



**UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**FENOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE UN HUERTO DE CEREZO
(*PRUNUS AVIUM* L). CV. SANTINA, PRODUCIDO BAJO
MACROTÚNEL Y TECHO ANTILLUVIA**

MEMORIA DE TÍTULO

MATIAS ALEJANDRO ARÉVALO CONTRERAS

Talca, Chile

2020

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.



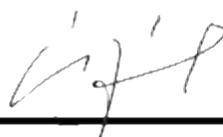
Talca, 2020

APROBACIÓN:



Profesor guía:

Ing. Agr. Dr. José Antonio Yuri Salomón
Profesor Escuela de Agronomía
Centro de Pomáceas Facultad
de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca



Profesor co-guía:

Ing. Agr. Mg. Álvaro Sepúlveda León
Laboratorio de Ecofisiología Frutal
Centro de Pomáceas Facultad
de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca

Fecha de presentación de la Defensa de Memoria: 28 de mayo de 2020.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradecer a mis padres Graciela Contreras y José Arévalo por el apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, especialmente en estos cinco años de carrera universitaria, a mi amigo Daniel Rojas quien considero como un hermano mayor por todos los consejos y el apoyo en mi proceso universitario y laboral.

Agradezco al Centro de Pomáceas, específicamente a mi profesor guía José Antonio Yuri por permitirme realizar mi estudio en sus dependencias, pero principalmente a mi profesor co guía Álvaro Sepúlveda destacando su preocupación, ayuda y disponibilidad en el ámbito profesional. También agradecer a Javier Sánchez y Miguel Palma ya que sin su apoyo esto tampoco hubiera sido posible.

A mis compañeros Matias Galdames, Álvaro Henríquez, Ian Herrera, Gustavo Ubilla, Rodolfo Garrido y Felipe Pavez quienes hicieron de esta experiencia universitaria muy grata y entretenida. A mi novia y compañera Amanda Morales por el apoyo entregado los últimos 4 años de estudio.

Finalmente agradecer a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Talca que me permitió estudiar la carrera que siempre quise.

RESUMEN

Debido al aumento de superficie plantada de cerezos en Chile, se están buscando nuevas alternativas que logren satisfacer las necesidades financieras del productor. Entre las posibilidades existentes hoy en día, destaca el uso de cubiertas plásticas para proteger la fruta del contacto con el agua de las lluvias (precipitaciones). Además, para adelantar fenología y en consecuencia la cosecha, se está implementando el uso de macro túneles, que también permite evitar el desorden fisiológico de la partidura producido por las lluvias estivales sin afectar la calidad de las cerezas. Sin embargo, estas cubiertas plásticas afectan los parámetros eco fisiológicos de las plantas.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del uso de cubiertas plásticas sobre la eco fisiología del cerezo. El ensayo fue realizado en el huerto comercial Santa Carmen en la comuna de Sagrada Familia ($35^{\circ}01'38.48''$ S; $71^{\circ}26'49.26''$ O), Región del Maule, Chile, durante la temporada 2018-2019. Se estudiaron parámetros fisiológicos como fluorescencia de la hoja, conductancia estomática y temperatura de la hoja, y variables ambientales como radiación, humedad relativa y temperatura. Los árboles fueron cubiertos desde prefloración hasta cosecha, en relación al manejo del productor. Las mediciones se realizaron a los 30, 60 y 90 días después de plena flor para variables fisiológicas, 90 días después de plena flor para las variables de radiación y durante toda la temporada en el caso de temperatura y humedad relativa. La variedad estudiada fue "Santina" sobre un patrón Colt con un sistema de conducción *Kym Green Bush* (KGB).

Se evaluaron tres tratamientos: i) sin cubierta; ii) con techo antilluvia y; iii) macro túnel. Los resultados indicaron que la implementación del macro túnel adelantó estados fenológicos como floración y cosecha debido al aumento de la temperatura por la noche y de la humedad relativa durante el día, ambas cubiertas plásticas además de disminuir la radiación, convierten la radiación directa en radiación difusa, lo cual se tradujo en un aumento de la conductancia estomática sin producir un efecto negativo sobre la fluorescencia de la hoja. Además, el uso del techo antilluvia produciría que las plantas crezcan en un ambiente menos estresante que su cultivo al aire libre o bajo macro túnel.

ABSTRACT

The increased production of sweet cherry trees in Chile has allowed the producer to search for new alternatives that maximize their profits. Among the possibilities that exist today, the use of plastic covers stands out in protecting the fruit from contact with rainwater. In addition, the use of macrotunnels is being implemented to advance phenology and, consequently, the harvest, which leads to high returns. This technology also makes it possible to avoid the physiological disorder of the parting produced by late rains. However, these plastic covers alter the micro environment in which cherry trees grow, affecting the physiology of plants.

The objective of this study was to determine the effect of the use of plastic covers on the echo physiology of the cherry tree. The test was carried out in the Santa Carmen commercial orchard in the Sagrada Familia commune (35 ° 01'38.48 "S; 71 ° 26'49.26" W), Maule Region, Chile, during the 2018-2019 season. Physiological variables were studied in Santina / Colt cherry trees under plastic roof, macro tunnel and outdoors, like chlorophyll fluorescence, stomatal conductance and leaf temperature. In the three environments, environmental parameters such as solar radiation, relative humidity and temperature were measured. The trees were covered since pre-flowering to harvest, according to the management of the producer. Measurements were made at 30, 60 and 90 days after full flower (ddpf) for physiological variables; 90 ddpf for the variables of solar radiation and the record of air temperatura and relative humidity was throughout the whole season.

Three environments were evaluated, wich correspond to the following treatments: i) Control (without cover); ii) Roof (with rain cover) and iii) Tunnel (macro tunnel). The results indicated that the implementation of the macro tunnel advanced the phenological states such as flowering and harvesting. This is consistent with the increase in ambient temperature below it. Both plastic covers, in addition to decreasing solar radiation, produced an increase in stomatal conductance. The environmental modification did not produce a positive or negative effect on the photosynthetic apparatus. The measurement of the chlorophyll fluorescence would show a setting of the plants to an environment of higher ambient temperature in the Tunnel treatment. Using the rain roof would cause plants to grow in a less stressful environment than growing them outdoors or under a macro tunnel. This could be positive in the quality of the fruit produced.

ÍNDICE

Contenido	Página
ÍNDICE DE CUADROS	9
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Hipótesis	2
1.2 Objetivo general	2
1.3 Objetivos específicos	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Antecedentes técnicos del cerezo	3
2.2 Requerimientos edafoclimáticos	3
2.3 Requerimientos Hídricos	5
2.4 Características de la variedad Santina	5
2.5 Características del portainjerto Colt	6
2.6 Sistema de Conducción KGB	6
2.7 Partidura (<i>Cracking</i>)	7
2.8 Cobertores Plásticos	7
2.9 Variables Fisiológicas	8
2.9.1 Fluorescencia de la clorofila	8
2.9.2 Conductancia estomática	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1 Localización y antecedentes de la zona	11
3.4 Apertura de las cubiertas	12
3.5 Evaluaciones ambientales	12
3.5.1 Radiación solar	12
3.5.2 Humedad relativa (HR) y Temperatura	12
3.6 Evaluaciones fisiológicas en árbol	13
3.6.1 Fluorescencia	13
3.6.2 Temperatura de la hoja	13
3.6.3 Conductancia estomática	13
3.7 Análisis estadístico	13

3.8 Fenología del Cerezo	14
3.9 Diseño experimental.....	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1 Fenología del Cerezo	15
4.2 Mediciones Ambientales	15
4.3 Evaluaciones fisiológicas.....	18
5. CONCLUSIONES	22
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	23
7. ANEXO FOTOGRAFICO	26

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Adaptabilidad edafoclimática del cerezo (*Prunus avium* L.)

Cuadro 2. Fechas de etapas fenológicas registradas en campo.

Cuadro 3. ANDEVA de la radiación solar incidente a 3 m (radiación total, radiación fotosintéticamente activa (PAR) y radiación ultravioleta (UV-B), para los tratamientos Control, Techo y Túnel, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. 19 de noviembre del 2018.

Cuadro 4. ANDEVA de la radiación solar incidente a 1,5 m (radiación total, radiación fotosintéticamente activa (PAR) y radiación ultravioleta (UV-B), para los tratamientos Control, Techo y Túnel, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. 19 de noviembre del 2018.

