



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

**EFFECTO DE UNA CUBIERTA ANTILLUVIA EN LA FISIOLÓGIA DEL
ÁRBOL Y LA CONDICIÓN Y COMPOSICIÓN DE CEREZAS (*Prunus
avium L.*) CVS. BING, SWEETHEART Y RAINIER**

MEMORIA DE TÍTULO

Simón Antonio Pino Cáceres

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, 2021

Aprobación:

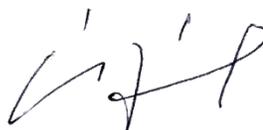


Profesor Guía: Ing. Agr. Dr. José Antonio Yuri

Profesor Titular

Escuela de Agronomía

Facultad de Ciencias Agrarias



Profesor Informante: Ing. Agr./Mg.Sc. Álvaro Sepúlveda

Centro de Pomáceas - Escuela de Agronomía

Facultad de Ciencias Agrarias

Fecha de presentación de Memoria de Título mayo 2021

RESUMEN

El cultivo del cerezo (*Prunus avium L.*) se ha consolidado como uno de los frutales más cultivados y rentables de Chile, con 39.645 ha plantadas en la actualidad. Entre las innovaciones incorporadas al cultivo, se cuenta el uso de cubiertas antilluvia en los huertos para evitar la partidura de la fruta (*cracking*), frente a precipitaciones cercanas a la cosecha.

Estas cubiertas están constituidas principalmente de polietileno (PE) y polipropileno (PP), que por sus características filtran la radiación solar incidente, afectando la fotosintéticamente activa (PAR, por su sigla en inglés), y ultravioleta (UVA-UVB), generando un nuevo microclima bajo ellas.

El objetivo de este ensayo es evidenciar el efecto de la cubierta antilluvia sobre la fisiología del cerezo y la condición y calidad de la fruta en los cvs. 'Bing', 'Sweetheart' y 'Rainier'. Se realizaron mediciones de Radiación Total, PAR y UV-B, además de mediciones de temperatura y humedad relativa. A nivel de planta se analizó fotosíntesis, fluorescencia, potencial de xilema y niveles de pigmentos en sus hojas. Por su parte, en frutos se efectuaron mediciones de índices de madures: Calibre, peso, color, azúcar.

Se obtuvo una reducción en la radiación solar total, PAR y UVB, además se incrementaron las temperaturas y la humedad relativa bajo las cubiertas plásticas. No obstante, su uso no influyó en la transpiración y en la fotosíntesis, pero si se observó un incremento en la expresión vegetativa. En los frutos, las cubiertas plásticas afectaron tanto la condición como la calidad, teniendo consecuencias negativas en firmeza y contenido de azúcares.

Palabras clave: Cerezas, Cubierta, Fisiología, Condición, Calidad.

ABSTRACT

The cultivation of the cherry tree (*Prunus avium* L.) has established it self as one of the most cultivated and profitable fruit trees in Chile, with 39,645 hectares currently planted. Among the innovations incorporated into the cultivation is the use of rain covers in the orchards to avoid the splitting of the fruit (cracking), in the face of rainfall close to the harvest.

These covers are mainly made of polyethylene (PE) and polypropylene (PP), which due to their characteristics filter incident solar radiation, affecting photosynthetically active (PAR), and ultraviolet (UVA-UVB), generating a new microclimate under them.

The objective of this trial is to demonstrate the effect of the rain cover on the physiology of the cherry tree and the condition and quality of the fruit in cvs. 'Bing', 'Sweetheart' and 'Rainier'. Total Radiation, PAR and UV-B measurements were performed, in addition to temperature and relative humidity measurements. At the plant level, photosynthesis, fluorescence, xylem potential and levels of pigments in its leaves were analyzed. On the other hand, in fruits maturity index measurements were made: Size, weight, color, sugar.

A reduction in total solar radiation, PAR and UVB was obtained, as well as increased temperatures and relative humidity under the plastic covers. However, its use did not influence transpiration and photosynthesis, but an increase in vegetative expression was observed. In the fruits, the plastic covers affected both the condition and the quality, having negative consequences on firmness and sugar content.

Keywords: Cherries, Cover, Physiology, Condition, Quality

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Hipótesis.....	2
1.2 Objetivo general.....	2
1.3 Objetivos específicos.....	2
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Situación mundial del cerezo	3
2.1.1 Antecedentes mundiales y nacionales.....	3
2.2 Descripción de cultivares (cvs.).....	3
2.2.1 Cultivar ‘Bing’	3
2.2.2 Cultivar ‘Sweetheart’.....	3
2.2.3 Cultivar ‘Rainier’	4
2.2.4 Desarrollo del fruto	4
2.3 Cubiertas antilluvia.....	4
2.4 Condiciones ambientales	5
2.4.1 Radiación fotosintéticamente activa (PAR).....	5
2.4.2 Radiación Ultravioleta (UV).....	5
2.5 Compuestos antioxidantes: fenoles.....	5
2.5.1 Antocianinas.....	6
2.6 Índices de madurez	6
2.7 Estado hídrico en cerezos.....	6
2.8 Fotosíntesis.....	7
2.9 Fluorescencia de la clorofila	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
3.1 Localización y antecedentes de la zona	8
3.2 Diseño experimental	8
3.3 Mediciones microclimáticas.....	9
3.3.1 Radiación solar (PAR) y ultravioleta (UV).....	9
3.3.2 Condiciones microclimáticas.....	9
3.4 Mediciones de crecimiento vegetativo	9
3.4.1 Área sección transversal de tronco (ASTT).....	9
3.4.2 Volumen de copa (m ³).....	10
3.5 Mediciones fisiológicas en árbol	10

3.5.1 Estado hídrico.....	10
3.5.2. Fotosíntesis.....	10
3.5.3 Fluorescencia de la clorofila	11
3.5.4 Mediciones de índices de pigmentos	11
3.6 Características físico químicas del fruto.....	11
3.6.1 Índices de madurez	11
3.6.2 Fenoles totales	12
3.6.3 Capacidad antioxidante.....	12
3.6.4 Contenido de Antocianinas	12
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
4.1 Climáticos	14
4.2 Crecimiento vegetativo	18
4.3 Variables fisiológicas de planta	20
4.4 Características físico químicas del fruto.....	23
5. CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS.....	29

ÍNDICE DE CUADROS

- CUADRO 1.** Promedio de temperatura de máxima, media y mínima. promedio de humedad relativa máxima, media y mínima durante cuatro meses, bajo dos condiciones a) bajo cubierta plástica (cc) y b) sin cubierta plástica (sc) a 1 y 3 metros de altura, además se indican los índices de acumulación térmica como a) acumulación de grados días (gdh), b) grados días (gd) y c) índices de estrés..... 16
- CUADRO 2.** Medias de crecimiento vegetativo de los cvs. 'rainier', 'sweetheart', 'bing', bajo las condiciones sin cubierta plástica (control), y con cubierta plástica (cubierta) a 90 ddpf, durante la temporada 2017-2018..... 19
- CUADRO 3.** Media de variables fisiológicas en los cvs. 'rainier', 'sweetheart', 'bing' en dos condiciones sin cubierta plástica (control), y con cubierta plástica (cubierta), a 60 ddpf (cosecha), durante la temporada 2017-2018..... 200
- CUADRO 4.** Media de variables fisiológicas en los cvs. 'rainier', 'sweetheart', 'bing' en dos condiciones sin cubierta plástica (control), y con cubierta plástica (cubierta), a 90 ddpf (pos), durante la temporada 2017-2018..... 21
- CUADRO 5.** Variación porcentual de transpiración y fotosíntesis entre hojas de 60 DDPF (Cosecha) y 90 DDPF (Postcosecha) en los cvs. 'rainier', 'sweetheart', 'bing', en dos condiciones sin cubierta plástica (Control) y con cubierta plástica (Cubierta), temporada 2017-2018..... 231
- CUADRO 6.** Contenido relativo de pigmentos en hojas de los cvs. 'rainier', 'sweetheart', 'bing', en dos condiciones sin cubierta plástica (control), y con cubierta plástica (cubierta), a 60 ddpf, durante la temporada 2017-2018. mediciones efectuadas con dualox (clorofila, flavonoides, antocianinas y nbi). mediciones efectuadas con spad (índice spad)..... 233
- CUADRO 7.** Índices de madurez de frutos de los cvs. 'Rainier', 'Sweetheart', 'Bing', en tres condiciones i) Sin cubierta plástica (Control), ii) Con cubierta plástica (Cubierta) y iii) Bolsa/ sin cubierta, durante la temporada 2017-2018.....25

ÍNDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1.** Radiación total, radiación fotosintéticamente activa (par) y uv-b a 60 ddpf (postcosecha) en tres periodos del día a una altura de 2 metros del suelo, en dos condiciones a) bajo cubierta plástica (cc) y b) sin cubierta plástica (sc). media de tratamientos seguidos de la misma letra, no presentan diferencias estadísticamente significativas. test lsd ($p \leq 0,05$) (n=5 por tratamiento). 14
- FIGURA 2.** Radiación total, radiación fotosintéticamente activa (par) y uv-b a 90 ddpf (postcosecha) medidos en tres periodos del día, a una altura de 2 metros del suelo, en dos condiciones a) bajo cubierta plástica (cc) y b) sin cubierta plástica (sc). media de tratamientos seguidos de la misma letra, no presentan diferencias estadísticamente significativas. test lsd ($p \leq 0,05$) (n=5 por tratamiento). . 15
- FIGURA 3.** Temperatura media, durante 24 horas en tres días en diferentes meses (nov-dic-ene), bajo dos condiciones i) sin cubierta plástica (cc) y ii) con cubierta plástica (sc) a 1 y 3 metros de altura. 17
- FIGURA 4.** Humedad relativa media, durante 24 horas en tres días en diferentes meses (nov-dic-ene), bajo dos condiciones i) sin cubierta plástica (cc) y ii) con cubierta plástica (sc) a 1 y 3 metros de altura. 18
- FIGURA 5.** Clorofila, Antocianinas y Carotenoides en frutos de los cvs. 'Rainier', 'Sweetheart', 'Bing', en tres condiciones i) Sin cubierta plástica (Control), ii) Con cubierta plástica (Cubierta) y iii) Bolsa/ sin cubierta, durante la temporada 2017-2018. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente. Test LSD ($p \leq 0,05$) (n= 5 por tratamiento).....26
- FIGURA 6.** Fenoles Totales y ORAC en frutos de los cvs. 'Rainier', 'Sweetheart', 'Bing', en tres condiciones i) Sin cubierta plástica (Control), ii) Con cubierta plástica (Cubierta) y iii) Bolsa/ sin cubierta, durante la temporada 2017/18. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente. Test LSD ($p \leq 0,05$) (n= 5 por tratamiento).....27

1. INTRODUCCIÓN

La fruticultura chilena ha logrado consolidarse a nivel internacional, convirtiendo a Chile en un gran exportador de fruta. El cerezo (*Prunus avium* L.) es el tercer frutal más plantado en el país, con 39.645 ha, lo que representa un 11,5% de la superficie total de frutales plantada, siendo los cultivares (cvs.) 'Santina', 'Lapins' y 'Bing' los de mayor superficie (ODEPA - CIREN, 2020).

