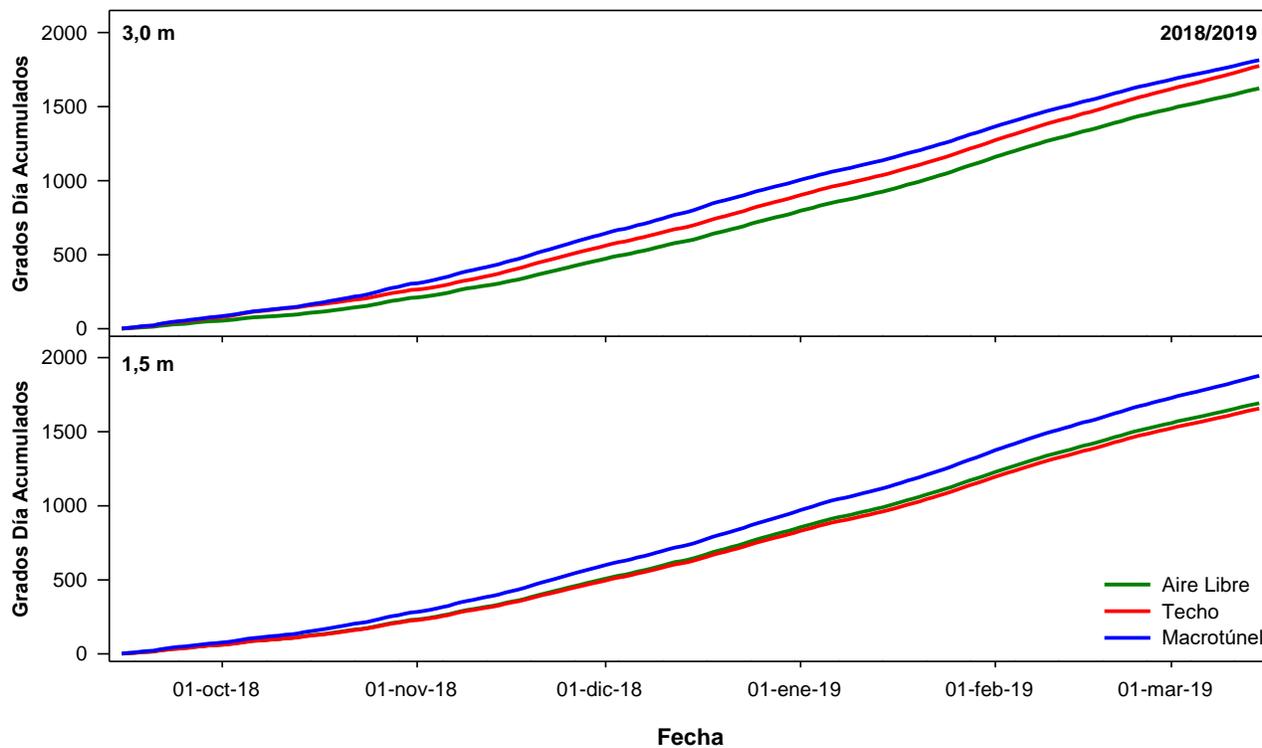
Anexo 6. Humedad Relativa Máxima (%) entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.