Cuadro 5. Temperatura y humedad relativa. Valores promedios de medias, mínimas y máximas desde plena flor a cosecha en dos alturas, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2018-2019.

Cuadro 6. Índices medidos con temperatura y humedad relativa registrada a 1,5 m de altura, desde plena flor a cosecha, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2018-2019.

Cuadro 7. Etapas fenológicas más significativas y periodo entre ellas.

Cuadro 8. ANDEVA de las variables fisiológicas medidas al árbol: conductancia estomática (gs) y temperatura de la hoja), para los tratamientos Control, Techo y macro Túnel, a los 30 y 90 DDPF en caso de gs y a los 30,60 y 90 DDPF para T° hoja, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2018-2019.

Cuadro 9. ANDEVA de las variables de fluorescencia medidas en la hoja (Fluorescencia inicial (F₀), Fluorescencia máxima (F_m) y Fluorescencia de la hoja (F_v/f_m)), para los tratamientos Control, Techo y macro Túnel, 30, 60 y 90 DDPF, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2018-2019

1. INTRODUCCIÓN

En Chile, el cerezo se ha convertido en una de las especies frutales más importantes al superar las 30.000 hectáreas en superficie en la temporada 2017/2018. Esta superficie se concentra entre las regiones Metropolitana y del Maule, y generó una producción nacional de 205.741 toneladas métricas de fruta fresca. El principal destino de esta producción es la exportación de cerezas frescas, que alcanzaron las 184.741 toneladas en dicha temporada (ODEPA, 2018; Bickford y Valverde, 2018).

China se ha consolidado como el principal país de destino para cerezas como fruta fresca, el cual importa el 85% de la cereza exportada por nuestro país (Bickford y Valverde, 2018).

Uno de los principales problemas que reduce la calidad de los frutos en cerezas en todo el mundo es el *cracking*. Consiste en la partidura de la piel de la fruta pronta a su cosecha y ocurre por prolongado tiempo en contacto con agua libre, de lluvia o por exceso de agua en el suelo (Lang et al., 2016). Se han desarrollado diversas prácticas para disminuir la incidencia de este desorden en la producción de fruta fresca, pero aún no se encuentra una solución completa y efectiva. El *cracking* de la fruta es un fenómeno complejo que depende de muchos factores como variedad, patrón, potencial osmótico de la pulpa, manejo de riego, etapa de desarrollo de la fruta entre otros (Balbontín et al., 2014).

Con la finalidad de evitar este fenómeno se están eligiendo variedades tolerantes y tardías, para evitar el contacto de la fruta madura con lluvias primaverales, o se está produciendo en lugares con condiciones edafoclimáticas más cálidas, complementando con el uso de rompedores de receso químicos para compensar la limitada acumulación de frío invernal. En el huerto establecido, el método más utilizado y eficaz para reducir el *cracking*, es el uso de cubiertas plásticas sobre el árbol para evitar el contacto directo de la fruta con la lluvia. Con el paso del tiempo se han implementado diversos sistemas de coberturas plásticas, desde carpas de postes y alambres hasta Túneles de acero (Lang, 2014).

A pesar de que el objetivo que se busca con el uso de cobertura plástica es disminuir el *cracking* de la fruta, el uso de estos sistemas modifica el ambiente, por lo que se afecta la fisiología de la planta. Además de neutralizar las lluvias, las principales modificaciones del ambiente son la reducción de la radiación solar y de la velocidad del viento, aumento de las temperaturas y humedad relativa, con lo que disminuye la incidencia de enfermedades (Lang, 2014; Meland et al., 2017).

En el caso del macro túnel, su uso cumple un doble propósito. Además del control de *cracking*, se utiliza para producir cerezos en zonas frías, como invernadero. Sin embargo, en Chile ha

comenzado a usarse para adelantar la cosecha, para apuntar a las ventanas de mercado más valiosas (Lang, 2013). Existen amplios antecedentes del uso de macro túnel en climas fríos (Lang, 2014; Blanke et al., 2017), pero en menor grado de su implementación en zonas cálidas, como en la zona central de Chile (Blanco et al., 2019). En el país su uso es reciente, por lo que es poca la información local.

A continuación, se plantea la hipótesis y objetivos del presente trabajo:

1.1 Hipótesis

El uso de cubiertas plásticas modificará el ambiente, generando más temperatura y mayor humedad relativa, lo cual acelerará los procesos fisiológicos y fenológicos, que se reflejarán en una cosecha más temprana.

1.2 Objetivo general

- Evaluar el efecto de techos plásticos y macrotúneles sobre la fenología y fisiología del cerezo.

1.3 Objetivos específicos

- Cuantificar la modificación ambiental producto de la implementación de cubiertas plásticas en un huerto de cerezos.
- Detectar diferencias en la fenología del cerezo debido a la modificación ambiental por el uso de techo y macro túnel.
- Evaluar las diferencias en la temperatura, fluorescencia de la clorofila y conductancia estomática, en hojas de cerezos sin cobertura, bajo techo y macrotúnel.
- Relacionar factores microambientales, como temperatura, humedad relativa y radiación solar, con el comportamiento fisiológico del árbol.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes técnicos del cerezo

El cerezo es un árbol caducifolio y leñoso, que puede alcanzar una altura de hasta 20 metros. Su madera, dura y de color pardo rojizo es muy atractiva comercialmente. Los frutos corresponden a drupas, formadas por un carozo o endocarpio que contiene una semilla simple cubierta por tejido carnoso, pulpa o mesocarpio, que es generalmente comestible, y por la piel o epicarpio, lisa y coloreada, amarilla en algunos casos hasta casi negra en otros (Lemus, 2005).

Presenta yemas florales simples en dardos y también en la base de las ramillas de un año de edad, y además yemas vegetativas tanto en ramillas, dardos o en el tronco. Cada yema floral porta un fascículo que puede tener hasta 5 flores. La fructificación se produce en dardos de 2 o más años o en la base de ramillas de 1 año. En este último es donde se encuentra la fruta de mayor calidad y es por esto que se buscan sistemas de renovación permanente de madera para tener la mejor calidad de fruta (Gil, 2012).

La fruta proveniente de la base de la ramilla, son generalmente de mayor calidad que la fruta producida en dardos, que se atribuye a la mejor acumulación de reservas por parte de la ramilla que es más joven y está más expuesta a la luz. Es por esto que existen manejos agronómicos para las plantas jóvenes como las podas de verano, para orientar las reservas que se dirigen desde el crecimiento apical hacia el crecimiento reproductivo (Lemus, 2005).

Posee un crecimiento acrotónico, es decir, el crecimiento de las yemas apicales inhibe el desarrollo de las yemas laterales, fenómeno llamado “dominancia apical” que se produce por un flujo de metabolitos al ápice y señales derivadas de fitohormonas (auxinas) desde el propio ápice. Por lo anterior es que generalmente si un árbol de cerezo se deja sin ningún manejo, las yemas laterales no brotan durante la temporada de formación (Laurie y Claverie, 2001).

2.2 Requerimientos edafoclimáticos

Los requerimientos del cerezo se resumen en el **Cuadro 1**. Inicialmente, el frío invernal es necesario para salir del receso y continuar con el crecimiento en primavera. Dependiendo de la variedad, este frutal puede requerir entre 400 a 1500 horas bajo los 7,2 °C. Con respecto a heladas, esta especie puede soportar temperaturas de -10 a -15 °C en invierno, antes que ocurra daño en la madera, mientras que con -1,1 °C en primavera ya existen graves daños en frutos y flores. En el caso de una helada primaveral cercana a la quincena de septiembre, el daño puede

ocasionar pérdidas de hasta un 50% de la producción estimada. La etapa más sensible al daño por heladas es el fruto recién cuajado. La temperatura mínima de crecimiento es de 7 °C y el rango óptimo se ubica entre 18 y 24 °C. Con temperaturas mayores a 36 °C en verano el crecimiento cesa y además puede provocar malformaciones de frutos. La suma térmica desde yema hinchada a cosecha se encuentra entre 300 a 700 grados días. Para obtener una adecuada cuaja en floración se requieren temperaturas de entre 20 a 25 °C (Lemus, 2005).

Baja humedad relativa durante floración, adelantan la desecación del estigma, que traen problemas para la germinación del polen. Por el contrario, con humedad relativa alta, el polen se aglutina en las anteras, disminuyendo el movimiento de éste al pistilo. Las lluvias durante floración reducen polinización. También aumentan las infecciones por enfermedades provocadas por bacteria (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*) (Wallberg y Sagredo, 2014; Lemus, 2005).