Uno de los principales problemas que enfrenta la producción de cerezas es la partidura (*cracking*) inducida por lluvias en períodos cercanos a la cosecha (Lang et al., 2016). Este daño puede causar pérdidas económicas significativas (Balbontín et al., 2013). Frente a este problema se empezó a utilizar cubiertas antilluvia como una práctica cultural para evitar el deterioro de la calidad de la fruta (Ellena, 2012).

Las cubiertas antilluvia reducen la radiación solar incidente sobre los cultivos, tanto en la fracción fotosintéticamente activa (PAR), como en el rango ultravioleta (UV). Adicionalmente, generan un aumento en las temperaturas bajo ellas (Schmitz-Eiberger y Blanke, 2012). La PAR, que incluye longitudes de onda entre los 380 y 680 nm, corresponde a aquella que las plantas captan para producir carbohidratos, mientras que la radiación UV contempla longitudes de onda entre los 200 y 380 nm, de mayor nivel energético. Este último rango puede ser dañino para las plantas, por lo cual éstas, a modo de defensa, producen metabolitos secundarios, como los compuestos fenólicos, que las protegen del daño fotooxidativo (Carrasco-Ríos, 2009).

Entre los compuestos fenólicos sintetizados por las cerezas, se encuentran los flavonoides (Martínez-Flórez et al., 2002), siendo las antocianinas las más abundantes, y responsables de la coloración rojo-caoba característica del fruto (Escamilla Jiménez et al., 2009). Las antocianinas más relevantes en las cerezas son: i) cianidina aglicona unida a glucósidos 3-rutinósido y 3-glucósido, ii) pelargonidina-3-rutinósido y iii) peonidina-3-rutinósido.

Los parámetros organolépticos de la cereza, tales como color, dulzor, acidez y firmeza, son características muy valoradas por los consumidores (Serrano et al., 2005). Por esos motivos es importante comprender como el microclima ambiental generado por el uso de cubiertas antilluvia afectará a la condición y calidad de la fruta, con respecto a las cultivadas sin ellas. Por esto, la presente investigación abordará el cómo la cubierta antilluvia afecta a la fisiología de la planta y al desarrollo de frutos, en tres cvs de cerezos: 'Bing', 'Sweetheart' y 'Rainier'.

1.1 Hipótesis

La reducción de la radiación solar incidente en el cultivo (UV y PAR), por el uso de cubiertas antilluvia, afectará negativamente la coloración de la fruta, su calidad y condición, así como el contenido de fenoles y su capacidad antioxidante. Por otro lado, aumentaría la eficiencia fisiológica de la planta.

1.2 Objetivo general

Determinar el efecto de una cubierta antilluvia sobre la fisiología del cerezo y la condición y calidad de la fruta en los cvs. 'Bing', 'Sweetheart' y 'Rainier'.

1.3 Objetivos específicos

Determinar las características de color, calibre, firmeza y sólidos solubles de la fruta de cada uno de los cvs, con y sin cubierta antilluvia.

Determinar la concentración de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en la fruta de cada uno de los cvs, con y sin cubierta antilluvia.

Relacionar la radiación solar incidente (UV y PAR) y las características de la fruta de cada uno de los cvs, con y sin cubierta antilluvia.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Situación mundial del cerezo

2.1.1 Antecedentes mundiales y nacionales

Durante la temporada 2019-2020, Chile logro exportar 228.548 t de fruta, situándolo como el mayor exportador de cerezas del mundo (Trebilcock K. y Kuhn, 2020). En Chile, el cerezo es el tercer frutal más cultivado, superado sólo por la vid de mesa y el nogal. La superficie cultivada es de 39.645 ha, las cuales se concentran principalmente en las regiones de O'Higgins y Maule con clima Mediterráneo (ODEPA - CIREN, 2020).

2.2 Descripción de cultivares (cvs.)

2.2.1 Cultivar 'Bing'

Este cultivar es originario de Oregón, EE.UU. (1875). El árbol presenta una marcada dominancia apical y crecimiento vigoroso, con escasa ramificación. Es una variedad lenta en entrar en plena producción; es auto estéril, por lo que necesita de cvs polinizantes, siendo los más utilizados 'Rainier', 'Black Tartarian', 'Stela' y 'Van'. Su floración es de fecha intermedia. Su fruto se caracteriza por ser grande, con forma redondeada, firme, de piel y pulpa de color rojo a negra. Además, los frutos son muy susceptibles a la partidura y a producir frutos dobles (Quero-García et al., 2017), lo que podría afectar la rentabilidad del cultivo.

2.2.2 Cultivar 'Sweetheart'

Este cultivar es originario de Summerland, Canadá. Esta variedad muestra un hábito de crecimiento erecto con un alto vigor. Su floración es de fecha intermedia, auto fértil. Se caracteriza por presentar alta productividad y ser precoz en entrar en producción. Su fruto es de color rojo, con forma de corazón, muy firme, susceptible a la partidura (Quero-García et al., 2017).

2.2.3 Cultivar ‘Rainier’

Este cultivar es originario de Washington, EE.UU., proveniente del cruzamiento entre ‘Van’ y ‘Bing’. El árbol es de hábito de crecimiento erecto, con alto vigor y escasa ramificación. Presenta alta producción, con floración temprana. Es autoestéril y se poliniza, principalmente con por ‘Sam’, ‘Van’ y ‘Bing’. Sus frutos se caracterizan por ser ligeramente ovalados, grandes, firmes y bicolors (rojo-amarillo). Como los anteriores, son sensibles la partidura (Quero-García et al., 2017).

2.2.4 Desarrollo del fruto

El fruto del cerezo es clasificado como una drupa carnosa con una semilla central dura (Chockchaisawasdee et al., 2016). Estos frutos se desarrollan en tres etapas, siguiendo el patrón de una curva doble sigmoidea (Choi et al., 2002, Roper et al., 1988). La primera etapa del crecimiento del fruto involucra principalmente al pericarpio, ocurriendo una alta división celular (Balbontín et al., 2014). La segunda etapa corresponde al endurecimiento del carozo y la tercera al crecimiento del mesocarpio por elongación celular (Bastías et al., 2014).

2.3 Cubiertas antilluvia

La producción de cerezas es limitada por factores climáticos en períodos claves durante la etapa de desarrollo del fruto. Es por ese motivo que se protegen los árboles con cubiertas plásticas (Lang et al., 2016). Éstas se establecen sobre las hileras de plantación, habitualmente en estructuras con postes de madera o cemento que soportan una lámina de polietileno (PE) transparente o de otros materiales. Las telas plásticas son sujetas con amarras y unidas con ojales de acero.

Existen dos tipos de cubiertas: i) móviles y ii) fijas. Las móviles tienen la ventaja de poder tener el cultivo descubierto y sólo se despliegan en caso de lluvias, pero tiene la desventaja de que requiere mucha mano de obra para el despliegue o repliegue. Las cubiertas fijas son más económicas, pero están desplegadas durante toda la temporada (Ellena, 2012).

Este tipo de protección ante las lluvias genera cambios en las condiciones ambientales, p.ej., de radiación solar (PAR-UV), Temperatura (T) y Humedad relativa (HR), que, además, pueden afectar aspectos productivos y fisiológicos en la planta (Retamal-Salgado et al., 2015)(Børve y Meland, 1998).

2.4 Condiciones ambientales

2.4.1 Radiación fotosintéticamente activa (PAR)

La radiación que llega a la tierra comprende una parte del espectro electromagnético, dentro de ella se encuentra un rango que comprende longitudes de onda que van desde los 400 a los 700 nm, este rango es el que las plantas utilizan para su proceso de fotosíntesis y se denomina radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Carrasco-Ríos, 2009).

2.4.2 Radiación Ultravioleta (UV)

La radiación ultravioleta (UV), se descompone en tres bandas: UV-A (320-380 nm), UV-B (280-320 nm) y UV- C (200-280 nm). De estas tres bandas la UV-C es la más dañina para los organismos, pero esta no llega a la superficie de la Tierra por acción de capa de ozono (O_3), la cual absorbe radiación entre los 200 y 340 nm, dejando pasar una porción de la radiación UV-B y en su totalidad UV-A, que en conjunto con la radiación visible (400(380) – 700(680) nm), forman parte del espectro foto-percibido por los organismos terrestres (Meisel et al., 2011).

2.5 Compuestos antioxidantes: fenoles

Los polifenoles son estructuras que se caracterizan por poseer uno o más anillos fenólicos. Estos polifenoles se pueden clasificar dependiendo de los anillos fenólicos que tengan o de los elementos estructurales que posean estos anillos. Los principales grupos de polifenoles son ácidos fenólicos, estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavonoides (Quiñones et al., 2012). Estos compuestos fenólicos son productos de metabolitos secundarios y tienen como función la protección contra la radiación UV y la defensa ante patógenos (Ferretti et al., 2010).

Los polifenoles presentes en las plantas son antioxidantes importantes debido a sus elevados potenciales redox, los cuales les permiten actuar como agentes reductores (Tsao y Yang, 2003), frente a radicales libre que se encuentren en el medio. Los radicales libres son moléculas que contienen en su órbita externa uno o más electrones no apareados, los cuales pueden reaccionar

con otras moléculas del medio (Andresen et al., 2006). El principal polifenol encontrado en el fruto del cerezo son las antocianinas.

2.5.1 Antocianinas

Estos compuestos hidrosolubles están presentes mayoritariamente en las frutas, cuya estructura se caracteriza por poseer tres anillos fenólicos (Quiñones et al., 2012). Algunas de las antocianinas presentes en las cerezas son: cianidina 3-glucósido, cianidina 3-rutinosida, cianidina 3-soporósido, pelargonidina 3-glucósido, pelargonidina 3-rutinosida, 3-glucósido y peonidina 3-rutinosida (Ferretti et al., 2010). De éstas, la cianidina 3-rutinosida es la que se presenta en mayor cantidad (90%) (Chockchaisawasdee et al., 2016).

2.6 Índices de madurez

Los índices de madurez más utilizados en las cerezas corresponden a sólidos solubles (SS), acidez titulable (AT), y a la firmeza de la pulpa, sin embargo, el más utilizado y aceptado como mejor indicador de madurez corresponde al color (Drake y Elfving, 2002).

2.7 Estado hídrico en cerezos

En plantaciones de cerezo en plena producción, es recomendable mantener un adecuado y estable estado hídrico de la planta, para obtener un alto tamaño de los frutos.

Existen registros sobre el uso de riego deficitario controlado (RDC) en cerezos en formación, que permiten controlar el vigor y ahorrar el recurso hídrico (Sánchez et al., 2010). Sin embargo, es necesario monitorear el estado hídrico de las plantas, ya que en situaciones de estrés severo podrían verse comprometidos: i) la actividad fotosintética, ii) el crecimiento de brotes, iii) la inducción y diferenciación floral, iv) defoliaciones prematuras y, v) el rendimiento (Podestá et al., 2010).

El potencial de xilema (ψ_x) es un indicador que permite cuantificar el estado hídrico en los cerezos. Los brotes detienen su crecimiento cuando el potencial xilemático, medido al mediodía, alcanza valores de -1,5 a -1,7 MPa (Podestá et al., 2010).

2.8 Fotosíntesis

La fotosíntesis es proceso químico en el cual las plantas, algas, cianobacterias y bacterias fotosintéticas transforman la energía lumínica en energía química. En cerezos, el rango de asimilación de productos de la fotosíntesis es de 9 a 13 $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, variable según el cultivar (Sotiropoulos et al., 2014). Además, los valores más altos de asimilación se alcanzan en la etapa II del crecimiento del fruto.