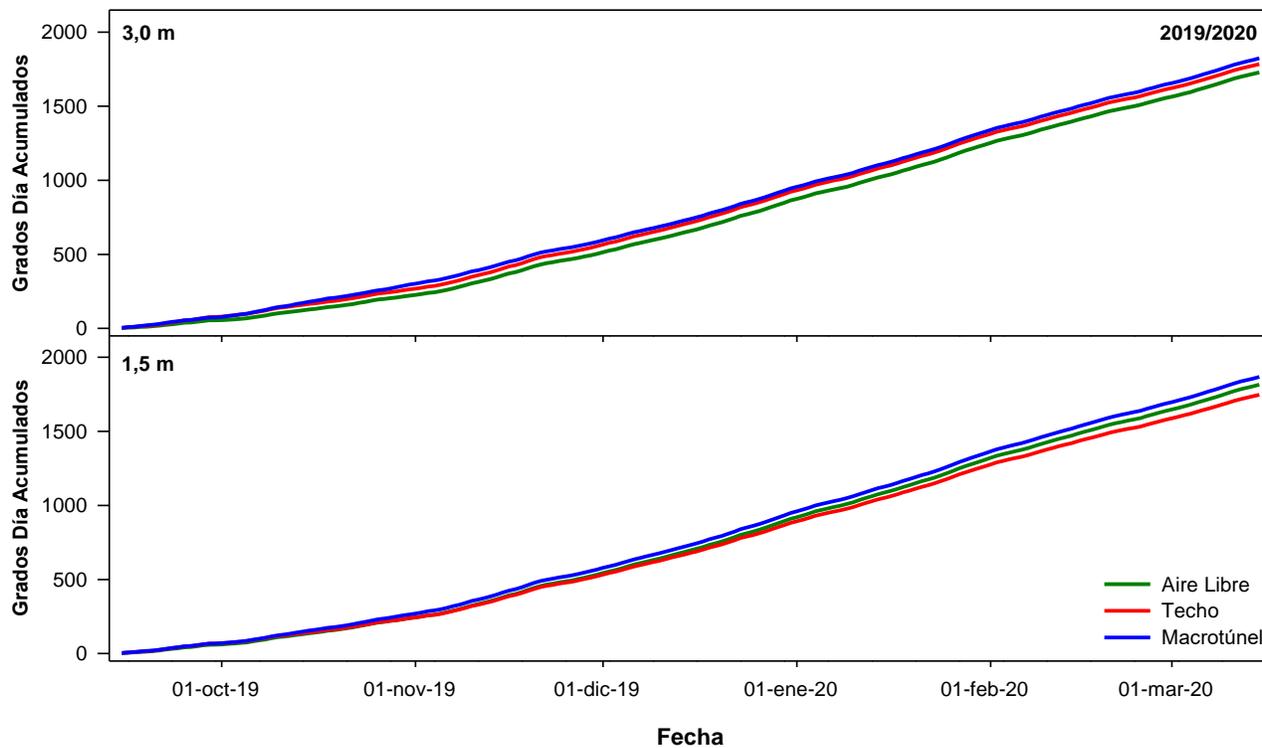
Anexo 7. Humedad Relativa Mínima (%) entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.



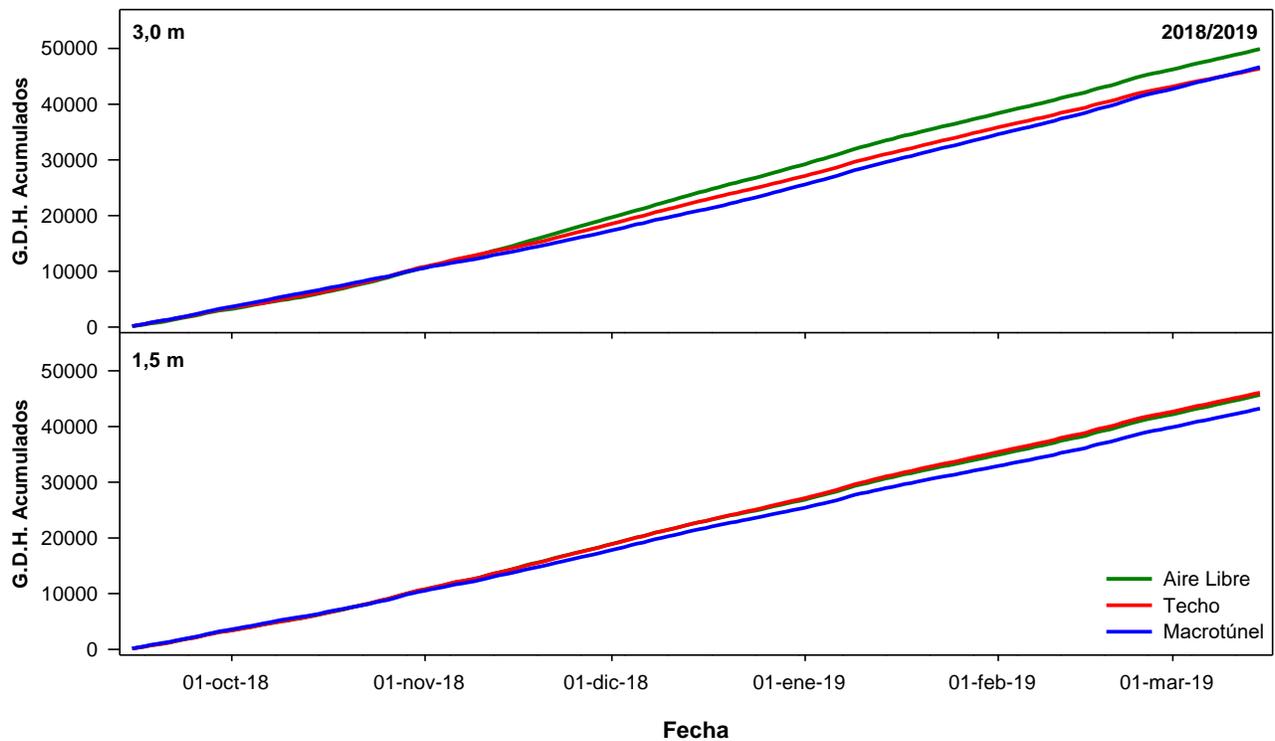
Anexo 8. Humedad Relativa Mínima (%) entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.