La constante presencia de viento en primavera y verano puede reducir los volúmenes del dosel por inhibición del crecimiento de los brotes y afectar la formación de los árboles, provocando falta de desarrollo de brotes e inclinación de la cara que enfrenta al viento. Además, éste puede aumentar la evapotranspiración. En lugares donde el viento es una limitante, una práctica extendida es el uso de cortinas corta viento, como ocurre en los huertos de cerezos de Chile Chico. Éstas son importantes para los primeros años de formación de la planta para favorecer una buena estructura del árbol (Lang, 2014; Lemus, 2005).

Cuadro 1. Adaptabilidad edafoclimática del cerezo (*Prunus avium* L.).

Requerimientos	Rango
Temperatura promedio anual (°C)	10 a 15
Horas frío	400 - 1900
Temperatura estival (°C)	14 - 15
Periodo térmico vegetativo (meses)	3 - 4
Periodo libre de heladas (meses)	3-4
T° crítica de heladas	-1.5
T° mínima de crecimiento	7
Sensibilidad a heladas	Media
Etapa más sensible a heladas	Fruto pequeño
Rango T° óptima de crecimiento (C°)	18 – 24
Límite máximo temperatura de crecimiento (°C)	36
Suma térmica (yema hinchada a cosecha)	300 – 700 Dg.
Profundidad (cm)	60 – 100
Textura	Media a fina
Drenaje	Moderado a bueno
pH	5,5 – 6,5

Fuente: Gil,1997

El crecimiento de raíces, la absorción de nutrientes, las necesidades de riego y drenaje son condiciones que el suelo debe atribuir a la planta. El suelo ideal para cerezos, es el de textura media, limoso o areno-limoso, de al menos 1 metro de profundidad, con buen drenaje y buena

capacidad de retención de agua. El pH óptimo para las raíces es de 6,0 a 6,5. En suelos con pH sobre 7,5 aparecen deficiencias de microelementos. Dado que en muchos casos los suelos son una limitante para el desarrollo de la especie, se han buscado porta injertos que se adapten a las diferentes condiciones edafológicas (Predieri et al., 2003).

2.3 Requerimientos Hídricos

Como frutal, el cerezo presenta una evolución de sus requerimientos hídricos a lo largo de la temporada de crecimiento. A inicio de temporada son bajos y comienzan a aumentar con el crecimiento de la demanda hídrica de la atmósfera y el área foliar del cultivo, para finalmente disminuir a fines de estación. Generalmente la evapotranspiración máxima se encuentra en el mes de enero y puede ser medida a través de estaciones meteorológicas automáticas o con bandejas de evaporación. En primavera se superponen el crecimiento de fruto, el de brotes y la expansión de hojas, lo que aumenta la demanda hídrica de la planta. El requerimiento anual de agua es de 8.000 m³/ha, pero éste dependerá de la zona y estado fenológico. Se ha probado que la utilización de sistemas de riego deficitario en algunos estados fenológicos ayudan al control del vigor sin tener bajas en productividad las temporadas siguientes, además de un ahorro en el uso de agua (Blanco et al., 2019; Podestá et al., 2010; Lemus, 2005).

2.4 Características de la variedad Santina

Las variedades de cerezo cultivadas actualmente en Chile, en su mayoría, presentan frutos de color rojo oscuro para consumo directo (mesa) y en menor cantidad bicoloradas. En los últimos años, en las nuevas plantaciones se han establecido otras variedades, tanto por la calidad de los frutos como por su hábito vegetativo y nivel productivo, entre las cuales se destacan Lapins, Kordia, Regina, Sweet Heart, Staccato y Santina, para destinar nuevas áreas productivas a esta especie, con el fin de alargar el calendario de cosecha y oferta en los mercados.

La variedad Santina es originaria de Canadá, proveniente del cruzamiento de Stella x Summit. Es una variedad de cosecha temprana, que madura 15 días antes que Van; auto fértil (no requiere polinización cruzada); sensible a cáncer bacterial y partidura. Presenta un requerimiento de frío invernal medio (600 a 800 h bajo 7 °C) y una productividad potencial de 10-15 ton/ha. La época de cosecha es a mediados de noviembre en zonas tempraneras y los índices de cosecha son generalmente color, firmeza Durofel y sólidos solubles. La fruta es de forma oval, con piel atractiva, brillante y de un buen sabor. El calibre de la cereza es mediano a grande (26 a 30mm)

pero va a depender del porta injerto, carga y vigor de los árboles. En combinación con porta injertos de vigor intermedio a bajo es muy importante regular carga ya que en exceso produce fruta pequeña (Lemus, 2005).

2.5 Características del portainjerto Colt

Una de las principales limitantes del cultivo del cerezo en el pasado era el gran tamaño de los árboles y con ello su ineficiencia, lo que aumentaba el costo en conducción y mano de obra. Es por esto que el mejoramiento genético de porta injertos es tan importante para así disminuir costos, con la tendencia a la conversión hacia huertos peatonales. El principal objetivo va dirigido a la adaptabilidad de los porta injertos a diferentes condiciones de suelo y a la influencia sobre la variedad (reducción de vigor, productividad, calidad de fruta y precocidad en entrada a producción; Ellena, 2012).

El patrón Colt es un híbrido inter específico entre *Prunus avium* y *Prunus pseudocerasus*, obtenido en East Mailing, Inglaterra. Es compatible con la mayoría de las variedades de cerezos, dulces y ácidos. El vigor resultante depende de las condiciones de huerto, pero generalmente es similar al franco (Mericier) y un poco más pequeño que Mazzard F12/1. En algunas variedades favorece la formación de ramas con ángulos de inserción más amplios y en otras puede reducir el volumen del dosel. Posee un sistema radicular denso, escasa producción de sierpes, buen anclaje y raíces superficiales. Presenta una menor susceptibilidad a *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, pero es muy sensible a *Agrobacterium tumefaciens*, lo que limita su uso a suelos libre de agallas. Además, presenta un excelente comportamiento agronómico en la combinación de diversas variedades, en particular con variedades auto fértil como Lapins, Santina y Sweet Heart. Su mayor utilización es de Curicó hacia el sur, especialmente en suelos pesados del valle central (Ellena, 2012; Lemus, 2005).

2.6 Sistema de Conducción KGB

El sistema KGB (Kym Green Bush) fue desarrollado por Kym Green, de Lenswood, Australia. Este sistema busca el desarrollo de un árbol compacto y equilibrado con muchas ramas que se renuevan permanentemente con la poda, para asegurar fruta de la mejor calidad y buen tamaño. Este sistema produce un huerto del tipo peatonal, que es más fácil de cosechar y manejar, y en consecuencia, de menores costos. Es una alternativa al vaso español pero más cerrado, dejando

entre 20 a 24 ramas erectas que puede presentar entre 900 a 1300 plantas/ha dependiendo del marco de plantación (James y Measham, 2011).

2.7 Partidura (*Cracking*)

Este desorden es uno de los principales problemas que limitan la comercialización de cerezas en Chile, debido a probables lluvias que pueden ocurrir al momento de madurar los frutos. En algunas temporadas puede significar la pérdida total de la producción. Afecta sobre todo a variedades como Bing, Brooks o Royal Dawn. Existen 2 tipos de partiduras, la primera y la más común producida por las lluvias, por un prolongado contacto de agua libre con la fruta. Las células sub epidermales absorben agua por osmosis, aumentan su volumen y causan la ruptura de la epidermis (Lemus, 2005; Christensen, 1973).

El segundo tipo de partidura se relaciona con las condiciones ambientales (lluvia, humedad relativa) y/o con los cambios bruscos de contenido de humedad en el suelo. Este tipo de agrietado se produce en la zona media y apical del fruto. Un exceso de agua absorbido por las raíces durante la maduración del fruto induce un aumento en la presión de turgor generando un aumento violento de volumen de la fruta que puede colapsar la piel de ésta (Balbontín et al., 2013; Cline et al., 1995).