2.9 Fluorescencia de la clorofila

La fluorescencia de la clorofila es un fenómeno que consiste en la emisión de parte de la radiación solar incidente sobre el fotosistema en una longitud de onda específica, por lo que su medición entrega información sobre la eficiencia fotosintética y la disipación térmica de la energía absorbida (Pask et al 2013). Esta medición es empleada para determinar el grado de estrés que tenga la planta. El índice más utilizado es la relación F_v/F_m ($F_v=F_m-F_o$, fluorescencia variable; F_o =fluorescencia mínima; F_m =fluorescencia máxima), que corresponde a la máxima eficiencia (cuántica) del fotosistema (Moreno et al., 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y antecedentes de la zona

El ensayo se llevó a cabo durante la temporada 2017/18 en el Fundo Río Claro, propiedad de Agropecuaria Wapri S.A., ubicado en la comuna de Río Claro, Región del Maule, Chile (35°14'17.73" S, 71°14'22.47" O, 342 m.s.n.m.). La precipitación anual en la zona es de 900 mm y con estación seca en verano, desde los meses de diciembre a marzo. El suelo posee una textura arcillosa del tipo Alfisol (Del Pozo, 1999).

Se utilizaron frutos de árboles de cerezo cvs. 'Bing', 'Sweetheart' y 'Rainier', cultivados tanto al aire libre como bajo cubiertas plásticas. Éstas se mantuvieron desplegadas durante todo el periodo de crecimiento de los frutos y se retiró después de concluidas las mediciones. Los árboles estaban injertados sobre portainjerto (PI) MaxMa 14 y fueron establecidos el año 2001. El marco de plantación en los tres casos fue de 4,5 x 2,5 m, con una densidad de 889 plantas/ha. La orientación de las hileras era Este a Oeste. Todos los árboles estaban conducidos en eje central, con una altura de 3,5 m. El riego y la fertilización fueron aplicados según los protocolos de cada variedad, respondiendo a las necesidades para producir fruta de exportación, sin distinción entre sectores con o sin cubiertas.

3.2 Diseño experimental

El diseño experimental correspondió a un diseño completamente al azar (DCA). El ensayo contó de 2 tratamientos: sin cubierta (T0) y bajo cubierta antilluvia (T1), para las siguientes variables: a) Climáticas b) Crecimiento vegetativo c) Variables fisiológicas. Cada uno con 5 repeticiones, en donde la unidad experimental corresponde a una hilera completa de plantas; la unidad observacional correspondió a 5 plantas/repetición.

Para las características físico químicas del fruto, el ensayo contó de 3 tratamientos: fruta expuesta sin cubierta (T0); fruta bajo la influencia de la cubierta antilluvia (T1); sin Cubierta/Con Bolsa (Bolsa o T2). Cada uno de ellos con 5 repeticiones, en donde la unidad experimental correspondió a una hilera completa de plantas y la unidad observacional correspondió a 5 plantas. Cabe señalar que en T2 se embolsaron 10 centros frutales por árbol para otorgarle a esa fruta una reducción total de la radiación a los 30 DDPF.

3.3 Mediciones microclimáticas

3.3.1 Radiación solar (PAR) y ultravioleta (UV)

Para la determinación de la radiación solar (PAR) y ultravioleta (UV), se midieron en dos ocasiones: en precosecha y postcosecha, a los 60 y 90 días después de plena flor (DDPF), respectivamente. En ambas fechas se hicieron lecturas en tres momentos del día, a las 10:00, 14:00 y 18:00 h. Las mediciones se realizaron a dos alturas diferentes: i) 1 m sobre el suelo y, ii) 3 m sobre el suelo, entre hileras. Luego de realizar las mediciones y no observar diferencias entre las alturas se optó por trabajar con la altura promedio es decir 2 m. Las mediciones de la radiación PAR se realizaron con un ceptómetro AccuPar LP-80 (Decagon Devices, Inc., Pullman, USA) y las de la radiación UV se realizaron con un radiómetro UV PMA2100 (SOLAR LIGHT CO. Oak Lane, USA).

3.3.2 Condiciones microclimáticas

Para cada una de las alturas definidas en el apartado anterior, en cada tratamiento del estudio, se instalaron dos sensores HOBO UX 100 (Onset Computer Co., Cape Cod, Usa), con el fin de registrar temperatura del aire y humedad relativa cada 15 minutos para cada tratamiento.

3.4 Mediciones de crecimiento vegetativo

3.4.1 Área sección transversal de tronco (ASTT)

Transcurridos 90 DDPF, se evaluó el área en cm² de la sección transversal de tronco (ASTT). Esta medición fue realizada con una cinta métrica a una altura de 20 cm por sobre el injerto.

3.4.2 Volumen de copa (m³)

Con el uso de una regla topográfica, y una vez que el follaje se desplegó completamente, aproximadamente a los 90 DDPF, se realizaron mediciones de altura, diámetro y profundidad del árbol. Las que luego fueron multiplicadas según la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de copa (m}^3\text{)} = \text{Altura(m)} * \text{diámetro(m)} * \text{profundidad (m)}$$

3.5 Mediciones fisiológicas en árbol

Con el fin de determinar el potencial hídrico, fotosíntesis, fluorescencia de clorofila y pigmentos se realizaron dos mediciones, a 60 y 90 DDPF.

3.5.1 Estado hídrico

Para determinar el estado hídrico de la planta, se utilizó una cámara de presión Scholander (Soil Moisture, Santa Bárbara, USA). Las mediciones se efectuaron en cinco árboles por tratamiento a los cuales se le analizaron hojas (5 hojas por árbol) sin exposición directa al sol. Estas mediciones se efectuaron a medio día (14:00 h), previo sellado de las hojas con una bolsa plástica y una película aluminizada durante 120 minutos. La lectura del potencial hídrico xilemático de la planta (Ψ_x) se registró en Megapascal (MPa).

3.5.2. Fotosíntesis

Se midió la tasa fotosintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$) con la ayuda de un equipo IRGA (InfraRed Gas Analyzer), LC PRO (ADC BioScientific, Herts, UK). Las mediciones se efectuaron en cinco árboles por tratamiento, en cinco hojas por cada árbol.

3.5.3 Fluorescencia de la clorofila

Las mediciones de fluorescencia de la clorofila se realizaron con un Fluorómetro OS1-FL (Opti-Sciences, Tyngsboro, USA). Las mediciones se efectuaron en cinco árboles por tratamiento a los cuales se le analizaron hojas (5 hojas por árbol), ambientadas por 10-20 minutos a oscuridad. Esta medición se efectuó a medio día.

3.5.4 Mediciones de índices de pigmentos

La determinación de los índices de pigmentación, fue realizada con la ayuda de un Dualex™ (FORCE-A, Orsay, France). Las mediciones se practicaron en hojas ubicadas en madera del año, de brotes que se encontraban en el tercio medio, a una altura de 1,7 m de distancia del suelo. Se realizaron 25 mediciones por tratamiento.

3.6 Características físico químicas del fruto.

Dentro de las mediciones realizadas, se consideraron los índices de madurez, los compuestos fenólicos, incluyendo pigmentos, las cuales fueron evaluadas a cosecha. Para estas variables fue necesario analizar 50 frutos por cada tratamiento y cada variedad (10 frutos por repetición).

3.6.1 Índices de madurez

- a) Color y calibre: Mediante la tabla escala de la Pontificia Universidad Católica de Chile, se estableció el color y el calibre (Ver anexo 1). En Rainier el color se analizó como porcentaje de cubrimiento.
- b) Sólidos solubles (SS): Se utilizó un Refractómetro digital, PAL-BX/ACID 5 (Atago, Tokio, Japón) capaz de medir °Brix.
- c) Firmeza: La firmeza de pulpa (g mm^{-1}) por medio de FT7 Firmtech SN 07-01 (Lab-Tec).
- d) Masa: Para la determinación de la masa de los frutos (g) se utilizó una balanza digital.

3.6.2 Fenoles totales

La técnica empleada para la determinación y cuantificación de fenoles totales fue la descrita por Coseteng y Lee (1987), y se basa en la utilización del reactivo Folin-Ciocalteu, con la cuantificación de productos formados tras su aplicación.

A cada uno de los tubos se les agregó 50 μL de extracto, 450 μL de etanol técnico 50%, 2500 μL de agua destilada y 500 μL de Folin-Ciocalteu. Posteriormente, las muestras fueron agitadas y dejadas incubar por 5 min a temperatura ambiente (20 °C). A continuación, se agregaron 500 μL de carbonato de sodio 10% homogeneizando, para luego dejar incubar por otros 15 min. Cada una de las muestras fue extraída en duplicado. Se utilizó una curva de patrón estándar de ácido clorogénico (CAS:327-97-9, ALDRICH), con concentraciones entre 0,025 y 0,125 mg/ml. En base a la ecuación de la recta de la curva estándar se cuantificó la oxidación de fenoles, midiendo su absorbancia a 640 nm con un espectrofotómetro, modelo Spectroquant Pharo 300 Merck. Todas las mediciones se realizarán a temperatura ambiente (20°C). Se utilizó la piel y pulpa de los frutos.

3.6.3 Capacidad antioxidante

La cuantificación y determinación de la actividad antioxidante se realizó mediante una modificación del método de Prior (2003) y Huang *et al.* (2002), el que consiste en inhibir el radical peroxilo oxidativo. Esta cuantificación se sustenta en la pérdida de fluorescencia en un intervalo de tiempo, que viene dado por la oxidación del compuesto y detectado por un lector de microplacas para la fluorescencia Biotek Synergy HT. Se utilizó la piel y pulpa de los frutos.

3.6.4 Contenido de Antocianinas

Para la extracción y determinación de antocianinas se utilizó el método implementado por Fuleki y Francis (1968). Este consiste en utilizar la piel de 1 fruto; se sacaron 3 discos con un sacabocados n°7, con un bisturí se homogenizaron en trozos pequeños, se registró el peso y se guardó en un tubo Eppendorf. Se pesaron y se le añadieron 500 μl de solución Etanol/HCl, se agitaron y se mantuvieron en frío (4°C) por 24 h. Se utilizó la piel de los frutos.

Luego se centrifugaron y se retiró el sobrenadante a un nuevo tubo Eppendorf, se le añadieron otros 500 μ L de Etanol/HCl y se dejaron reposar por 24 h. Al día siguiente se volvieron a centrifugar para luego juntar los sobrenadantes. Finalmente, utilizando un espectrofotómetro, modelo Spectroquant Pharo 300, Merck, se midió la absorbancia a 535 nm, del extracto obtenido del proceso anterior.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Climáticos

Los registros de la radiación total, PAR y de UV-B se muestran en la **Figura 1** y **Figura 2**. En las mediciones se encontraron diferencias estadísticas para los tres tipos de radiación entre los tratamientos con y sin cubierta. Para las mediciones bajo cubierta se obtuvieron reducciones de 50%, 43%, y 42% para radiación total, PAR y UV-B a los 60 DDPF, respectivamente. Asimismo, en las mediciones realizadas a los 90 DDPF se observó una disminución de 46%, 40% y 35% para radiación total, PAR y UV-B, respectivamente.