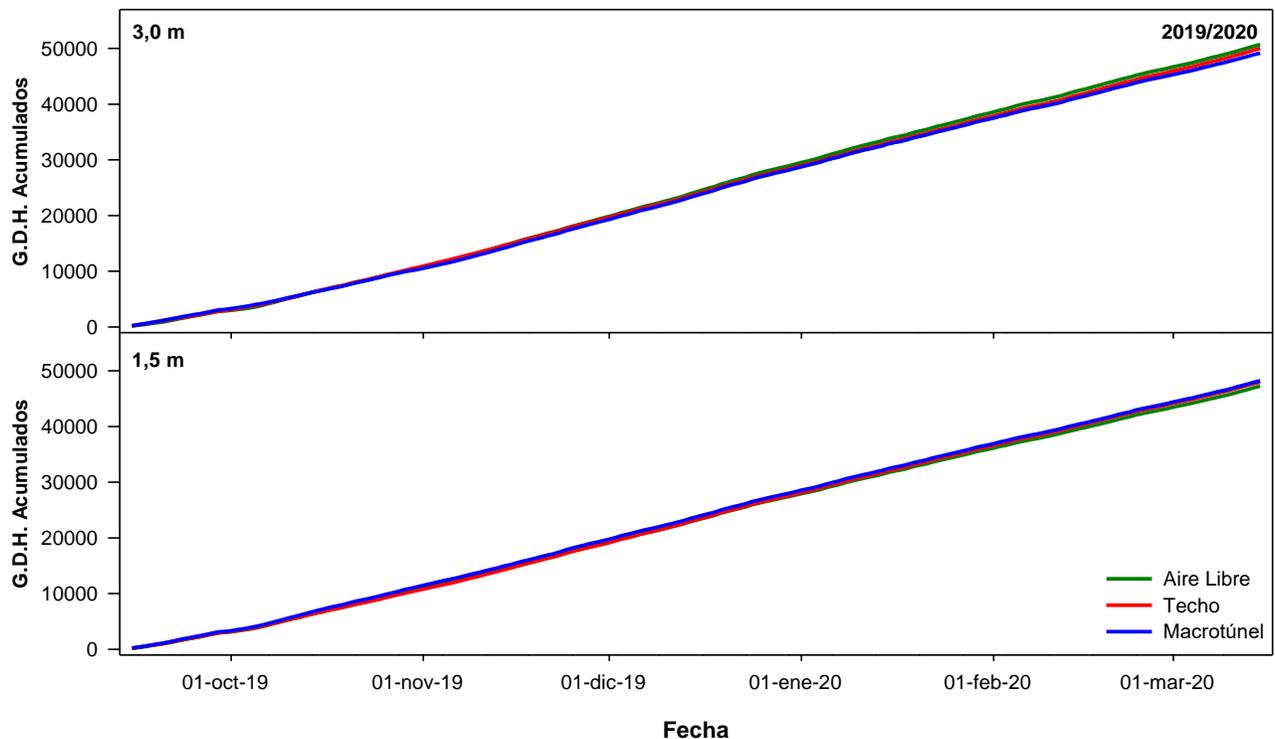
Anexo 9. Grados Día Acumulados entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.