Actualmente entre las pocas opciones que existen para contrarrestar este fenómeno está el uso de coberturas plásticas, desplegadas como techo unos 10-15 días antes de cosecha. También se pueden realizar aplicaciones de sales en base a calcio al momento de la lluvia o aplicaciones pre cosecha de soluciones de calcio solo y/o mezclado con fertilizantes foliares y ácido giberélico. Estas aplicaciones son efectivas con lluvias menores. Si la causa principal de la partidura es el agua en el suelo puede ser evitado con el buen manejo del riego, manteniendo una buena humedad permanentemente, evitando cambios bruscos en el contenido de agua en el suelo durante la fase III del crecimiento del fruto (Gil, 2001; Lang et al., 2016).

2.8 Cobertores Plásticos

El sistema físico para evitar el contacto de las lluvias con la fruta es la utilización de cubiertas plásticas orientadas sobre la hilera de plantación. Para esto es necesario contar con árboles de menor tamaño, más eficientes y fáciles de manejar desde el suelo y que presenten sistemas de conducción con alta densidad de plantación (Ellena, 2012; Robinson y Dominguez, 2013).

Estudios, realizados en Chile como en el extranjero, evidencian la eficacia de las cubiertas plásticas para prevenir *cracking*. Generalmente las estructuras que sostienen estas cubiertas se construyen con postes de madera, cemento o acero. La estructura de sostén está cubierta con un film de polietileno transparente o polipropileno. Los diversos materiales de cubierta difieren en la transmisión de la radiación solar en los diferentes espectros. Se caracterizan por ser resistentes e impermeables y permitir el mayor paso de la luz bloqueando los rayos UV o gran parte de estos. Las telas plásticas son fijadas con amarras plásticas a alambres o cables de alta resistencia. La cubierta se establece con una altura aproximada de entre 3- 5 metros y se evita más altura por el efecto vela que producen las cubiertas en las zonas con presencia de mucho viento. Este sistema es principalmente utilizado para cerezas de cosecha temprana (Brooks, Royal Dawn y Santina) y en huertos de alto potencial productivo (desde las 9 ton/ha) para así poder recuperar la inversión más rápido (Camilo y Ayala, 2007; Ellena, 2012).

Existen cubiertas fijas y móviles. Las primeras, una vez hayan sido instaladas no se sacan hasta el término de cosecha o quedan permanentemente como el caso de los túneles que solo permiten una apertura lateral para la ventilación. Las cubiertas móviles permiten mantener los árboles descubiertos durante la temporada y cubrirlos en el momento previo a la lluvia. El sistema móvil tipo techo influye de forma mínima el microclima (temperatura del aire, suelo, humedad relativa y luminosidad) al interior del huerto. Sin embargo, a largo plazo el costo es superior con respecto a uno fijo por el uso de mano de obra (Meland, 2006; Zadavec et al., 2009).

Por otro lado, el uso de túneles si tiene influencia en el microclima de las plantas, ya que al ser cerrados (tipo invernadero), aumenta la temperatura y humedad relativa, disminuye la incidencia del viento y reduce la filtración de los rayos UV al mínimo. Esto trae consigo algunas ventajas extras, ya que al aumentar la temperatura los procesos fisiológicos se aceleran por la rápida acumulación de grados días, resultando en una cosecha más temprana (Blanke et al., 2017). Además, estudios han reportado que el uso de cobertores plásticos mejora el tamaño y la calidad de la fruta, en relación a aquella producida sin cobertura (Lang, 2013; Sotiropoulos et al., 2014).

2.9 Variables Fisiológicas

2.9.1 Fluorescencia de la clorofila

La medición de la fluorescencia de la clorofila es una técnica muy utilizada para monitorear diversos tipos de estreses a los que puede estar sometida la planta (Baker y Rosenqvist, 2004). La energía proveniente de los rayos solares es usada por las plantas de 3 formas. Parte de ella

es utilizada para la formación de ATP y NADPH a través de la fotosíntesis, otra parte de esta energía incidente se disipa como calor y otra, en menor grado, se reemite como fluorescencia, que es una emisión de radiación en una zona del espectro muy específica (Maxwell y Johnson, 2000). Esta fluorescencia se puede medir al estimular los fotosistemas con un haz luminoso. Cuando el fotosistema II es dañado aumenta la emisión de la fluorescencia. Diversos parámetros pueden ser medidos con esta técnica y el más utilizado para la detección de estrés lumínico o térmico es el F_v/F_m , que corresponde a la eficiencia máxima del fotosistema (Baker y Rosenqvist, 2004). Valores altos de esta relación, cercanos a 1 indicarían que el fotosistema II se encuentra en óptimas condiciones, mientras que valores cercanos a 0 indicarían daño e ineficiencia (Torres et al., 2016; Wünsche et al., 2001).

2.9.2 Conductancia estomática

La conductancia estomática por definición se refiere a la medición de la velocidad de paso de dióxido de carbono (CO_2) que entra o vapor de agua que sale a través de las estomas de una hoja y generalmente es medido en $\text{mmol s}^{-1} \text{m}^{-2}$.

El mecanismo de apertura estomática se basa en una disminución del potencial osmótico de las células oclusivas. El bombeo de H^+ al apoplasto por una H^+ ATPasa, que provoca una disminución del pH externo y un aumento del celular, incrementando el gradiente electroquímico y favoreciendo la entrada masiva de K^+ y, consecuentemente, la disminución del potencial osmótico y entrada de agua.

Sin embargo, las plantas se encuentran con el compromiso de obtener CO_2 para mantener la fotosíntesis, a través de los estomas se lleva a cabo el intercambio más importante de H_2O y CO_2 , jugando la apertura estomática un papel crucial no sólo en la transpiración sino también en la fotosíntesis foliar.

Según Raschke (1976), “los estomas son los encargados de proveer la comida y de evitar la sed”, por tanto el equilibrio entre la pérdida de agua y la obtención de CO_2 es de vital importancia para las plantas.

Debido a ello, los estomas están fuertemente controlados por factores ambientales. Según Ball y Berry (1988), existe una ecuación que agrupa los factores que determinan la conductancia o apertura estomática:

$$G_s = m \left(\frac{A * HR}{C_i} \right) + b$$

Donde, G_s = conductancia estomática (apertura)

A = Fotosíntesis neta

HR = Humedad relativa del aire

C_i = Concentración de CO_2 intercelular

Los parámetros "m" y "b" son constantes específicas para cada especie.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y antecedentes de la zona

El ensayo se llevó a cabo en la unidad productiva Santa Carmen, propiedad de Inés Escobar S.A., ubicada en la comuna de Sagrada Familia, Región del Maule (35°01'38.48" S; 71°26'49.26" O; 135 m.s.n.m). La precipitación anual de la zona varía entre 400 y 500 mm, con estación seca entre diciembre y marzo. El suelo presente posee una textura arcillosa del tipo Alfisol y otra Aluvial de textura liviana y media (Entisol).

3.2 Material Vegetal

El material vegetal lo constituyeron árboles de cerezo (*Prunus avium* L.) cv. Santina sobre Colt, establecidos en el año 2012, en un marco de plantación de 4 x 2,2 metros (1136 plantas por hectárea). Todos los árboles fueron conducidos en KGB, con una altura de 3 metros y en orientación NE-SO. Por último, tanto el riego como la fertilización siguieron los protocolos propios de la variedad, con fines de obtener fruta de exportación.

3.3. Tratamientos

Los árboles de cerezos Santina/Colt crecieron en tres condiciones diferentes que constituyeron los tratamientos: aire libre (Control), bajo techo cobertor (Techo) y túnel alto o macro túnel (Túnel). Estos tres sectores estaban contiguos, cada uno con una superficie aproximada de 0,5 ha.

El sistema de protección del tratamiento Techo lo constituyó una lámina de polietileno de alta densidad (HDPE) de tipo rafia con un espesor de 250 µm, formando un entramado del polímero (Agricover®, Agralia Protecting Crops, Barcelona). Este fue soportado por una estructura de postes de madera y alambres que forman dos aguas, tipo capilla. De este modo se generó una cubierta de 4 m. de ancho, con la cumbrera en la línea de la hilera a una altura de 4 m, con una separación entre hileras de 20 cm (**Figura 1**). Estas cubiertas pueden desplegarse y replegarse de manera manual.

Por otra parte, el tratamiento Túnel estaba formado por una estructura de múltiples naves cubierto por una lámina de polietileno de 150 µm de espesor y con un filtro adicional que disminuye la transmisión de la radiación UV y que protege también las partes laterales (Tunnel Film Classic Diffused, bpi.agri, London). Es soportado por una estructura en arco, metálica, cuyas

dimensiones son de 4,5 m de altura máxima y un ancho de 8 m, que alcanza a cubrir dos hileras (**Figura 1**).