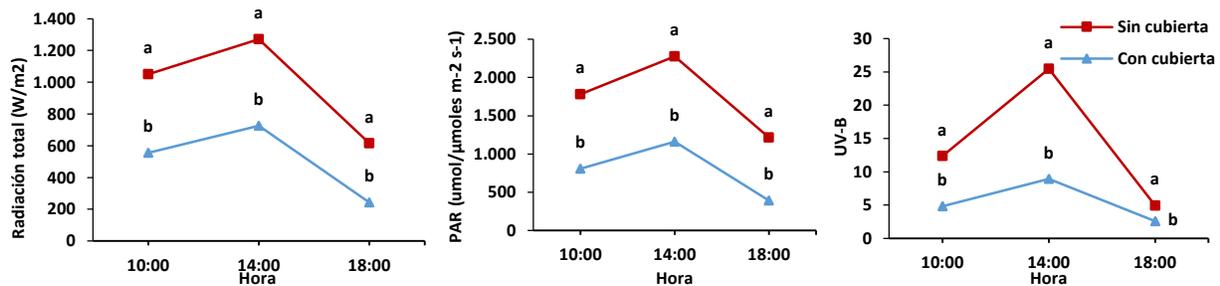


Figura 1. Radiación total, Radiación fotosintéticamente activa (PAR) y UV-B a 60 DDPF (Postcosecha) en tres periodos del día a una altura de 2 m del suelo, en dos condiciones a) bajo cubierta plástica (CC) y b) sin cubierta plástica (SC). Media de tratamientos seguidos de la misma letra, no presentan diferencias estadísticamente significativas. Test LSD ($p \leq 0,05$) ($n=5$ por tratamiento).

Lo anterior, refleja que las cubiertas ejercen un efecto de filtro sobre la radiación solar que llega hasta las plantas. Blanker y Balmer, (2008); Overbeck *et al.*, (2017c), evidenciaron en Alemania el mismo efecto en un huerto de cerezos, donde las cubiertas plásticas presentaron una reducción en la radiación solar incidente entre un 20% y 50%. Por su lado Walberg y Sagredo (2014), describieron efectos similares para cerezos cultivados en Chile, con reducciones de la PAR de un 40%. Los árboles frutales requieren entre 500 – 800 $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ de PAR, lo que es equivalente a un 25% de pleno sol, para que la fotosíntesis neta sea positiva (Urbina, 2015).

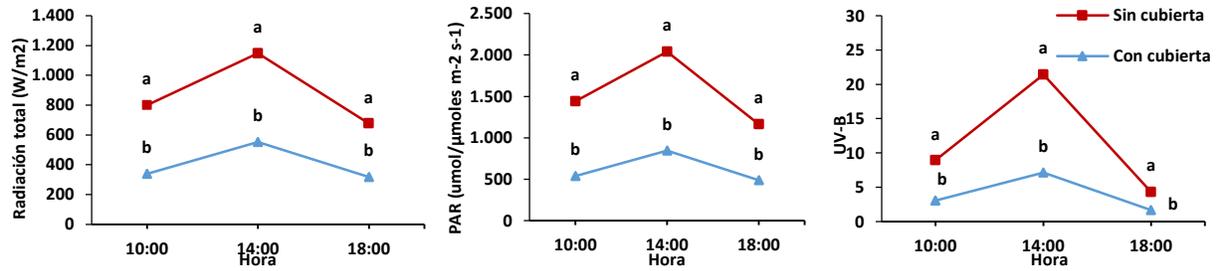


Figura 2. Radiación total, Radiación fotosintéticamente activa (PAR) y UV-B a 90 DDPF (Postcosecha) medidos en tres periodos del día, a una altura de 2 metros del suelo, en dos condiciones a) bajo cubierta plástica (CC) y b) sin cubierta plástica (SC). Media de tratamientos seguidos de la misma letra, no presentan diferencias estadísticamente significativas. Test LSD ($p \leq 0,05$) ($n=5$ por tratamiento).

La **Figura 3** muestra la dinámica de la temperatura en tres días de la temporada de estudio. El promedio de las temperaturas máximas diarias en la condición bajo cubierta fue mayor a la de la condición sin cubierta. Esta diferencia se estima entre 0.2-0.6 °C (**Cuadro 1**). Además, se observa que a los 3 m de altura se logró antes la temperatura máxima y por un mayor periodo de tiempo (**Figura 3**). Por otro lado, las mediciones a 1 m no presentaron mayores diferencias.

Por su parte Borge *et al.*, (2003), en Noruega, evaluaron el microclima que generaban distintos tipos de cubiertas plásticas y obtuvieron relaciones similares. Dichos autores propusieron un modelo del tipo permanente, similar al ensayado, teniendo rangos de diferencia de temperatura con el tratamiento control de a lo menos 1 °C, similar al obtenido en este estudio. Este efecto también fue reportado por Wallberg y Sagredo (2014). Por otro lado, en túneles Blanco *et al.* (2019), registraron un aumento de 5 °C. Por su parte Meland *et al.* (2017), describen un efecto similar de aumento de temperaturas medias durante el periodo previo a cosecha bajo cubiertas plásticas. Es necesario considerar que el material de las cubiertas plásticas pudiese calentarse, y de esta forma fomenta en cierta medida el aumento de temperatura.

Cuadro 1. Promedio de temperatura de máxima, media y mínima. Promedio de humedad relativa máxima, media y mínima durante cuatro meses de la temporada 2017-2018, (noviembre, diciembre, enero, febrero) bajo dos condiciones a) bajo cubierta plástica (CC) y b) sin cubierta plástica (SC) a 1 y a 3 metros de altura, además se indican los índices de acumulación térmica como a) Acumulación de grados días (GDH), b) Grados días (GD) y c) índices de estrés.

1 m de altura	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)			Índices de acumulación térmica		
	Máxima	Media	Mínima	Máxima	Media	Mínima	Estrés	GDH	GD
Sin cubierta	27,0	18,1	10,1	89,4	71,8	42,2	82.005	35.700	986
Con cubierta	26,4	18,4	11,2	92,6	72,9	45,4	69.727	38.157	1.016
3 m de altura									
Condición	Máxima	Media	Mínima	Máxima	Media	Mínima	Estrés	GDH	GD
Sin cubierta	27,4	18,3	10,4	96,1	72,4	40,7	87.637	35.850	786
Con cubierta	27,6	18,5	10,2	88,3	67	41,3	103.856	35.243	809

La humedad relativa (HR), representada en la **Figura 4**, a 1 m de altura fue mayor bajo cubierta. En contraste, a los 3 m fue mayor en la condición sin cubierta. Blanke y Balmer (2008) registraron un aumento entre 10 y 15% en la HR bajo cubierta independiente de la altura, llegando por la noche al punto de condensación. La humedad relativa a 3 m bajo cubierta fue menor al control, posiblemente atribuido, a la disminución de viento y efecto invernadero que se generó a dicha altura.

El índice de estrés evaluado a 1 m registró mayores valores en la condición sin cubierta (**Cuadro 1**); no obstante, cuando la altura de medición era mayor (3 m), ocurrió el efecto contrario. El índice de estrés fue mayor en las mediciones a tres metros, ya que esta sección del árbol estuvo por una mayor cantidad de tiempo (horas del día) expuesta a temperaturas más alta, y humedad relativa más baja.

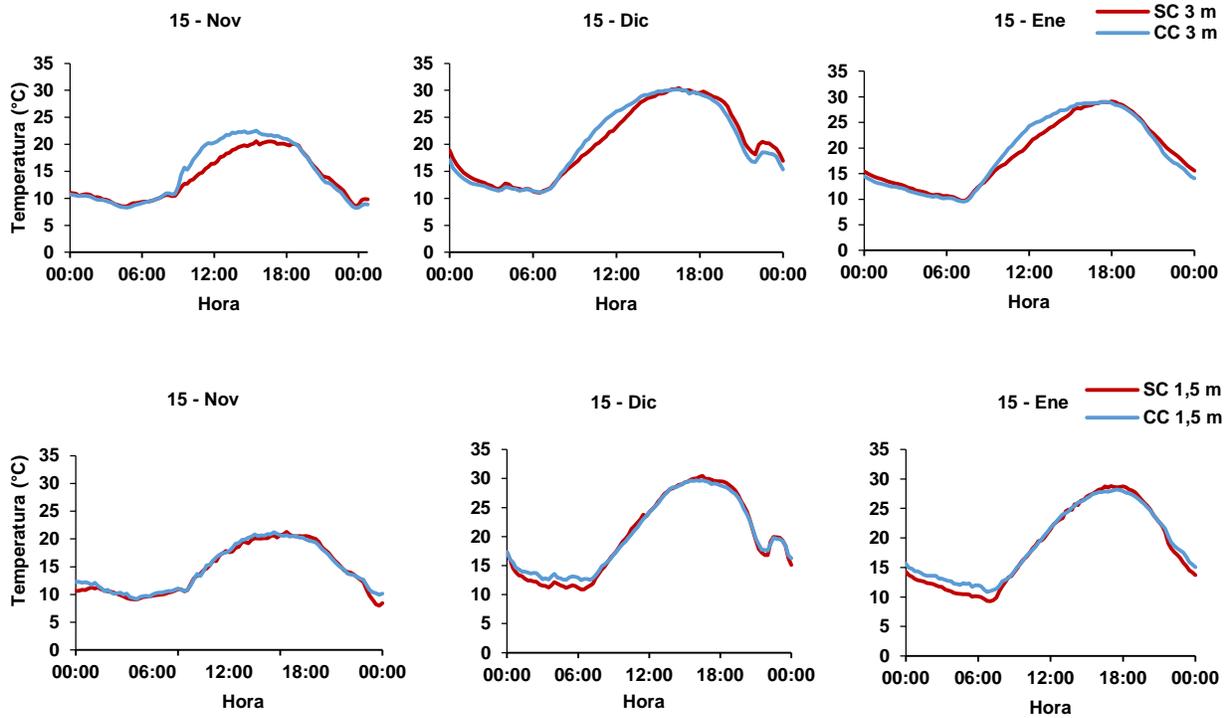


Figura 3. Temperatura durante 24 horas en tres días en diferentes meses (Nov-Dic-Ene), bajo dos condiciones i) sin cubierta plástica (CC) y ii) con cubierta plástica (SC) a 1 y 3 metros de altura.

Por otro lado, la acumulación térmica expresada en GDH y GD, siguieron la misma tendencia. Estos resultados concuerdan con los obtenidos bajo túneles, donde la acumulación térmica desde floración a cosecha fue mayor que en el control, lo que favorece una cosecha anticipada (Lang et al., 2011a).

