

Avances de investigación:

Uso de cubiertas plásticas para evitar el estrés abiótico en cerezo

La académica de la PUC Marlene Ayala, recientemente galardonada con el premio Guacolda, ha realizado evaluaciones sobre los efectos de los techos plásticos mucho más allá de la protección contra lluvias. Presentó sus resultados en un seminario organizado por UC DAVIS Chile, los cuales se sintetizan como entrevista a continuación.

El uso de cubiertas plásticas en cerezo comenzó hace más de dos décadas. Inicialmente solo se buscaba prevenir la partidura de la fruta asociada a precipitaciones cercanas a la cosecha, pero hoy se está evaluando su potencial para modificar la fecha de cosecha y mitigar otros estreses ambientales. Marlene Ayala, Ph.D., académica de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) es una de las especialistas que más ha estudiado sobre el tema en Chile, y en 2024 recibió el premio Guacolda de Frutas de Chile en la categoría "Investigadora". A través de una charla sobre el tema en el seminario "Estrés abiótico en frutales", organizado por UC DAVIS Chile Life Sciences Innovation Center, resumió algunos de sus principales hallazgos en relación a los factores abióticos, que, sin tener la imagen "catastrófica" de lluvias inoportunas que parten a fruta, sí pueden incidir de manera gravitante en la protección el cultivo.

—¿Qué tanto se sabe acerca de estas materias?

—Existe una brecha de conocimiento —indica Ayala— respecto de la medida en que estructuras como macrotúneles o carpas son capaces de reducir los efectos eventualmente perjudiciales de la radiación, la temperatura (calor o frío) y el déficit hídrico. Ello ha motivado una línea de investigación de nuestro equipo de trabajo en la PUC que está entregando reveladores resultados. Para entender el impacto de los factores abióticos conviene revisar algunos aspectos básicos de la fisiología frutal. La fotosíntesis constituye el mecanismo fundamental utilizado por las plantas para mantenerse vivas. La maquinaria fotosintética de las hojas fija el carbono (C) disponible como CO₂ en el aire y lo transforma en biomasa. Utilizando agua y la radiación solar

como fuente de energía se producen azúcares o carbohidratos (que van a llegar a la cereza) y se libera oxígeno a la atmósfera y CO₂ ("respiración" de la planta) como parte del intercambio gaseoso. Hay una respiración basal necesaria para sobrevivir y una respiración para crecer, donde una parte del carbono se consume en el mismo proceso y el resto se convierte en biomasa que se distribuye en los distintos órganos del árbol, incluida la fruta. También se acumula como carbohidratos de reserva o queda como residuo en el suelo por exudaciones de la raíz, la poda, etc. En este proceso de fijación de carbono, el árbol requiere de un balance hídrico, fotosintético y energético positivo.

—¿Y si ese balance es negativo?

—Ahí se produce el estrés. Entonces, para defenderse, la planta recurre a estrategias como la detención del crecimiento, lo más sensible, o el cierre estomático a cargo del intercambio gaseoso e hídrico con la atmósfera, interrumpiendo actividades fundamentales en un huerto productivo.

EFECTO SOBRE LA ESTABILIDAD DE LA HUMEDAD DEL SUELO

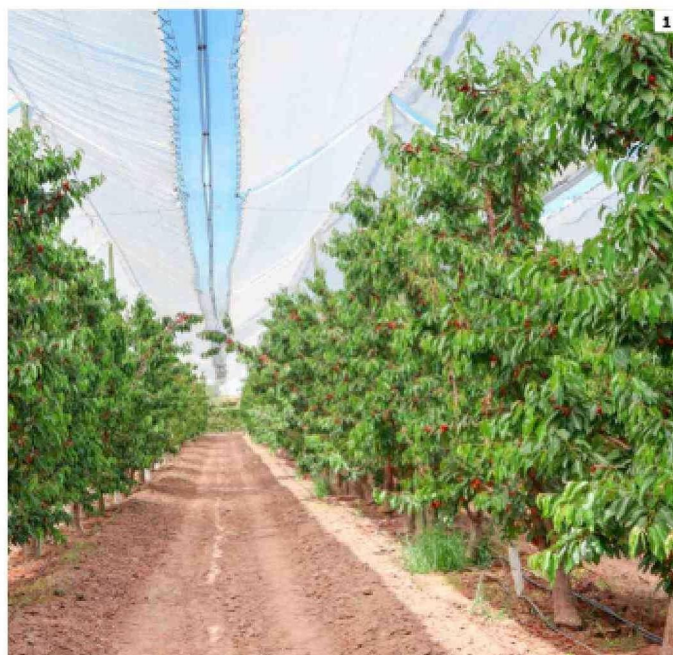
—¿Cómo actúan los factores abióticos para producir estas respuestas de la planta?

—A mayor intensidad de la luz aumenta la fotosíntesis. Sin embargo, alcanzado cierto punto de saturación lumínica, deja de subir y ante una luminosidad excesiva, sobre los 1.000 micromoles (μm)/cm²/s en la zona central de Chile, el cerezo se satura, empieza a cerrar estomas, por lo tanto, reduce la tasa fotosintética como consecuencia de un estrés radiativo. Algo similar ocurre con la temperatura, que tiene un efecto beneficioso para la fotosíntesis hasta cierto punto, pues la fotosíntesis aumenta hasta un nivel en



que se estabiliza para, sobre temperaturas del orden de los 30°C, empezar a mostrar un efecto crecientemente negativo, aumentando además la respiración. Asimismo, hay una mayor fotosíntesis en un árbol con suficiente abastecimiento de agua. En cambio, en condiciones de estrés hídrico o ante una muy baja humedad relativa, los estomas se cierran (baja la conductancia estomática) y se producen variaciones enzimáticas. Algunos sustratos para las enzimas se agotan o bien las enzimas dejan de funcionar, como ocurre en el caso de la RuBP oxigenasa-carboxilasa (RuBisCO), abundante enzima en las plantas que se encarga de la fotosíntesis. El árbol estresado se queda sin energía, por decirlo de una manera coloquial.