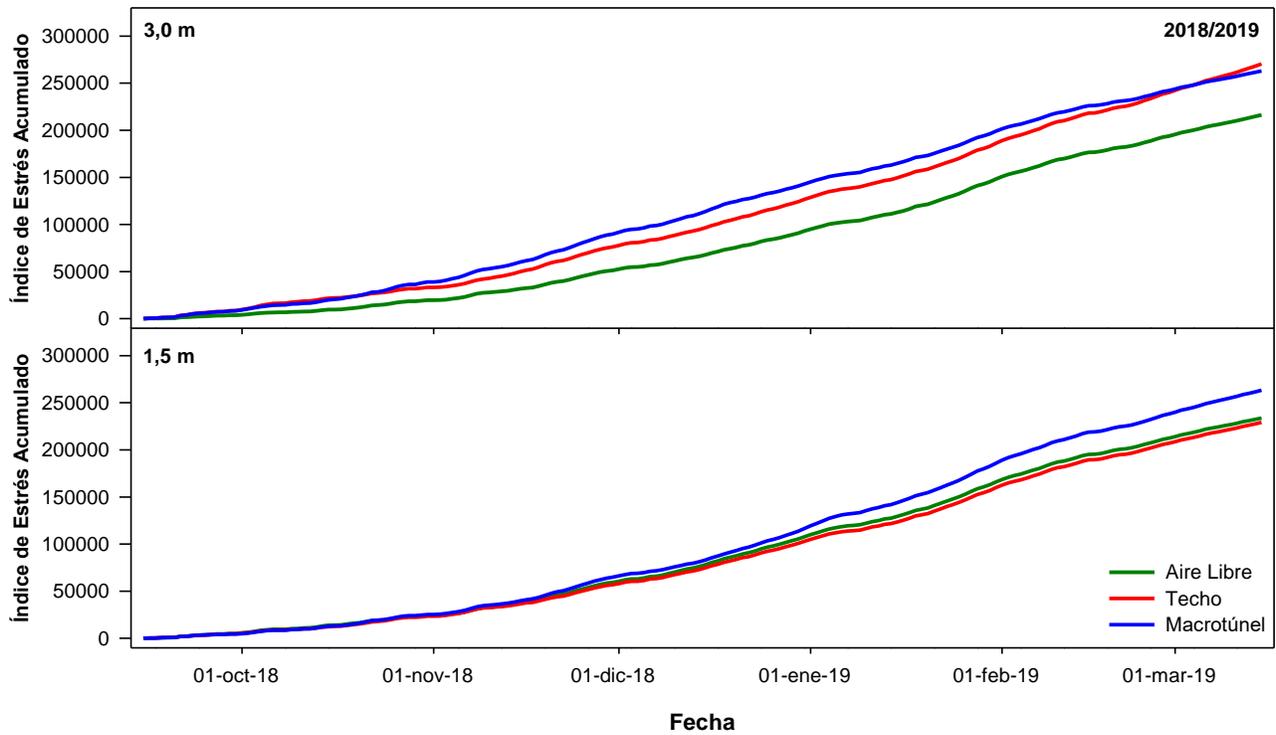
Anexo 10. Grados Día Acumulados entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.



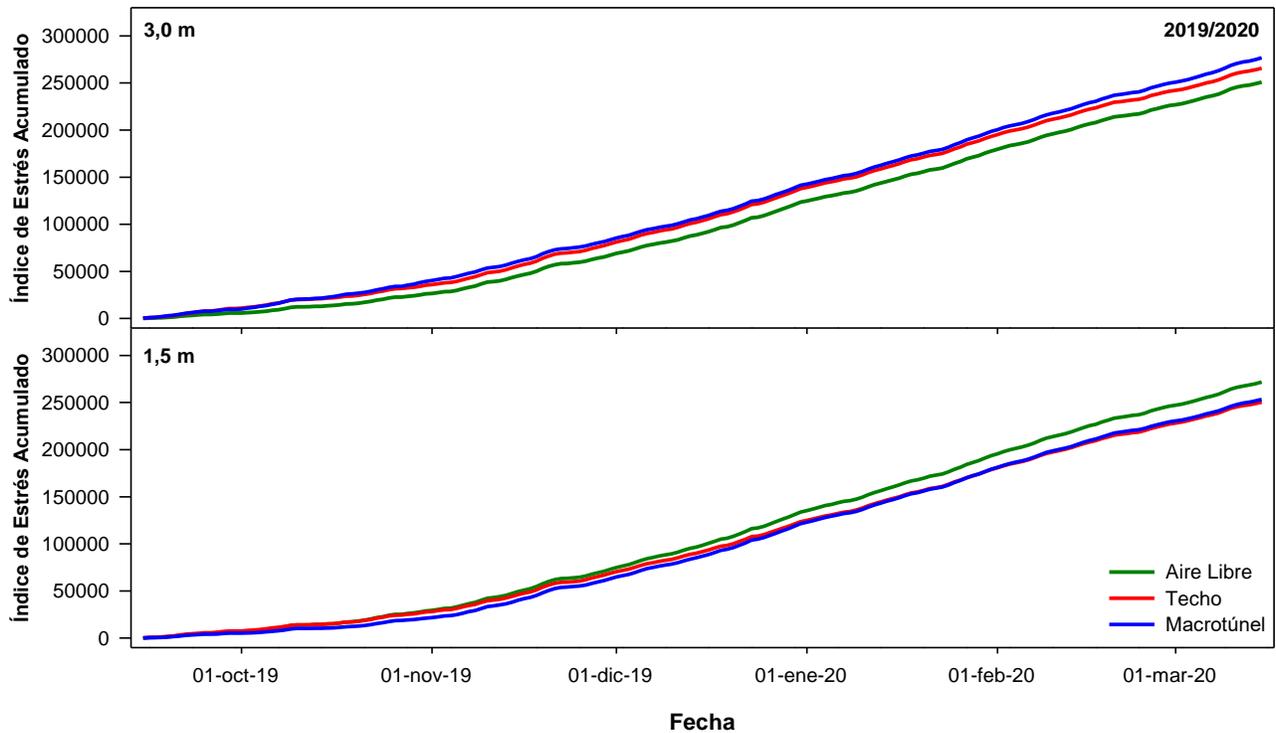
Anexo 11. Grados Hora (G.D.H.) Acumulados entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.



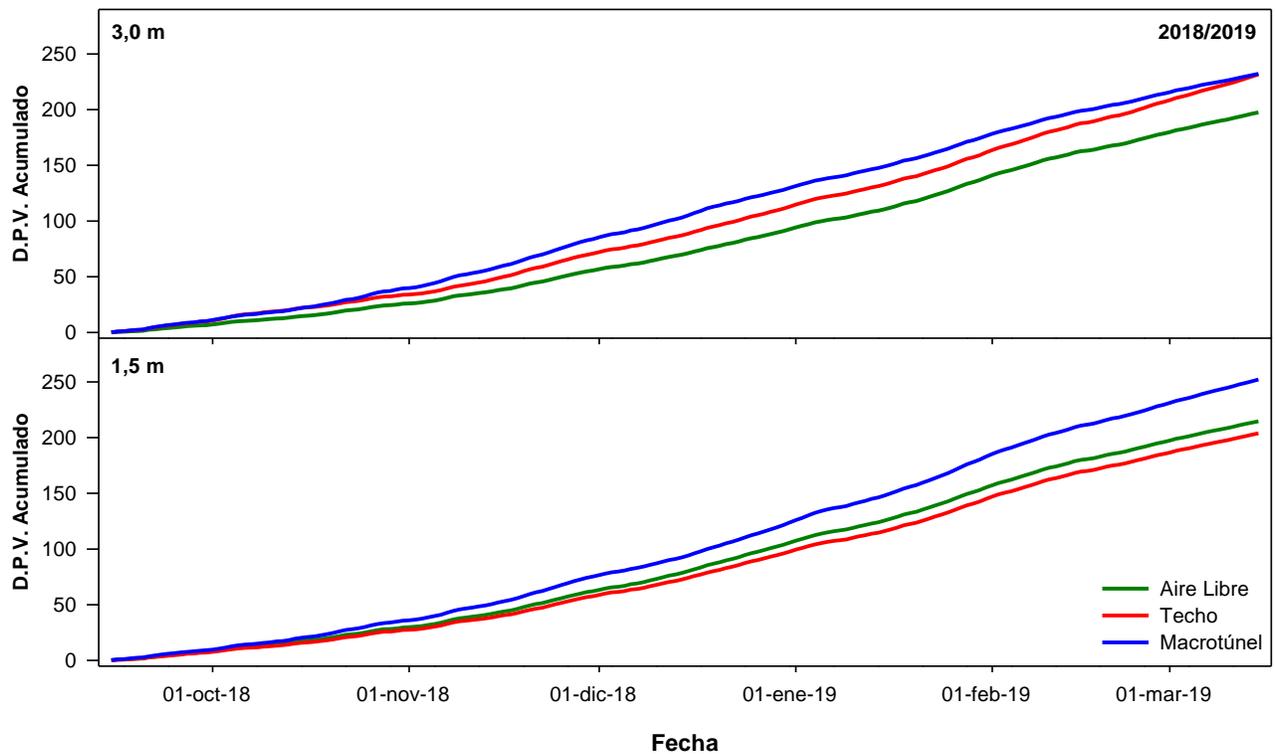
Anexo 12. Grados Hora (G.D.H.) Acumulados entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.