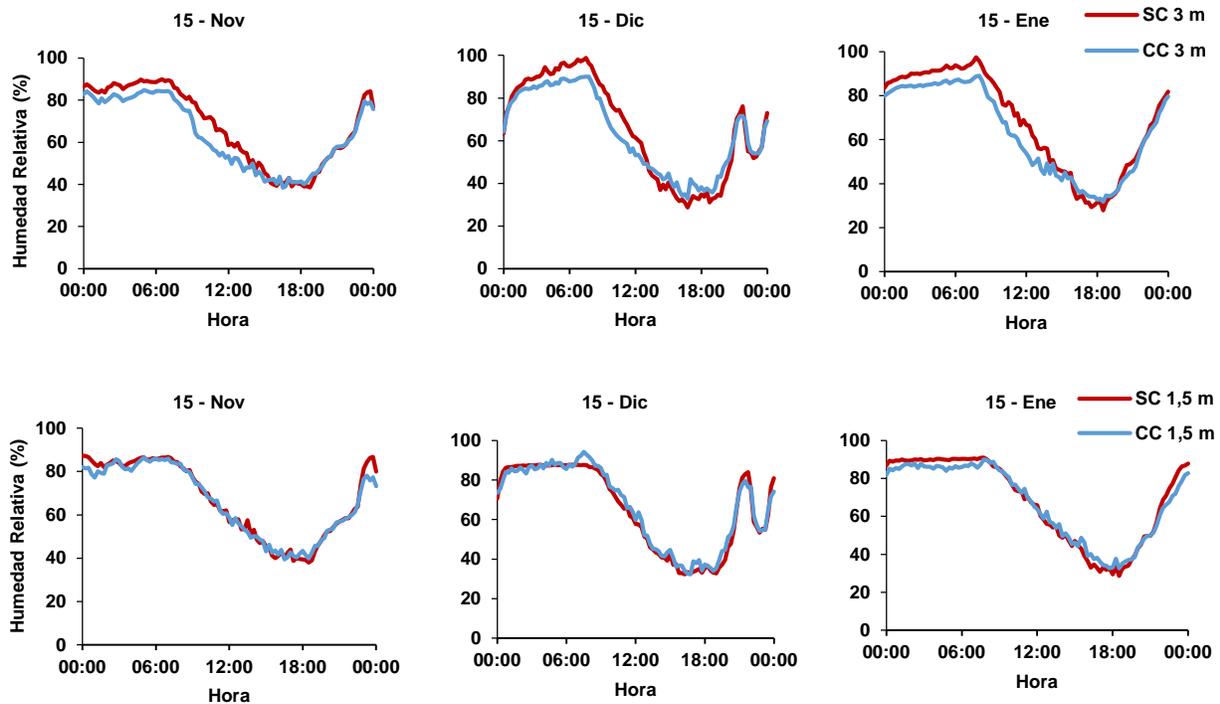


Figura 4. Humedad relativa media, durante 24 horas en tres días en diferentes meses (Nov-Dic-Ene), bajo dos condiciones i) sin cubierta plástica (CC) y ii) con cubierta plástica (SC) a 1 y 3 metros de altura.

4.2 Crecimiento vegetativo

Tal como lo muestra el **Cuadro 2**, no se encontraron diferencias significativas en el volumen de copa por el uso de cubiertas en ninguno de los cultivares. Respecto, al ASTT no se encontraron diferencias entre los tratamientos en los cvs. ‘Sweetheart’ y ‘Bing’, pero si en ‘Rainier’ donde los árboles del tratamiento bajo cubierta tuvieron en promedio 15% mayor ASTT.

De forma similar otras investigaciones detectaron una mayor ASTT bajo cubierta, con un incremento del 35% y un aumento en el volumen de copa (Lang et al., 2011). Por su parte Blanke y Balmer (2008), observaron un aumento considerable en el vigor de las plantas bajo cubierta, lo que conllevó a una baja en la producción. Estudios en la variedad ‘Lapins’, señalan que bajo cubierta plástica se genera una menor ASTT, y que este efecto se ve acentuado dependiendo del PI. En este ensayo se utilizó MaxMa 14, el cual otorga un vigor medio y es muy productivo (Moreno y Aparicio, 1996).

Por otro lado, en el largo de brote hubo diferencias significativas entre los tratamientos en todos los cultivares, con un incremento de 20-30% en los brotes de árboles bajo cubierta. Similares resultados fueron descritos por Blanke y Balmer (2008). Según Carrasco-Ríos (2009), esto se produce por efecto de la cubierta plástica, la que reduce la radiación UV-B que tiene contacto con la planta y por ende hay una menor degradación de ácido indolacético (IAA), precursor de la síntesis de auxinas. De esta forma esta hormona fomenta el crecimiento de los brotes activos o anuales, elongando los entrenudos y área de las hojas (**Ver Anexo 4**).

El peso de las hojas no difirió entre los tratamientos en los tres cultivares, pero si lo hizo su área, en el tratamiento bajo cubierta, la cual fue 22, 14 y 18% mayor en los cvs. 'Rainier', 'Sweetheart' y 'Bing' respectivamente (**Cuadro 2**). Lo anterior no se condice con una mayor acumulación de materia seca en las hojas, la cual disminuyó en dicho tratamiento (**Cuadro 2**). Similares resultados fueron obtenidos por Wallberg y Sagredo (2014), donde la elongación de los brotes fue un 35% mayor bajo cubierta y el largo de las hojas registro un incremento de un 25% en su tamaño.

Cuadro 2. Medias de crecimiento vegetativo de los cvs. 'Rainier', 'Sweetheart', 'Bing', bajo las condiciones sin cubierta plástica (Control), y con cubierta plástica (Cubierta) a 90 DDPF, temporada 2017-2018.

Cultivar	Condición	Volumen de copa (m ³)	ASTT (cm ²)	Largo brote (cm)	Área/Brote (cm ²)	Peso foliar/Brote (g)	Peso hoja (g)	Área hoja (cm ²)	N° Hojas/Brotes	N° Hojas/Metro	Largo Entrenudo (cm)	Materia seca (%)
'Rainier'	Control	15 a	289 a	47 a	1.496 a	42 a	2,0 a	71 a	21 a	45 a	2,2 a	40 a
	Cubierta	13 a	354 b	60 b	1.854 b	45 a	2,2 a	91 b	20 a	34 b	3,0 b	37 b
	Valor P	0,18	0,04	0,04	0,01	0,46	0,18	0,00	0,57	0,01	0,01	0,00
'Sweetheart'	Control	12 a	194 a	33 a	1.034 a	28 a	1,9 a	69 a	15 a	47 a	2,2 a	43 a
	Cubierta	15 a	219 a	52 b	1.558 b	37 b	1,9 a	80 b	20 b	39 b	2,6 b	39 b
	Valor P	0,18	0,27	0,00	0,00	0,00	1,0	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02
'Bing'	Control	17 a	343 a	33 a	1.094 a	31 a	1,6 a	55 a	19 a	77 a	1,7 a	44 a
	Cubierta	18 a	399 a	49 b	1510 b	37 a	1,7 a	67 b	22 a	49 b	2,3 b	38 b
	Valor P	0,66	0,24	0,06	0,05	0,23	0,35	0,06	0,14	0,04	0,01	0,00

*Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente. Test LSD ($p \leq 0,05$) ($n = 5$ por tratamiento).

En cuanto al número de hojas por brote hubo diferencias entre los tratamientos en 'Rainier' y 'Bing', teniendo más hojas los brotes del tratamiento bajo cubierta. Misma tendencia fue descrita por Blanke y Balmer (2008) en las variedades 'Burlat' y 'Samba'. No se encontraron diferencias en 'Sweetheart'. En general se puede apreciar que las cubiertas plásticas provocan en la planta un aumento en el crecimiento vegetativo (vigor). Este aumento está dado por la disminución en la radiación solar incidente (UV- B), sumado a un aumento de temperatura y humedad relativa.

4.3 Variables fisiológicas de planta

Los resultados de las variables fisiológicas mostradas en los **Cuadros 3 y 4**, señalan que en la variable tasa fotosintética no existieron diferencias significativas entre los tratamientos en los tres cultivares, en las dos fechas analizadas. Estos valores de asimilación están dentro del rango señalado por Gruber et al. (2012) y Sotiropoulos et al. (2014). Pero si comparamos el valor de ambas fechas, se observa una disminución en la tasa fotosintética, posiblemente atribuido a la ausencia de fruta en la segunda fecha (**Cuadro 4**), ya que en investigaciones realizadas por Gucci et al. (1991), señalan que en cerezos la tasa fotosintética es mayor cuando el árbol tiene fruta.

La tasa de transpiración a los 60 DDPF presentó diferencias en todos los cultivares, siendo mayor en los árboles del tratamiento control (**Cuadro 3**). Posteriormente, a los 90 DDFF, solo se encontraron diferencias en 'Sweetheart', manteniendo la misma tendencia (**Cuadro 4**). Por otro lado, se observó una disminución generalizada en la transpiración si comparamos los 60 DDPF contra los 90 DDPF (**Cuadro 5**). Al igual que en la fotosíntesis, esta disminución podría explicarse por la ausencia de fruta a los 90 DDPF. Por su parte, Sotiropoulos et al. (2014), observaron en su primer año de medición, si bien sin diferencias estadísticas, una leve tendencia a una menor transpiración en el tratamiento cubierta, de esta forma se muestra que la planta pareciera estar más "cómoda" bajo cubierta.

Cuadro 3. Media de variables fisiológicas en los cvs. 'Rainier', 'Sweetheart', 'Bing' en dos condiciones sin cubierta plástica (Control), y con cubierta plástica (Cubierta), a 60 DDPF (cosecha), temporada 2017-2018.

Cultivar	Condición	Transpiración (mmol H₂O m² s⁻¹)	Tasa de Fotosíntesis (µmol CO₂ m² s⁻¹)	Eficiencia máxima del FS II (Fv/Fm)	Potencial xilemático de la planta (Ψ_x) (MPa)
'Rainier'	Control	3,7 a	9,8 a	0,78 a	-0,61 a
	Cubierta	2,9 b	9,4 a	0,82 a	-0,91 b
	Valor P	0,03	0,06	0,29	0,00
'Sweetheart'	Control	3,6 a	8,7 a	0,80 a	-0,6 a
	Cubierta	2,7 b	9,4 a	0,78 a	-0,9 a
	Valor P	0,00	0,64	0,14	0,13
'Bing'	Control	3,1 a	8,5 a	0,81 a	-0,9 a
	Cubierta	2,5 b	9,1 a	0,81 a	-1 a
	Valor P	0,00	0,49	0,98	0,24

*Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente. Test LSD ($p \leq 0,05$) (n = 5 por tratamiento).

El uso de cubiertas sólo presentó diferencias significativas de la eficiencia máxima del fotosistema II en la segunda fecha de medición, para el cv. 'Sweetheart' (**Cuadro 4**). En general, todos los valores obtenidos de la relación Fv/Fm están cercanos al 0,8. Resultados similares han

sido reportados en manzanos por Tartachnyk y Blanke (2004), lo que demuestra que árboles frutales con una relación de $F_v/F_m = 0,8$ indican una eficiente conversión de energía fotoquímica.

El potencial hídrico de la planta a los 60 DDPF, en general, no mostró diferencias significativas entre los tratamientos en 'Sweetheart' y 'Bing' (**Cuadro 4**). Por su parte 'Rainier', si presentó diferencias. Además, se observó una tendencia de valores más altos en los árboles cubiertos. A los 90 DDPF, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en dos de las variedades. En 'Bing', el potencial hídrico fue significativamente mayor en los árboles del tratamiento control. En general, a los 90 DDPF se observó que los valores mayores se encontraban en los árboles del tratamiento control, contrario a los resultados obtenidos a los 60 DDPF.

Cuadro 4. Media de variables fisiológicas en los cvs. 'Rainier', 'Sweetheart', 'Bing' en dos condiciones sin cubierta plástica (Control), y con cubierta plástica (Cubierta), a 90 DDPF (postcosecha), temporada 2017-2018.