3.4 Apertura de las cubiertas

Como manejo del huerto, los techos cobertores fueron extendidos desde yema hinchada hasta 25 DDPF (13 de octubre del 2018). Posteriormente, se cerró y abrió dependiendo de las condiciones climáticas (lluvias). En el caso del macro túnel, para este se programó una apertura y cierre diario con personal del predio desde 60 DAPF (7 días después de aplicación de rompedor de receso), hasta la cosecha. Para ello, se consideró la temperatura ambiental, recogiendo una vez que se registraron 25 °C y desplegándolo por la tarde, cuando la temperatura descendió de los 10 °C (**Figura 3**).

3.5 Evaluaciones ambientales

3.5.1 Radiación solar

Se midió la radiación solar incidente en los tres tratamientos, considerando la radiación fotosintéticamente activa (PAR), la radiación ultravioleta (UV-B) y la radiación solar total. La medición se realizó a los 90 DDPF (18 de enero del 2018). Se midió en tres momentos del día: 10:00, 14:00 y 18:00 h. El registro de la radiación solar incidente se hizo en dos alturas: i) 1 metro sobre el suelo y, ii) 3 metros sobre el suelo, en la entre hilera. Las mediciones de la radiación PAR se realizaron con un sensor Quantum LI-190SZ (400-700 nm; LI-COR, Inc., Lincoln), las de la radiación UV-B se realizaron con un radiómetro UV PMA2102 (280-315 nm; SOLAR LIGHT CO., Oak Lane) y las mediciones de Radiación Total con un piranómetro LI-200SZ (300-1100 nm; LI-COR, Inc., Lincoln).

3.5.2 Humedad relativa (HR) y Temperatura

Para cuantificar el microclima en el cual crecieron los árboles se instalaron dos sensores/registradores HOBO UX 100 (Onset Computer Co., Cape Cod) ubicados en una caseta en dos alturas (1,5 y 3,0 m desde el suelo), en cada tratamiento. Los registradores se configuraron para tener una lectura de la temperatura y HR cada 15 minutos, desde el 1 de septiembre de 2018. Con ese registro se calculó el Índice de Estrés diario ($\sum(T^{\circ}-10)(-0.2HR+15)/96$; Torres et

al., 2016), Grados Día base 10 ($\sum(T^{\circ}-10)/96$) y GDH según fórmula propuesta por Richardson (Darbyshire et al., 2013).

3.6 Evaluaciones fisiológicas en árbol

3.6.1 Fluorescencia

Las mediciones de fluorescencia de la clorofila se realizaron con un fluorómetro portátil OS1-FL (OPTI-SCIENCES, Tyngsboro). Se midieron en 10 hojas expuestas (1 por árbol), de ambos lados de la hilera por tratamiento, en tres oportunidades durante la temporada: 25 de octubre de 2018, 8 de noviembre de 2018 y 18 de enero de 2019, que representaron a los 30, 60 y 90 DDPF, respectivamente. Se determinó Fluorescencia Mínima o basal (F_o), la Fluorescencia Máxima (F_m) y la Eficiencia Máxima del Fotosistema (F_v/F_m), en esta última, $F_v = F_m - F_o$ (Maxwell y Johnson, 2000). Para realizar estas determinaciones cada hoja se ambientó a oscuridad usando un clip durante 10-20 minutos previo a la medición con el fluorómetro.

3.6.2 Temperatura de la hoja

Las mediciones de temperatura de la hoja se realizaron en las mismas destinadas a la fluorescencia de clorofila, y en iguales fechas. La lectura de temperatura se hizo con una pistola térmica DT8380 (Navtek Instruments, India).

3.6.3 Conductancia estomática

Las mediciones de conductancia estomática se realizaron con un porómetro SC-1 (Decagon Devices Inc., Pullman) sobre las mismas hojas de las determinaciones previamente descritas, pero solo en 2 oportunidades durante la temporada: 30 y 90 DDPF, que correspondieron a los días 25 de octubre de 2018 y 18 de enero de 2019.

3.7 Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico con el programa Statgraphics versión 18-x64, utilizando un análisis de varianza simple (ANDEVA), donde se analizaron los datos como un diseño

completamente al azar (DCA) y una separación de medias con el test LSD al 95% de exigencia, considerando diferencias estadísticas con un valor $p \leq 0,05$.

3.8 Fenología del Cerezo

Se llevó un registro de los estados fenológicos más relevantes desde brotación (**Cuadro 2**). Como complemento en los sectores Control y Túnel, se instaló una cámara Time-Lapse (Wingscapes, Alabaster) en cada uno, las que registraron 8 imágenes al día durante la temporada, para comprobar los eventos fenológicos relevantes.

Cuadro 2. Fechas de etapas fenológicas registradas en campo.

Tratamiento	Yema Hinchada	Puntas Verdes	Botón Verde	Inicio Flor (10%)	Plena Flor	Fruto Cuajado	Cosecha
Control	22-ago-18	10-sept-18	20-sept-18	24-sept-18	01-oct-18	16-oct-18	01-dic-18
Techo	22-ago-18	07-sept-18	14-sept-18	21-sept-18	26-sept-18	16-oct-18	27-nov-18
Túnel	22-ago-18	03-sept-18	12-sept-18	20-sept-18	24-sept-18	16-oct-18	19-nov-18

Fuente: Unidad productiva de Santa Carmen, Sagrada Familia.

3.9 Diseño experimental

Las mediciones fisiológicas se realizaron a los 30, 60 y 90 días después de plena flor (DDPF) en un diseño completamente al azar con 3 repeticiones. Cada condición de microclima constituyó un tratamiento: árboles de cerezo sin cubierta como Control, árboles bajo Techo y árboles bajo Túnel.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fenología del Cerezo

La fecha de plena flor (PF), en el tratamiento Túnel se adelantó en 7 días con respecto al Control y en 2 días con respecto al Techo. En cuanto al inicio de la cosecha, en el Túnel se adelantó en 12 días con respecto al Control y 8 días con respecto al Techo. El periodo de crecimiento del fruto (desde PF a cosecha), de la cereza producida bajo Túnel fue 4 días menor que el Control y 5 días menor con respecto a la producida bajo Techo (**Cuadro 7**).

Cuadro 7. Etapas fenológicas más significativas y periodo entre ellas, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2018-2019.

Tratamiento	Plena Flor	Inicio de Cosecha	Días desde PF a Cosecha
Control	01-oct-18	01-12-2018	61
Techo	26-sept-18	27-11-2018	62
Túnel	24-sept-18	19-11-2018	57

Estudios realizados por Lang (2011) en Michigan demostraron que el uso del macro Túnel puede adelantar eventos fenológicos; la floración de 10 a 18 días. La cosecha puede adelantarse de 10 a 19 días, dependiendo del cultivar (Blanke et al., 2017). Esto sería debido a que el Túnel aumenta la temperatura del aire lo cual produce que los procesos fisiológicos se agilicen (Blanke et al., 2017).

En el Túnel, se podría adelantar aún más la floración con un manejo de ambiente en invierno (sombra) y con uso de rompedores de receso.

4.2 Mediciones Ambientales

Tanto el Techo y Túnel reducen significativamente la radiación solar incidente en los tres espectros de radiación medidos: Total (300-1100 nm), Fotosintéticamente activa (400-700 nm; PAR) y UV-B (280-315 nm).

A los tres metros de altura, es decir, en el límite de la copa de los árboles, los ambientes del tratamiento Techo y Túnel a 3 m no presentaron diferencias significativas entre ellos, pero sí en relación al Control en radiación Total y PAR (Cuadro 5). Ambos materiales disminuyen la transmisión de la radiación en comparación al Control. En esta altura, solo la radiación UV-B mostró diferencias estadísticas entre los 3 tratamientos. Esto se debería principalmente al aditivo

de filtrado de radiación UV que posee cada material y que protege al mismo de la radiación UV, otorgándole mayor durabilidad (Blanke, 2018). El plástico del Túnel filtró casi la totalidad de la radiación UV-B (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. ANDEVA de la radiación solar incidente a 3 m (radiación total, radiación fotosintéticamente activa (PAR) y radiación ultravioleta (UV-B), para los tratamientos Control, Techo y Túnel, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. 19 de noviembre del 2018.