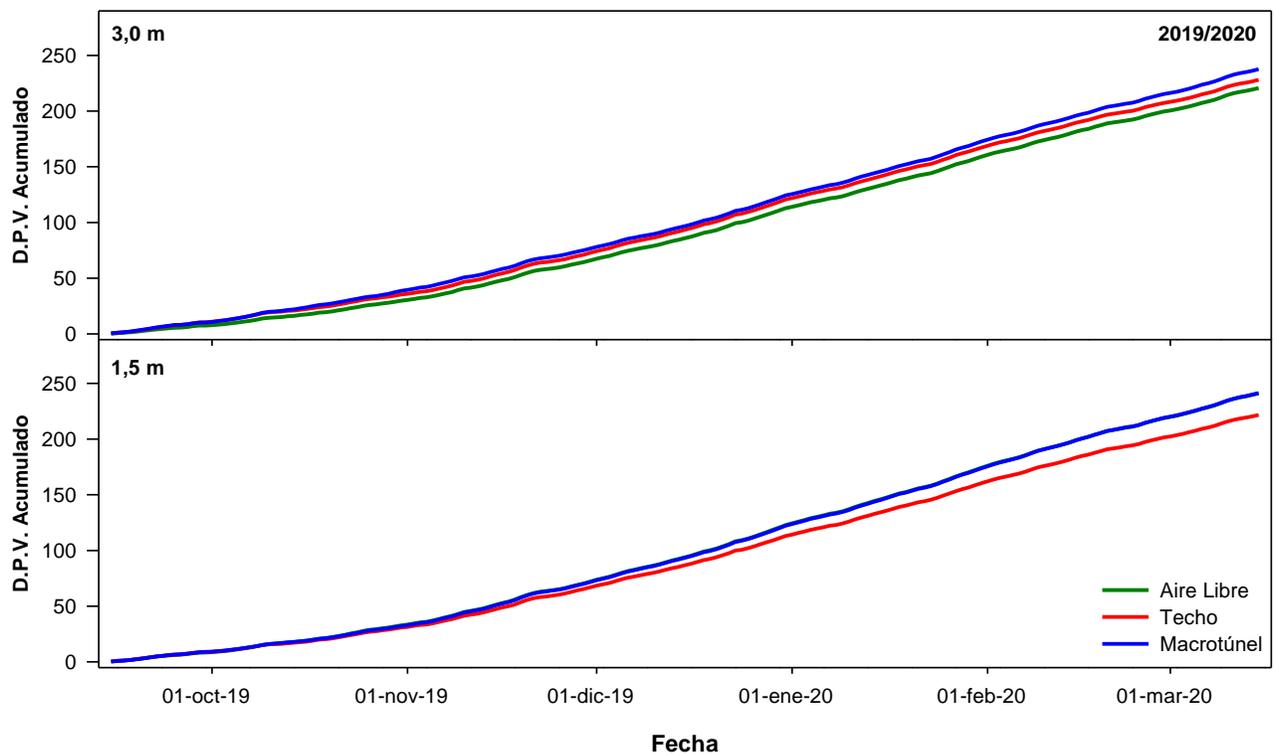
Anexo 13. Índice de Estrés Acumulado entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.



Anexo 14. Índice de Estrés Acumulado entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv. 'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.



Anexo 15. Déficit de Presión de Vapor (D.P.V.) Acumulado entre el 15-sep.-2018 y el 15-mar-2019, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2018/2019.



Anexo 16. Déficit de Presión de Vapor (D.P.V.) Acumulado entre el 15-sep.-2019 y el 15-mar-2020, a 3,0 y 1,5 m sobre el suelo, en cerezos cv.'Santina' cultivados al Aire Libre, bajo Techo y Macrotúnel. Temporada 2019/2020.