Cultivar	Condición	Transpiración (mmol H ₂ O m ² s ⁻¹)	Tasa de Fotosíntesis (μmol CO ₂ m ² s ⁻¹)	Índice de Eficiencia Cuántico del FS II (F _v /F _m)	Potencial xilemático de la planta (Ψ _x) (MPa)
'Rainier'	Control	1,6 a	8,4 a	0,81 a	-1,9 a
	Cubierta	1,3 a	7,1 a	0,82 a	-1,4 a
	Valor P	0,34	0,44	0,82	0,22
'Sweetheart'	Control	1,2 a	5,7 a	0,81 a	-1,3 a
	Cubierta	2,0 b	7,4 a	0,77 b	-1,2 a
	Valor P	0,04	0,24	0,04	0,29
'Bing'	Control	2,0 a	6,8 a	0,83 a	-1,4 a
	Cubierta	2,1 a	7,3 a	0,84 a	-0,8 b
	Valor P	0,48	0,67	0,42	0,00

*Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente. Test LSD ($p \leq 0,05$) ($n = 5$ por tratamiento).

Cuadro 5. Variación porcentual de transpiración y fotosíntesis entre hojas de 60 DDPF (Cosecha) y 90 DDPF (Postcosecha) en los cvs. 'Rainier', 'Sweetheart', 'Bing' en dos condiciones sin cubierta plástica (Control), y con cubierta plástica (Cubierta), temporada 2017-2018.

Variedad	Condición	Transpiración (%)	Fotosíntesis (%)
'Rainier'	Control	- 56	- 14
	Cubierta	- 55	- 24
'Sweetheart'	Control	- 66	- 34
	Cubierta	- 25	- 21
'Bing'	Control	- 35	- 29
	Cubierta	- 16	- 19

En investigaciones realizadas bajo túnel, los resultados difieren a los de este estudio, con valores de potencial de planta a los 60 DDPF de -0,7 bajo cubierta (túnel) y -0,9 al aire libre, en la variedad 'Royal Daw' con PI MaxMa 14 (Blanco et al., 2019). Esta disparidad se podría explicar por la

diferencia de temperatura que se registraba en el momento de la medición (medio día), en donde el tratamiento Cubierta registró una mayor temperatura (**Figura 3**), y una menor humedad relativa (**Figura 4**), lo que provocaría un mayor nivel de estrés en la planta durante ese periodo del día. Esto no se condice con lo que ocurre a lo largo de la temporada, donde la cubierta ayuda a atenuar la demanda hídrica. Otras investigaciones en las cuales se utilizó el mismo PI (MaxMa 14), señalan que con valores entre de -1,2 y -1,4 MPa, no debiese verse afectado el crecimiento de planta (Gonçalves et al., 2003). Shackel et al. (1997) señala que potenciales hídricos de planta menores a -1,5 y -1,7 MPa, resultan en una detención del crecimiento vegetativo. En este estudio los valores están por sobre este rango, además, como se puede apreciar en el **Cuadro 2**, existe un crecimiento vegetativo marcado en los árboles bajo cubierta. Sin embargo, estos umbrales de potenciales hídricos son utilizados para implementar RDC y de esta forma controlar el vigor excesivo, en periodos de ausencia de fruta (postcosecha) o en los primeros años de implementación del cultivo (Podestá et al., 2010) (Sánchez et al., 2010). En ambas fechas analizadas en general no se aprecia un efecto de las cubiertas plásticas sobre la tasa de fotosíntesis, transpiración, fluorescencia y potencial de xilema. Lo que resulta interesante es ver como disminuyen estos parámetros fisiológicos entre los 60 DDPF y los 90 DDPF, por efecto de la ausencia de fruta.

El efecto de las cubiertas sobre la concentración relativa de pigmentos fue diferente en cada variedad (**Cuadro 6**). En 'Bing' se encontraron diferencias significativas en los índices de clorofila, antocianinas y NBI. Por otro lado, en 'Rainier' se observaron diferencias en el índice de flavonoides y SPAD. Por último, en 'Sweetheart' no se detectaron diferencias. De esto se infiere que 'Bing' es la variedad que más modifica los pigmentos de sus hojas frente a una reducción de la radiación. En investigaciones realizadas bajo cobertura en Alemania, el contenido de clorofila en hojas de cerezos varió entre 45-59 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, no presentando problemas en los árboles. Según Overbeck et al. (2017c), las variaciones del contenido de estos indicadores por efecto del uso de cubiertas depende del cultivar y PI. Otras investigaciones han mostrado que el contenido de clorofila es un buen indicador del estado nutricional de la planta con una correlación alta entre las mediciones efectuadas tanto por el equipo Dualex y SPAD, siendo no destructivas y oportunas (Cerovic et al., 2012). El mismo investigador menciona que en mediciones en vides con el mismo instrumento, solo son acertadas hasta envero, ya que posterior a este estado, el equipo Dualex comienza a saturarse con concentraciones muy altas de flavonoles, dando valores erróneos de antocianinas (Cerovic et al., 2008). Las hojas del tratamiento cubierta en general presentaron un mayor tamaño, en 'Rainier' además del aumento del tamaño de las hojas se incrementaron sus pigmentos, siendo una variedad bicolor. Por otro lado, en las variedades de color vemos el mismo incremento en el tamaño de las

hojas lo que no implicó un aumento en los pigmentos de ellas. Por esto podemos apreciar un efecto varietal marcado en la concentración relativa de pigmentos por el uso de cubiertas plásticas.

Cuadro 6. Contenido relativo de pigmentos en hojas de los cvs. ‘Rainier’, ‘Sweetheart’, ‘Bing’, en dos condiciones sin cubierta plástica (Control), y con cubierta plástica (Cubierta), a 60 DDPF, durante la temporada 2017-2018. Mediciones efectuadas con Dualex (clorofila, flavonoides, antocianinas y NBI). I Minolta (Índice Spad).

Cultivar	Condición	Clorofila	Flavonoides	Antocianinas	NBI	Índice Spad
‘Rainier’	Control	34 a	1,3 a	0,18 a	10 a	37 a
	Cubierta	37 a	2,0 b	0,19 a	10 a	42 b
	Valor P	0,06	0,01	0,32	0,68	0,04
‘Sweetheart’	Control	27 a	7,0 a	0,68 a	14 a	33 a
	Cubierta	27 a	6,5 a	0,68 a	15 a	33 a
	Valor P	0,83	0,24	0,85	0,49	0,69
‘Bing’	Control	34 a	1,6 a	0,18 a	10 a	41 a
	Cubierta	29 b	1,7 a	0,15 b	8 b	39 a
	Valor P	0,01	0,23	0,01	0,02	0,42

*Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente. Test LSD ($p \leq 0,05$) ($n = 5$ por tratamiento).

4.4 Características físico químicas del fruto

En ‘Rainier’ los frutos con cubierta fueron 1 mm más grandes y 2 g más pesados. Por otro lado, en ‘Sweetheart’ y ‘Bing’ sólo el tratamiento Bolsa generó una disminución de 14% en el tamaño de los frutos. De acuerdo a investigaciones previas, el efecto de la cubierta sobre estas variables depende de la variedad, puesto que se han observado efectos nulos en variedades como ‘Kordia’ y ‘Regina’ (Zdravec et al., 2009), y diferencias significativas en ‘Lapins’ (Ruisa et al., 2017); (Balkhoven-Baart y Groot, 2005). En otros cultivos, la práctica de envolver frutos antes de cosecha genera en algunos casos un aumento de tamaño (Mango) y otras veces un menor crecimiento (nísperos y granadas), en cerezos, no existen muchas investigaciones sobre el efecto de la reducción de la radiación solar sobre el peso del fruto. En otros frutales como la manzana se utiliza la práctica del embolsado para color en los frutos y además se obtiene un incremento en el peso (Sharma et al., 2014).

En relación a sólidos solubles y firmeza, estos atributos presentaron diferencias significativas entre los tratamientos en las tres variedades, siendo los frutos control los que tuvieron un 19% más de sólidos solubles y un 16% más de firmeza, respecto al bajo cubierta y el tratamiento bolsa presento un 30% menos de sólidos solubles y un 32% menos firmeza (**Cuadro 7**). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Ruisa et al. (2017), donde se observó fruta con tendencia a

presentar menos firmeza y un menor contenido de sólidos solubles bajo cubierta. Asimismo, Schmitz-Eiberger y Blanke (2012) detectaron que las variedades de cosecha tardía bajo cubierta tienden a tener fruta con menos firmeza, además de generar frutos con un menor contenido de azúcares (10-30%). Sin embargo, otras investigaciones efectuadas por Kafkaletou et al. (2015) señalan que las cubiertas plásticas no afecta la firmeza de la fruta. Por último, Børve y Meland (1998) señalaron que en ciertas variedades como 'Van', el uso de cubierta no afecta el contenido de azúcares. Misma tendencia fue descrita por (Blanke y Balmer, 2008). Estudios realizados en manzanas 'Delicious' en India no obtuvieron diferencias en los sólidos solubles entre los tratamientos embolsados y el control, lo que sí se pudo apreciar que en el tratamiento con fruta embolsada el dulzor disminuyó a medida que más tiempo pasaban los frutos en las bolsas (Sharma et al., 2013). Existen reportes en California donde en manzanos se embolsaron frutos y se obtuvo un aumento en la firmeza en la variedad 'Granny Smith' (Bentley y Viveros, 1992).

Por último, en color sólo se registraron diferencias entre los tratamientos en la variedad 'Rainier', viéndose una disminución del 37% en los frutos cubiertos y de un 55% en los frutos del tratamiento bolsa (**Cuadro 7**). No se observaron diferencias en las otras variedades. Resultados similares se obtuvieron en mediciones realizadas en Eslovenia con el cultivar 'Hedelfinger', menos oscura, y en 'Kordia' (Zadravec et al., 2009). Sin embargo, dichas mediciones se efectuaron con un colorímetro, por lo que las diferencias instrumentales pueden no representar diferencias visuales. En contraste, Blanke y Balmer (2008) encontraron que los frutos bajo cubierta tenían más coloración que los sin cubierta. Una reducción significativa de la PAR, debido al uso de cobertor afectaría la coloración del fruto (Wallberg y Sagredo, 2014). El uso de cubiertas plásticas termina modificando la calidad como la condición de los frutos, siendo los sólidos solubles y firmeza los indicadores que presentan una disminución considerable.

Cuadro 7. Índices de madurez de frutos de los cvs. 'Rainier', 'Sweetheart', 'Bing', en tres condiciones i) Sin cubierta plástica (Control), ii) Con cubierta plástica (Cubierta) y iii) Bolsa/ sin cubierta, durante la temporada 2017/18.

Cultivar	Condición	Calibre (mm)	Peso (g)	Sólidos solubles (°Brix)	Firmeza (g/mm)	Color (1-5)
'Rainier'	Control	31 ab	13 a	22 b	272 a	0,65 a
	Cubierta	32 b	15 b	17 a	222 a	0,28 b
	Bolsa/ Sin cubierta	30 a	13 a	16 a	184 a	0,1 c
	Valor P	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00 (β)
'Sweetheart'	Control	30 a	13 a	20 a	275 a	3,4 ab
	Cubierta	30 a	13 a	17 b	236 b	3,1 b
	Bolsa/ Sin cubierta	26 b	9,3 b	15 c	182 c	3,8 a
	Valor P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03 (β)
'Bing'	Control	29 a	13 a	21 a	250 a	3,8 a
	Cubierta	30 a	13 a	17 b	203 b	3,7 a
	Bolsa/ Sin cubierta	26 b	8,9 b	13 c	185 c	3,6 a
	Valor P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47 (β)

Medias seguidas misma no difieren estadísticamente. Test LSD ($p \leq 0,05$) ($n = 5$ por tratamiento). β: Comparación mediante el Test de Kruskal-Wallis.