Tratamiento	Radiación Solar Incidente 3 m			Transmisión (%)		
	Total (W m ⁻²)	PAR (μmol m ⁻² s ⁻¹)	UV-B (μW cm ⁻²)	Total	PAR	UV-B
Control	1051a	2046a	24,8a	100	100	100
Techo	866b	1486b	13,5b	82	73	54
Túnel	894b	1575b	0,52c	85	77	2,1
Valor P	0	0	0			

Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, test LSD valor $p \leq 0,05$.

Los valores de radiación Total y PAR tienden a ser mayores bajo el Túnel que bajo el Techo, y esto se debió a que el material del Túnel es menos denso (150 μm) que el del Techo (250 μm), por lo tanto, permitió más transmisión de radiación solar en la región de longitud de onda mayor a la UV (**Cuadro 3**).

Los ambientes evaluados a 1,5 m presentaron diferencias estadísticas entre los 3 tipos de radiación medidas. Mayor transmisión de radiación solar y PAR se registró bajo el Túnel que bajo el Techo (**Cuadro 4**).

Se han encontrado resultados similares en estudios realizados por Lang (2014), demostrando que el uso de cubiertas plásticas disminuye la radiación solar directa entre un 15 y un 25%, pero aumentan la difusión de la luz por las propiedades del plástico y la forma de la estructura. Por lo tanto estaría aumentando la intercepción y distribución de la luz en el dosel de los árboles.

Cuadro 4. ANDEVA de la radiación solar incidente a 1,5 m (radiación total, radiación fotosintéticamente activa (PAR) y radiación ultravioleta (UV-B), para los tratamientos Control, Techo y Túnel, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. 19 de noviembre del 2018.

Tratamiento	Radiación Solar Incidente 1,5 m			Transmisión (%)		
	Total (W m ⁻²)	PAR (μmol m ⁻² s ⁻¹)	UV-B (μW cm ⁻²)	Total	PAR	UV-B
Control	1144c	2009c	22a	100	100	100
Techo	697a	1148a	11,13b	61	57	51
Túnel	808b	1303b	0,45c	71	65	2
Valor P	0	0	0			

Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, test LSD valor $p \leq 0,05$.

La disminución de PAR en los tratamientos bajo cubierta (Techo y Túnel), no fue tan considerable como para afectar el proceso fotosintético, puesto que los valores encontrados estarían en el rango de saturación lumínica para hojas expuestas (Blanke et al., 2017).

En relación con la temperatura del aire y la HR, el registro de los valores promedio de las máximas, medias y mínimas diarias del periodo comprendido entre plena flor y cosecha como se observa en el **Cuadro 2.**, para los diferentes tratamientos y alturas (1,5 y 3,0 m), se muestran en el **Cuadro 7.** En el tratamiento Túnel se registró un aumento de la temperatura media en 0,1 °C, la mínima en 0,7 °C y la máxima en 3,6 °C, con respecto al Control, en los registradores ubicados a 1,5 m. Mientras que, a 3,0 m de altura, en el tratamiento Túnel se registró un aumento la temperatura media en 1,1 °C y la máxima en 5,2 °C, con respecto al Control (**Cuadro 5**).

En el caso del tratamiento Techo, en el registro a 1,5 m de altura no hubo incremento de la temperatura media ni de la máxima, pero sí en el caso de la mínima, en 0,2 °C, en comparación al tratamiento Control. Mientras que, a 3,0 m de altura, en el tratamiento Techo se incrementó la temperatura media en 1,1 °C y la máxima en 4,3 °C, en comparación al tratamiento Control (**Cuadro 5**). Ello, da cuenta de la mayor temperatura en la parte superior del árbol, próximo al Techo, y que estaría dada por la baja circulación de aire.

El aumento de la temperatura del Techo en menor medida que bajo el Túnel se debería principalmente a la ausencia de cierres laterales en el primero, permitiendo el paso del viento.

En relación a la HR, bajo el Túnel se presentó un aumento de la mínima a 1,5 metros y no así a 3,0 metros de altura, en relación al Control (**Cuadro 5**). La HR máxima, que ocurre durante la noche, cuando disminuye la temperatura y la demanda atmosférica, se mantuvo baja en el Túnel. En ambientes abiertos aumenta la HR hasta ocurrir condensación, como en el Control y en cierta medida bajo Techo. Estos resultados son similares a los encontrados por Blanco et al. (2019), donde la HR mínima fue siempre mayor bajo Túnel en comparación al Control.

Cuadro 5. Temperatura y humedad relativa. Valores promedios de medias, mínimas y máximas desde plena flor a cosecha en dos alturas, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2018-2019.

Altura (m)	Tratamiento	Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)		
		media	mínima	máxima	media	mínima	máxima
1,5	Control	16,8	8	27,3	66	38	89
	Techo	16,2	8,2	26,1	69	39	94
	Túnel	16,9	8,7	30,9	63	46	74
3,0	Control	16,4	8,5	25,8	67	38	91
	Techo	17,5	8,5	30,1	65	32	93
	Túnel	17,5	8,4	31	64	35	87

En base al registro continuo de la temperatura y la HR se calcularon índices para estimar el estrés ambiental como lo son el Déficit de Presión de Vapor (DPV) y el Índice de Estrés.

El tratamiento que presentó mayor demanda atmosférica, en términos de mayor DPV, fue el del Control con 56 kPa, seguido del Túnel con 52 kPa y finalizando el Techo, con 50 kPa. Este último generaría el ambiente menos estresante para las plantas (**Cuadro 6**). De distinto modo, el Índice de Estrés fue mayor en el Control, con 55.388 unidades, seguido del Techo, con 49.951 y el Túnel, con 42.681 unidades de estrés, esto indicaría que el modelo del índice de estrés se ve afectado por cambios en los periodos de tiempo, ya que el tratamiento Túnel no sería el menos estresante, sino que el modelo está hecho para comparar periodos de tiempo similares. Además, este modelo omite temperaturas menores a 10°C y humedades relativas mayores al 75% las cuales no serían una condición estresante, mientras que el modelo de DPV toma todos los valores, sin discriminar.

Cuadro 6. Índices medidos con temperatura y humedad relativa registrada a 1,5 m de altura, desde plena flor a cosecha, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2018-2019.

Tratamiento	Índice de Estrés	DPV (kPa)	GDA	GDH
Control	55.388	56	449	15.687
Techo	49.951	50	419	15.676
Túnel	42.681	52	415	12.983

Respecto a los Grados días acumulados (GDA), se registró mayor número en el ambiente Control, seguido del Techo y finalmente el Túnel con 61, 62 y 57 días en el periodo desde plena flor a cosecha, respectivamente. Existe una diferencia de orden en cuanto a los Grados días hora (GDH) ya que aquí los mayores fueron en Control, seguido de Techo y finalmente Túnel. Esto se debería a que la fórmula de GDH contempla un máximo de aporte con temperaturas entre 20 y 25 °C, que representa el rango de temperaturas óptimas para el desarrollo de todos los procesos fisiológicos de las plantas (Sepúlveda et al., 2019). Por lo que, bajo el Túnel, sometido muchas horas con temperaturas mayores a 25 °C, e incluso mayores a 30 °C, resultó menor acumulación de GDH (**Cuadro 6**).

4.3 Evaluaciones fisiológicas

En la primera medición de la conductancia estomática (30 DDPF), se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos, siendo Techo y Túnel iguales entre sí, pero con valores más altos que el tratamiento Control (**Cuadro 8**). Ambas cubiertas plásticas generarían un ambiente

que promovería la conductancia estomática y con esto la tasa de transpiración de las plantas (Medrano et al., 2007). Los tratamientos Techo y Túnel disminuyeron la radiación solar por efecto de los plásticos cobertores.

Si bien, los tratamientos Túnel y Techo son iguales estadísticamente, los valores tienden a ser mayores en el tratamiento Techo. Esto puede ser explicado por la carga frutal que se obtuvo en cada tratamiento, puesto que bajo Techo se cosecharon 7000 kg/ha, mientras que bajo Túnel solo se cosecharon 700 kg/ha. Ello, debido a la elección de abejas (*Apis mellifera*) como exclusiva especie polinizadora, sin refuerzo de abejorros (*Bombus spp*), como es recomendado en producción con túnel (Blanke et al., 2017; Lang, 2014). Las abejas se desorientan por causa de la alteración de la radiación solar al interior del túnel (Lang, 2014). Esta gran diferencia en la carga frutal podría explicar que haya existido una mayor demanda de carbohidratos desde la fruta al árbol, por lo que aumenta su conductancia estomática y la fotosíntesis (Roper et al., 1998).