El contenido de clorofilas sólo fue diferente en los frutos del tratamiento Bolsa en las tres variedades (**Figura 5**). Tanto en 'Rainier' como en 'Bing', la concentración de clorofilas fue 44% y 60% menor, respectivamente. Por su parte, 'Sweetheart' con Bolsa presentó un incremento del 37% respecto a los frutos del tratamiento Control y Con Cubierta.

Respecto a las antocianinas, sólo en 'Rainier' se encontraron diferencias en los frutos control, los cuales registraron un contenido 10 veces superior a los otros tratamientos. En 'Sweetheart' y 'Bing' no se encontraron diferencias. En manzanas cv 'Red Delicious' y 'Royal Gala' también se observó una disminución significativa de este pigmento a causa del embolsado (Chen et al., 2012).

En carotenoides no hubo diferencias entre los tratamientos, lo que concuerda con las mediciones de color analizadas previamente (**Cuadro 8**). Misma tendencia fue descrita por Overbeck et al. (2017a) en 'Bellise' y 'Samba', donde las mediciones se efectuaron de forma no destructiva en frutos de cerezos. En variedades coloreadas y de cosecha tardía, como 'Regina' y 'Kordia', no se observó diferencias en la concentración de antocianinas si son cultivadas bajo cubierta (Zadavec et al., 2009). Sin embargo, en investigaciones realizadas por Overbeck et al. (2017b) señalan que en general los frutos de cerezos cultivados bajo cubierta de cosecha temprana tenían un contenido mayor de antocianinas.

En experimentos similares realizados en Europa, los frutos de lichi (*Litchi chinensis*) no tomaron color por la falta de biosíntesis de flavonoides, debido a la ausencia de luz solar (Zoratti et al., 2014). De igual forma uvas Cabernet Sauvignon bajo protección UV, presentaron un bajo contenido de flavonoides en sus pieles (Koyama et al., 2012). En cerezos, la inducción de la síntesis de estos pigmentos (antocianinas, clorofilas y carotenoides) es muy variada y depende en gran medida variedad (Kataoka et al., 2005). **Ver anexo 2**

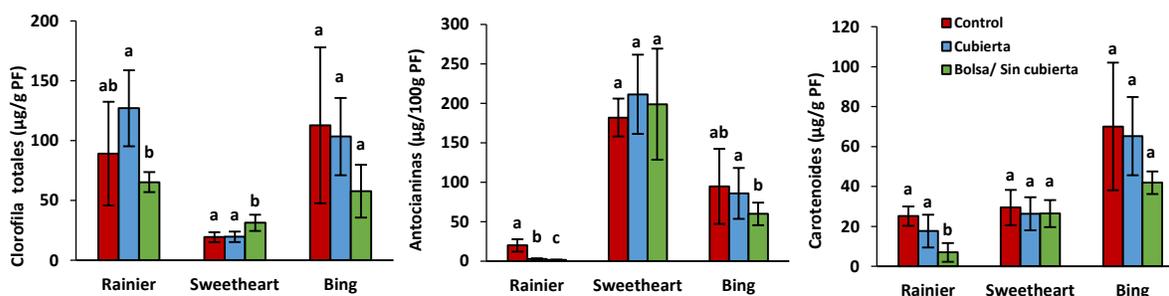


Figura 5. Clorofila, Antocianinas y Carotenoides en frutos de los cvs. ‘Rainier’, ‘Sweetheart’, ‘Bing’, en tres condiciones i) Sin cubierta plástica (Control), ii) Con cubierta plástica (Cubierta) y iii) Bolsa/ sin cubierta, durante la temporada 2017-2018. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente. Test LSD ($p \leq 0,05$) ($n = 5$ por tratamiento).

En cuanto al contenido de fenoles totales en los frutos, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en todos los cultivares, observándose mayor concentración en los frutos del tratamiento cubierta (**Figura 6**). La misma tendencia fue observada por Schmitz-Eiberger y Blanke (2012), quienes lo atribuyen a un aumento en las temperaturas bajo cubierta, efecto que también se observó en este ensayo. Al presentarse un nivel de estrés (alta temperatura) en la planta, ésta podría gatillar la síntesis de fenoles, lo que derivaría en una mayor capacidad antioxidante (Gonçalves et al., 2007). Sin embargo, mediciones realizadas en ‘Kordia’ y ‘Regina’ muestran que no hay diferencia en las concentraciones de los principales fenoles de las cerezas bajo cubierta o al aire libre (Zadravec et al., 2009).

En cuanto al contenido de fenoles totales en el fruto, en las tres variedades se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos, donde en todos los casos el mayor contenido se obtuvo en los frutos bajo Cubierta con 0,78; 1,27; y 1,8 mg/100g PF para ‘Rainier’, ‘Sweetheart’ y ‘Bing’, respectivamente (**Figura 6**). La misma tendencia fue observada por Schmitz-Eiberger y Blanke (2012), quienes lo atribuyen a un aumento en las temperaturas bajo cubierta, efecto que también se observó en este ensayo. Sin embargo, mediciones realizadas en ‘Kordia’ y ‘Regina’ muestran que no hay diferencia en las concentraciones de los principales fenoles de las cerezas bajo cubierta o al aire libre (Zadravec et al., 2009).

Investigaciones obtuvieron 30% más de fenoles totales y un incremento de un 43% en la capacidad antioxidante en manzanas embolsadas (Sharma et al., 2013). Este último aspecto discrepa con el obtenido este ensayo, en donde la capacidad antioxidante de la fruta no muestra diferencias estadísticas. Los valores promedios más bajos se obtuvieron en la fruta bajo Cubierta.

Esto puede deberse a que la fruta se encuentra en mejores condiciones para su desarrollo en ese ambiente y no necesitaría tener una alta capacidad antioxidante, dado por la exclusión de radiación solar excesiva y la moderación de la temperatura del aire en la zona media del árbol. Por otro lado, la fruta que está dentro de las bolsas, con un microclima de mayor temperatura y humedad relativa, debe desarrollar una capacidad antioxidante mayor que le permita su normal desarrollo (Sharma et al., 2014)(Carrasco-Ríos, 2009)(Schmitz-Eiberger y Blanke, 2012).

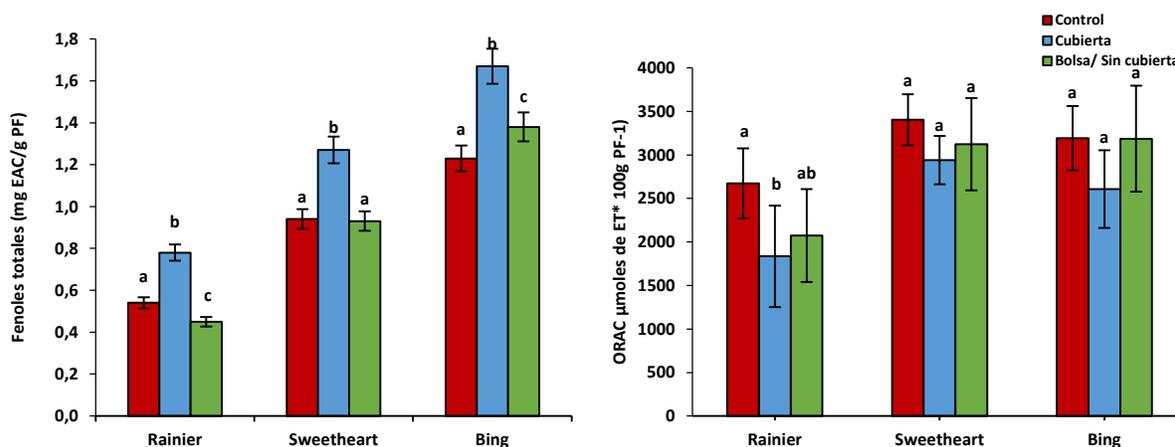


Figura 6. Fenoles Totales y ORAC en frutos de los cvs. 'Rainier', 'Sweetheart', 'Bing', en tres condiciones i) Sin cubierta plástica (Control), ii) Con cubierta plástica (Cubierta) y iii) Bolsa/ sin cubierta, durante la temporada 2017/18. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente. Test LSD ($p \leq 0,05$) ($n=5$ por tratamiento).

5. CONCLUSIONES

- Las cubiertas plásticas generaron una reducción de 50, 43 y 42% para radiación total, PAR y UV-B, respectivamente. Además, provocó un aumento en las temperaturas. Por su parte la humedad relativa fue mayor a 1 m del suelo que a 3 m de altura, provocando un mayor nivel de estrés de la planta a medida que nos acercamos al cobertor.
- El uso de cubiertas plásticas no influyó en la tasa de generación de fotoasimilados, no obstante, sí afectó al crecimiento vegetativo en los árboles, aumentando el vigor.
- Las cubiertas plásticas afectaron tanto la calidad como la condición de los frutos, observándose consecuencias negativas en firmeza y sólidos solubles. Sin embargo, en color la única variedad que se vio afectada fue 'Rainier'. Además, los frutos bajo cubierta plástica tuvieron un mayor contenido de fenoles totales y una menor capacidad antioxidante. Misma tendencia se observó en los frutos en bolsa pero con consecuencias aún más negativas en los índices de madurez, fenoles totales y capacidad antioxidante.
- Investigaciones futuras debiesen analizar la relación entre la distancia de la cubierta plástica y el ápice del árbol, con el objetivo de disminuir el efecto de la cubierta plástica en la parte alta del árbol. Analizando por separado los frutos de diferentes alturas del árbol

REFERENCIAS

- Alejandro del Pozo, P.D.C., 1999. Areas Agroclimaticas y Sistemas Productivos en la VII y VIII Regiones.
- Alistair Pask, Julián Pietragalla, D.M., 2013. Fitomejoramiento Fisiológico II, una guía de campo para la caracterización fenotípica de trigo, *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Andresen, M., 1a, H., Regueira, T., 1b, H., Leighton, F., 2006. Estrés oxidativo en el paciente crítico
Oxidative stress in critically ill patients. *Rev Méd Chile* 134, 649–656.
- 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. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000100010>
- 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. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392014000200006>
- Balkhoven-Baart, J.M.T., Groot, M.J., 2005. Evaluation of “Lapins” sweet cherry on dwarfing rootstocks in high density plantings, with or without plastic covers. *Acta Hort.* 667, 345–352. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.667.49>
- Ballistreri, G., Continella, A., Gentile, A., Amenta, M., Fabroni, S., Rapisarda, P., 2013. Fruit quality and bioactive compounds relevant to human health of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars grown in Italy, en: *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.024>
- Bastías, R., Diez, F., Finot, V., 2014. Tasa de crecimiento absoluto y relativo como indicadores de fases de desarrollo del fruto en cerezo *Prunus avium*. *Chil. J. Agric. Anima. Sci.* 30, 89–98.
- Bentley, W., Viveros, M., 1992. Brown-bagging Granny Smith apples on trees stops codling moth damage. *Calif. Agric.* 46, 30–32. <https://doi.org/10.3733/ca.v046n04p30>
- Blanco, V., Zoffoli, J.P., Ayala, M., 2019. High tunnel cultivation of sweet cherry (*Prunus avium* L.): physiological and production variables. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 251, 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.023>
- Blanke, M., Balmer, M., 2008. Cultivation of sweet cherry under rain covers. *Acta Hort.* 795 PART 2, 479–484.
- Blanke, M.M., Balmer, M., 2008. Cultivation of sweet cherry under rain covers. *Acta Hort.* 795 PART 2, 479–484. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.795.72>
- Børve, J., Meland, M., 1998. Rain cover protection against cracking of sweet cherries II The effects on fruit ripening.
- Carrasco-Ríos, L., 2009. EFECTO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA-B EN PLANTAS. *Idesia (Arica)* 27, 59–76. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292009000300009>
- Cerovic, Z.G., Masdoumier, G., Ghozlen, N. Ben, Latouche, G., 2012. A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiol. Plant.* <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01639.x>
- Cerovic, Z.G., Moise, N., Agati, G., Latouche, G., Ben Ghazlen, N., Meyer, S., 2008. New portable optical sensors for the assessment of winegrape phenolic maturity based on berry fluorescence. *J. Food Compos. Anal.* 21, 650–654. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.03.012>

- Chen, C.S., Zhang, D., Wang, Y.Q., Li, P.M., Ma, F.W., 2012. Effects of fruit bagging on the contents of phenolic compounds in the peel and flesh of “Golden Delicious”, “Red Delicious”, and “Royal Gala” apples. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 142, 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.001>
- Chockchaisawasdee, S., Golding, J.B., Vuong, Q. V., Papoutsis, K., Stathopoulos, C.E., 2016. Sweet cherry: Composition, postharvest preservation, processing and trends for its future use. *Trends Food Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.002>
- Choi, C., Wiersma, P.A., Toivonen, P., Kappel, F., 2002. Fruit growth, firmness and cell wall hydrolytic enzyme activity during development of sweet cherry fruit treated with gibberellic acid (GA3). *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* <https://doi.org/10.1080/14620316.2002.11511547>
- Cline, J.A., Hanson, E.J., 2019. Relative Humidity around Apple Fruit Influences Its Accumulation of Calcium. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117, 542–546. <https://doi.org/10.21273/jashs.117.4.542>
- Drake, S.R., Elfving, D.C., 2002. Indicators of maturity and storage quality of “Lapins” sweet cherry. *Horttechnology* 12, 687–690.
- Ellena, M., 2012. Formación y sistemas de conducción del cerezo dulce. Capítulo 9. Partidura y protección de la fruta. *Boletín INIA N° 247* 185–194.
- Escamilla Jiménez, C.I., Cuevas Martínez, E.Y., Guevara Fonseca, J., 2009. Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Fac Med UNAM* 52, 73–75.
- Ferretti, G., Bacchetti, T., Belleggia, A., Neri, D., 2010. Cherry antioxidants: From farm to table. *Molecules* 15, 6993–7005. <https://doi.org/10.3390/molecules15106993>
- Gonçalves, B., Santos, A., Silva, A.P., Moutinho-Pereira, J., Torres-Pereira, J.M.G., 2003. Effect of pruning and plant spacing on the growth of cherry rootstocks and their influence on stem water potential of sweet cherry trees. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 78, 667–672. <https://doi.org/10.1080/14620316.2003.11511682>
- Gonçalves, B., Silva, A.P., Moutinho-Pereira, J., Bacelar, E., Rosa, E., Meyer, A.S., 2007. Effect of ripeness and postharvest storage on the evolution of colour and anthocyanins in cherries (*Prunus avium* L.). *Food Chem.* 103, 976–984. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.039>
- Gruber, B.R., Kruger, E.L., McManus, P.S., 2012. Effects of Cherry Leaf Spot on Photosynthesis in Tart Cherry ‘Montmorency’ Foliage. *Phytopathology*. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-11-0334>
- Gucci, R., Petracek, P.D., Flore, J.A., 1991. The effect of fruit harvest on photosynthetic rate, starch content, and chloroplast ultrastructure in leaves of *Prunus avium*, Source: *Advances in Horticultural Science*.
- Ju, Z.G., Yuan, Y.B., Liou, C.L., Xin, S.H., 1995. Relationships among phenylalanine ammonia-lyase activity, simple phenol concentrations and anthocyanin accumulation in apple. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 61, 215–226. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)00739-3](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)00739-3)
- Kafkaletou, M., Christopoulos, M. V., Ktistaki, M.-E., Sotiropoulos, T., Tsantili, E., 2015. Influence of rain cover on respiration, quality attributes and storage of cherries (*Prunus avium* L.). *J. Appl. Bot. Food Qual.* 88, 87–96. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2015.088.012>
- Kataoka, I., Sugiyama, A., Beppu, K., 2005. Involvement of UV rays in sweet cherry fruit coloration during maturation, en: *Acta Horticulturae*.
- Koyama, K., Ikeda, H., Poudel, P.R., Goto-Yamamoto, N., 2012. Light quality affects flavonoid biosynthesis in young berries of Cabernet Sauvignon grape. *Phytochemistry* 78, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.02.026>
- Lang, G., Valentino, T., Demirsoy, H., Demirsoy, L., 2011a. High tunnel sweet cherry studies: Innovative integration of precision canopies, precocious rootstocks, and environmental physiology. *Acta Hortic.* 903, 717–723. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.100>

- Lang, G., Valentino, T., Demirsoy, H., Demirsoy, L., 2011b. High tunnel sweet cherry studies: Innovative integration of precision canopies, precocious rootstocks, and environmental physiology, en: *Acta Horticulturae*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.100>
- 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 Hort.* 1130, 83–89. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1130.12>
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J.M., Tuñón, M.J., 2002. Flavonoids: Properties and antioxidizing action. *Nutr. Hosp.* 17, 271–278.
- Meisel, L. a, Urbina, D.C., Pinto, M.E., 2011. Fotorreceptores y Respuestas de Plantas a Señales Lumínicas. *Fisiol. Veg. Ediciones Univ. La Serena* 1–9.
- Meland, M., Frøyenes, O., Kaiser, C., 2017. High tunnel production systems improve yields and fruit size of sweet cherry. *Acta Hort.* 1161, 117–124. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1161.20>
- Moreno, M.A., Aparicio, J., 1996. ' SUNBURST ' SOBRE DISTINTOS PATRONES 9.
- Moreno, S.G., Perales Vela, H., Salcedo Alvarez, M.O., 2008. LA FLUORESCENCIA DE LA CLOROFILA a COMO HERRAMIENTA EN LA INVESTIGACIÓN DE EFECTOS TÓXICOS EN EL APARATO FOTOSINTÉTICO DE PLANTAS Y ALGAS*.
- Muñoz V., M., 2015. Cerezas : frutas en expansión 1–6.
- ODEPA - CIREN, 2020. Catastro frutícola.
- Overbeck, V., Schmitz, M., Blanke, M., 2017a. Non-destructive sensor-based prediction of maturity and optimum harvest date of sweet cherry fruit. *Sensors (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/s17020277>
- Overbeck, V., Schmitz, M., Blanke, M., 2017b. Targeted forcing improves quality, nutritional and health value of sweet cherry fruit. *J. Sci. Food Agric*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8224>
- Overbeck, V., Schmitz, M., Tartachnyk, I., Blanke, M., 2017c. Identification of light availability in different sweet cherry orchards under cover by using non-destructive measurements with a Dualex™. *Eur. J. Agron.* <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.11.006>
- Patricio Trebilcock K. , Maria Jose Kuhn, J.P.F., 2020. *Redagricola* N°111 46, 1–18. <https://doi.org/10.21608/jfes.2020.87539>
- 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.
- Quero-García, J., Iezzoni, A., Pulawska, J., Lang, G., 2017. Cherries: Botany, production and uses, *Cherries: Botany, Production and Uses*. <https://doi.org/10.1079/9781780648378.0000>
- Quiñones, M., Miguel, M., Alexandre, A., 2012. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutr. Hosp. organo Of. la Soc. Espa??ola Nutr. Parenter. y Enter.* 27, 76–89. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.1.5418>
- Retamal-Salgado, J., Bastías, R.M., Wilckens, R., Paulino, L., 2015. Influence of microclimatic conditions under high tunnels on the physiological and productive responses in blueberry “O’Neal”. *Chil. J. Agric. Res.* 75, 291–297. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000400004>
- Roper, T.R., Keller, J.D., Loescher, W.H., Rom, C.R., 1988. Photosynthesis and carbohydrate partitioning in sweet cherry: Fruiting effects. *Physiol. Plant.* <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1988.tb06620.x>
- Ruisa, S., Feldmane, D., Skrivele, M., Rubauskis, E., Kaufmane, E., 2017. The effect of rain protective covering on sweet cherry fruit quality, en: *Acta Horticulturae*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1161.24>

- Sánchez, E., Vallone, R., Morábito, J., Ojer, M., INTA Alto Valle, E., INTA Mendoza, E., 2010. EFECTO A LARGO PLAZO DE RESTRICCIONES HÍDRICAS SOBRE VIGOR Y PRECOCIDAD EN CEREZOS.
- 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 Sci. Technol.* 46, 388–392. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.12.015>
- Serrano, M., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D., 2005. Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stages. *J. Agric. Food Chem.* 53, 2741–2745. <https://doi.org/10.1021/jf0479160>
- Shackel, K.A., Ahmadi, H., Biasi, W., Buchner, R., Goldhamer, D., Gurusinghe, S., Hasey, J., Kester, D., Krueger, B., Lampinen, B., McGourty, G., Micke, W., Mitcham, E., Olson, B., Pelletrau, K., Philips, H., Ramos, D., Schwankl, L., Sibbett, S., Snyder, R., Southwick, S., Stevenson, M., Thorpe, M., Weinbaum, S., Yeager, J., 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees, en: *HortTechnology*.
- Sharma, R.R., Pal, R.K., Asrey, R., Sagar, V.R., Dhiman, M.R., Rana, M.R., 2013. Pre-harvest fruit bagging influences fruit color and quality of apple cv. Delicious. *Agric. Sci.* 04, 443–448. <https://doi.org/10.4236/as.2013.49059>
- Sharma, R.R., Reddy, S.V.R., Jhalegar, M.J., 2014. Pre-harvest fruit bagging: A useful approach for plant protection and improved post-harvest fruit quality - A review. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 89, 101–113. <https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513055>
- 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.
- Tartachnyk, I.I., Blanke, M.M., 2004. Effect of delayed fruit harvest on photosynthesis, transpiration and nutrient remobilization of apple leaves. *New Phytol.* <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01197.x>
- Tsao, R., Yang, R., 2003. Optimization of a new mobile phase to know the complex and real polyphenolic composition: Towards a total phenolic index using high-performance liquid chromatography. *J. Chromatogr. A.* <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2003.08.034>
- Urbina, V., 2015. El medio ecológico en plantaciones frutales, *Monografías de Fruticultura*.
- Wallberg, B.N., Sagredo, K.X., 2014. Vegetative and reproductive development of “Lapins” sweet cherry trees under rain protective covering. *Acta Hortic.*
- Zadavec, P., Usenik, V., Štampar, F., 2009. Influence of rain protective tree covering on sweet cherry fruit quality. *Eur. J. Hortic. Sci.*
- Zoratti, L., Karpinen, K., Luengo Escobar, A., Häggman, H., Jaakola, L., Damiani, F., 2014. Light-controlled flavonoid biosynthesis in fruits. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00534>

ANEXOS



Anexo 1. Tabla comercial de calibre y color para cerezas.



Anexo 2. Diferencias de color en 'Rainier' bajo distintos niveles de radiación.



Anexo 3. Huertos donde se llevó a cabo los ensayos



Anexo 4. Brotes (Crecimientos anuales), a la izquierda sin cubierta y en la derecha con cubierta plástica.