A pesar de que el Túnel presentó una muy baja carga frutal, los valores de conductancia estomática fueron mayores que en el Control. Esto podría deberse a las condiciones ambientales del Túnel, baja radiación solar y alta temperatura, y que hayan favorecido el aumento en la conductancia estomática, la cual se podría ver reflejada en un aumento de reservas de carbohidratos.

En la segunda medición (90 DDPF), en postcosecha, los sectores con cubierta ya se encontraban con ellas replegadas. No se encontraron diferencias estadísticas de la conductancia estomática entre los tratamientos (**Cuadro 8**). Debido a que los árboles ya se encontraban en el periodo de postcosecha, al no tener una demanda de nutrientes por parte de la fruta, el árbol reduce su actividad fotosintética (Giuliani et al., 1997). Sin embargo, es un período importante, puesto que es cuando se desarrollan los primordios florales y se acumulan reservas para el receso y próxima floración. Por ello, se busca mantener las hojas con fotosíntesis activa en postcosecha.

En las mediciones de temperatura de hoja en las 3 fechas medidas (30, 60 y 90 DDPF), el tratamiento Túnel presentó mayor registro que Techo y Control, que mostraron valores similares (**Cuadro 8**). Las hojas bajo Túnel tuvieron una temperatura 3,8 °C, 2,8 °C y 1,3°C más altas que las demás condiciones, para las 3 fechas de medición, respectivamente (**Cuadro 8**).

Cuadro 8. ANDEVA de las variables fisiológicas medidas al árbol: conductancia estomática (gs) y temperatura de la hoja), para los tratamientos Control, Techo y macro Túnel, a los 30 y 90 DDPF en caso de gs y a los 30,60 y 90 DDPF para T° hoja, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2018-2019.

Tratamiento	Conductancia Estomática (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)		Temperatura de la Hoja (°C)		
	25-oct-18	18-ene-19	25-oct-18	08-nov-18	18-ene-19
Control	159a	252	20,6 a	25,86a	31,3a
Techo	328b	220	20,7a	25,33ab	31,2a
Túnel	267b	191	24,4b	28,61b	32,6b
Valor P	0	0,09	0	0,043	0,016

Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, test LSD valor p ≤ 0,05.

Para las mediciones de Fo y Fm, se encontraron diferencias estadísticas solo en la primera fecha de medición (25 octubre del 2018), donde el tratamiento Túnel tiende a presentar los valores más altos en relación a los demás tratamientos (**Cuadro 9**). Alta Fluorescencia Mínima (Fo) y reducción de Fv/Fm, han sido documentados como señal de ambientación a condiciones de alta temperatura del aire (Baker y Rosenqvist, 2004). Así, las plantas bajo Túnel se habrían ambientado a altas temperaturas. Además, en ambientes con alta presencia de CO₂, como es el caso de los invernaderos, la temperatura crítica para que se dañe el fotosistema II es mayor (Baker y Rosenqvist, 2004). Situación que podría haber ocurrido en el tratamiento Túnel.

Finalmente, en relación a la fluorescencia de la clorofila, en el índice Fv/Fm, que representa la Eficiencia Máxima del Fotosistema II, no se encontraron diferencias estadísticas. Los valores medios registrados fluctuaron entre 0,75 y 0,79 (**Cuadro 9**). No se observó una caída de este índice en el tratamiento Túnel, a pesar de que las hojas estuvieron expuestas a altas temperaturas.

Cuadro 9. ANDEVA de las variables de fluorescencia de la clorofila medidas en la hoja: Fluorescencia inicial (Fo), Fluorescencia máxima (Fm) y Fluorescencia de la hoja (Fv/Fm), para los tratamientos Control, Techo y Túnel, 30, 60 y 90 DDPF, en el Huerto Santa Carmen, comuna de Sagrada Familia, Región del Maule. Temporada 2018-2019.

Tratamiento	25 de octubre del 2018			08 de noviembre del 2018			18 de enero del 2019		
	Fo	Fm	Fv/Fm	Fo	Fm	Fv/Fm	Fo	Fm	Fv/Fm
Control	362a	1513a	0,75	342	1579	0,77	313	1473	0,79
Techo	356a	1588a	0,76	347	1646	0,78	306	1508	0,79
Túnel	389b	1807b	0,78	349	1645	0,78	316	1571	0,78
Valor P	0,0258	0,0116	0,352	0,8189	0,6259	0,838	0,7616	0,4005	0,395

Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente, test LSD valor p ≤ 0,05.

En hojas de brotes de diferentes frutales (perales, ciruelos y manzanos), se han reportado valores de F_v/F_m , sobre 0,8 (Buwalda y Noga, 1994). Otro estudio da cuenta de diferencias en F_v/F_m de acuerdo al portainjerto utilizado, con valores normales para cerezos sobre MaxMa 14 sobre 0,65 (Goncalves, 2005). En Chile, existe muy poca información con respecto a esta variable en cerezos, y menos en su cultivo con protección. Un estudio realizado por Retamales (2015), registró los valores óptimos o normales de F_v/F_m en arándanos bajo macro túnel, variaron entre 0,75 y 0,8. Los valores reportados en el presente documento indicarían que las altas temperaturas que se registraron bajo Túnel o la alta incidencia de radiación solar en los árboles Control, no resultaron condiciones extremadamente estresantes para la planta. Es decir, no estarían limitando el proceso de fotosíntesis.

Si bien, la reducción de radiación solar y aumento de temperatura producidos en el tratamiento Túnel parecerían favorecer el desempeño de la planta, faltaría comprobar su efecto sobre la condición y calidad de las cerezas producidas. Existen antecedentes que alta temperatura afectaría en mayor medida el crecimiento del fruto en su etapa III, post endurecimiento del carozo (Olmstead et al., 2007). El uso de cubiertas que aumentan la temperatura promueve el ablandamiento del fruto, reduciendo su contenido de azúcares (Blanke et al., 2017). Por ello, el uso de macro túnel para producir primores de cerezas podría ser más efectivo durante el período de *forcing*, es decir para promover un rápido crecimiento en postreceso. Combinado con manejo de ambiente durante el invierno (sombra) y uso de agentes rompedores de receso, podría ser una herramienta para adelantar floración. Luego su despliegue sería en función de los eventos de lluvia cerca de la cosecha.

5. CONCLUSIONES

- El uso del macro túnel efectivamente adelantó los estados fenológicos, ofreciéndole al productor una cosecha más temprana.
- El uso de ambas cubiertas plásticas redujo la radiación incidente y aumentaron la conductancia estomática sin afectar a la eficiencia máxima del fotosistema II.
- El aumento de la temperatura ambiental y reducción de la radiación solar incidente, en el tratamiento Túnel estaría asociado a un mejor desempeño de la planta.
- El uso de techo anti lluvia produciría que las plantas crezcan en un ambiente menos estresante que su cultivo al aire libre o bajo macro túnel, para las condiciones de Sagrada Familia. Sin embargo, el sector próximo al techo se produciría el efecto contrario, con alto estrés que podría afectar la calidad y condición de la fruta producida.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Baker, N. R., Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, Volume 55, Issue 403, Pages 1607–1621.
- Balbontín, C., Ayala, H., M. Bastías, R., 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. *Chil. J. Agric. Res.* 73, 66–72.
- Balbontín, C., Ayala, H., Rubilar, J., Cote, J., Figueroa, C.R. 2014. Transcriptional analysis of cell wall and cuticle related genes during fruit development of two sweet cherry cultivars with contrasting levels of cracking tolerance. *Chil. J. Agric. Res.* 74, 162–169.
- Bickford, R., Valverde, C. 2018a. Stone Fruit Annual. *Glob. Agric. Inf. Netw.* 1–23.
- Bickford, R., Valverde, C. 2018b. Stone Fruit Annual. *Glob. Agric. Inf. Netw.* 1818, 1–23.
- Blanco, V., Torres-Sánchez, R., Blaya-Ros, P. J., Pérez-Pastor, A., Domingo, R. 2019. Vegetative and reproductive response of Prime Giant sweet cherry trees to regulated deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, 249 (april), p. 478-489.
- Blanco, V., Pablo, J., y Ayala, M. 2019. High tunnel cultivation of sweet cherry (*Prunus avium* L.): Physiological and production variables. *Scientia Horticulturae*, 251(February), p. 108–117.
- Blanke, M.M., Lang, G.A., Meland, M. 2017. Orchard microclimate modification. En: *Cherries: Botany, production and uses*, pp. 244-268. Eds. J. Quero-García, A. Lezzoni, J. Pulawska y G. Lang. CABI, Boston.
- Buwalda, J.G & Noga, G. (1994) Intra-plant differences in leaf chlorophyll fluorescence parameters in perennial fruiting plants, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 22:4, 373-380
- Camilo, J., Ayala, M., 2007. La alternativa del techado. *Rev. Agron. y For.* UC 31, 30–33.
- 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. 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. *Acta Agric. Scand. Sect. B — Soil Plant Sci.* 45, 224–230.
- Collatz, G.J., Ball, J.T., Grivet, C., Berry, J.A., 1991. Physiological and environmental regulation of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration: a model that includes a laminar boundary layer. *Agric. For. Meteorol* 54, 2–4.
- Darbyshire, R., Webb, L., Goodwin, I. et al. 2013. Evaluation of recent trends in Australian pome fruit spring phenology. *Int J Biometeorol* 57, 409–421.
- Ellena, M. 2012. Formación y sistemas de conducción del cerezo dulce. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile, Boletín INIA n° 247, 200 p.

GIL, G. 1997. El potencial productivo. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago. Universidad Católica de Chile. 333 p.

Gil, G. 2001. Madurez de la Fruta y Manejo Post cosecha. Ediciones Universidad Católica de Chile. 413 p

Giuliani, R., Nerozzi, F., Magnanini, E., y Corelli-Grappadelli, L. 1997. Influence of environmental and plants factors on canopy photosynthesis and transpiration of apple trees, *Tree Physiology*, Volume 17, Issue 10, p. 637- 645.

Gonçalves, B., Moutinho-Pereira, J., Santos, A., Silva, A. P., Bacelar, E., Correia, C., Rosa, E., Scion–rootstock interaction affects the physiology and fruit quality of sweet cherry, *Tree Physiology*, Volume 26, Issue 1, January 2006, Pages 93–104.

James, P., Measham, P., 2011. Australian Cherry Production Guide 209.

Lang, G., Valentino, T., Demirsoy, H., y Demirsoy, L. 2011. High tunnel sweet cherry studies: Innovative integration of precision canopies, precocious rootstocks, and environmental physiology. *Acta Horticulturae*. 903, 717–723

Lang, G.A., 2014. Growing sweet cherries under plastic covers and tunnels: Physiological aspects and practical considerations. *Acta Hortic*. 1020, 303–312.

Lang, G.A., 2013. Tree fruit production in high tunnels: Current status and case study of sweet cherries. *Acta Hortic*. 987, 73–82.

Lang, G.A., Sage, L., Wilkinson, T., 2016. Ten years of studies on systems to modify sweet cherry production environments: Retractable roofs, high tunnels, and rain-shelters. *Acta Hortic*. 1130, 83–89.

Lemus, G. 2005. Cultivo del cerezo. Instituto de investigaciones Agropecuarias, Chile, Boletín INIA n° 133, 256 p.

Maxwell, K., Johnson, G. N. 2000. Chlorophyll fluorescence—a practical guide, *Journal of Experimental Botany*, Volume 51, Issue 345, p. 659–668.

Medrano H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas-Carbó y J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso de agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84.

Meland, M., 2006. Diseño técnico para cubiertas protectoras de lluvia contra rajadura para huertos de cerezo dulce. *Semin. Int. Cerezos*.

Meland, M., Frøynes, O., Kaiser, C., 2017. High tunnel production systems improve yields and fruit size of sweet cherry. *Acta Hortic*. 1161, 117–124.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2018. Boletín frutícola, avance septiembre 2018. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. [En línea] Recuperado en: <<http://www.odepa.gob.cl>>. Consultado el 05 de octubre del 2018.

Olmstead, J. W., Iezzoni, A. F., & Whiting, M. D. (2007). Genotypic Differences in Sweet Cherry Fruit Size are Primarily a Function of Cell Number, *Journal of the American Society for Horticultural Science J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 132(5), 697-703.

- Podestá, L., Sánchez, E., Vallone, R., Morábito, J.A., 2010. Efecto del riego deficitario Controlado sobre el crecimiento vegetativo en plantaciones jóvenes de cerezo (*Prunus avium* L .) Effect of water deficit irrigation on vegetative growth of young cheery trees (*Prunus avium* L .) 73–91.
- Predieri, S., Dris, R., Sekse, L., Rapparini, F., 2003. Influence of environmental factors and orchard management on yield and quality of sweet cherry. *Food, Agric. Environ.* 1, 263–266.
- Raschke, K. (1976). *How Stomata Resolve the Dilemma of Opposing Priorities. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(927), 551–560.
- Retamal-Salgado, Jorge, Bastías, Richard M, Wilckens, Rosemarie, & Paulino, Leandro. (2015). Influence of microclimatic conditions under high tunnels on the physiological and productive responses in blueberry 'O'Neal'. *Chilean journal of agricultural research*, 75(3), 291-297.
- Robinson, T., Dominguez, L., 2013. Production of Sweet Cherries under High Tunnels in Either the Modified Spanish Bush and the Tall Spindle Systems. *New York Fruit Q.* 21, 25–28.
- Roper, T. R., Keller, J. D., Loescher, W. H., & Rom, C. R. 1988. Photosynthesis and carbohydrate partitioning in sweet cherry: Fruiting effects. *Physiologia Plantarum* 72. p. 42-47.
- Sepúlveda, A., Arenas, L., Yuri, J.A., 2019. Clima y calidad de manzanas. Guía para enfrentar la incertidumbre climática. Editorial Universidad de Talca. 45-48 p.
- 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. *Int. J. Agric. Innov. Res.* 2, 2314–1943.
- 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. *Sci. Hortic.* 211:336-342.
- Vittrup Christensen, J., 1973. Cracking in Cherries. *Acta Agric. Scand.* 23, 52–54.
- Wallberg, B.N., Sagredo, K.X., 2014. Vegetative and reproductive development of “Lapins” sweet cherry trees under rain protective covering. *Acta Hortic.* 1058, 411–418.
- Wünsche, J.N., Greer, D.H., Palmer, J.W., Lang, A., McGuie, T. 2001. Sunburn - The cost of a high light environment. *Acta Hortic.* 557: 349-356.
- Zadavec, P., Usenik, V., Štampar, F., 2009. Influence of rain protective tree covering on sweet cherry fruit quality. *Eur. J. Hortic. Sci.* 74, 49–53.

7. ANEXO FOTOGRAFICO



Figura 1. De izquierda a derecha los tres tratamientos del estudio: Control, Techo y Túnel.



Figura 2. Mediciones de fluorescencia de la hoja en hojas expuestas con el uso de clips para adaptar la hoja a la oscuridad.



Figura 3. Apertura lateral del tratamiento Túnel.

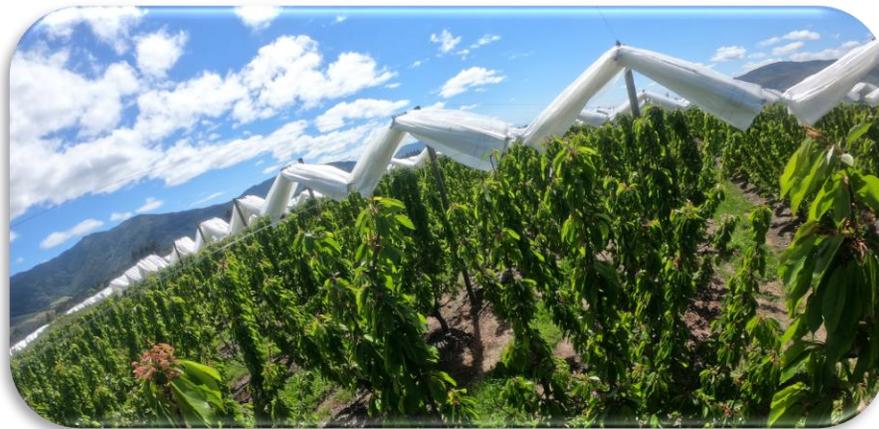


Figura 4. Vista superior del tratamiento Techo con cortinas abiertas.



Figura 5. Vista superior en el interior del tratamiento Túnel.