Los resultados de sus investigaciones en cubiertas plásticas, explica la entrevistada, ya han comprobado la experiencia práctica en cuanto a la protección de la fruta contra partidura, en comparación a cerezos al aire libre. Por ejemplo, un estudio efectuado en el cultivar Royal Dawn midió un 37% de partidura al aire libre versus un 6% bajo macrotúnel, con polietileno de baja densidad (2017, región del Maule). Sin embargo, se debe tener en cuenta las diferencias de susceptibilidad al daño entre variedades, y también considerar que las cubiertas no



1 La carpa de rafia reduce el déficit de presión de vapor y la intercepción de la radiación solar en comparación al aire libre.

2 Una parte del carbono se consume en el mismo proceso de respiración y el resto se convierte en biomasa que se distribuye en los distintos órganos del árbol, incluida la fruta.



Mariene Ayala.

necesariamente protegen 100% de la partidura, ya que la cereza también se parte por efecto de absorción de agua a través de las raíces luego de precipitaciones intensas.

En sus estudios actuales ha determinado la influencia de distintos tipos de plásticos y estructuras en otros aspectos, por ejemplo la humedad del suelo:

–Hemos comparado la humedad del suelo en ensayos en cultivos de Santina y Royal Dawn sobre distintos portainjertos –dice la académica de la PUC–, los cuales cuando están protegidos bajo macro-túnel muestran un contenido de agua mucho más estable que al aire libre (ver figura 1, página 24). Se verifica una mayor conductancia estomática bajo macro-túneles respecto del aire libre, y por consecuencia un mayor fijación de carbono por el árbol. Estudios en curso a la fecha han entregado información auspiciosa que, de confirmarse, significaría la posibilidad de ahorrar un 20% de agua después de la cosecha. La variación de la humedad de suelo bajo cubierta es particularmente notoria luego de la ocurrencia de lluvias, dado que al aire libre no existe

la barrera plástica. La humedad de suelo sube mucho más sin cubiertas, pero llama la atención que, finalizadas las precipitaciones, se produce una caída marcada de la humedad en comparación a los árboles protegidos.

–¿Qué consecuencias tienen esas diferencias en macro-túnel?

–Bajo macro-túnel, en general, hay menor humedad del suelo, por lo cual se debe empezar a regar antes pues este no recibe el agua de lluvia y, además, los árboles brotan antes. Al medir la activación del crecimiento frutal de Santina en condiciones de humedad estable (reposición con riego al bajar al 70% de humedad) se encontró un adelantamiento en la floración y la formación de hojas, consumiendo un poco más de agua temprano en primavera en comparación con árboles al aire libre, pero manteniendo una humedad más estable a lo largo del período de desarrollo de los frutos.

MANEJAR LA TEMPERATURA TIENE GRAN IMPORTANCIA

–Se sabe que los plásticos tienen efectos sobre la temperatura, ¿qué han encontrado al respecto?

–En Molina, región del Maule, registros de temperatura bajo macro-túnel (sin ventilación adecuada) marcaron hasta 43°C; bajo carpa, 35°C; ambos valores perjudiciales para los árboles y su fruta. Al aire libre, 32°C, o sea sobre la zona límite en que el calor comienza a afectar. En los primeros años de uso de estas estructuras, las variables ambientales estaban poco sujetas a monitoreo; afortunadamente en la actualidad los productores han incorporado la práctica de ventilar en forma oportuna y cada vez se cometen menos errores en macro-túneles y carpas con cierre perimetral, gracias a un monitoreo ambiental mucho más preciso.

–¿El efecto de los plásticos sobre la temperatura siempre resulta perjudicial?

–No. Un ensayo en Santina comparó el uso de macro-túnel con la carpa de rafia y el aire libre, con el objetivo de estudiar la acumulación de días grados para adelantar la cosecha. La cosecha en macro-túnel se realizó el 21 de noviembre; bajo carpa, el 1 de diciembre. Se logró alrededor de 30 días grado más acumulados entre la floración y la fase

I de crecimiento del fruto en macro-túnel que al aire libre, de manera que este tipo de cubierta puede contribuir a compensar las bajas temperaturas que no acumulan días grado al inicio de la temporada. La floración fue más temprana en macro-túnel, más tardía bajo carpa y aun más tardía al aire libre. Por otra parte, la temperatura máxima en diciembre y enero bajo la carpa de rafia fue menor que al aire libre. En consecuencia, se puede utilizar para mitigar las altas temperaturas estivales. Las diferencias de mayor temperatura en macro-túnel o menor bajo carpa, respecto del aire libre en un mismo día, suelen ser mayores a 2°C, provocando efectos que son importantes en los árboles. Lo relevante es saber cuándo extender o replegar, realizar el monitoreo ambiental y evitar por ejemplo golpes de calor o sombra excesiva.

–¿Hay manejos vinculados a lo que se ha ido encontrando?

–Claro, por ejemplo, el manejo lógico es retirar la cubierta en el macro-túnel después de la cosecha. Nosotros la hemos mantenido hasta el 30 de diciembre con fines experimentales. Las tempe-

raturas, como era de esperarse, resultaron mucho más altas que al aire libre, aunque algunos productores la conservan por más tiempo para evitar estrés radiativo, siempre considerando una buena ventilación. Por otro lado, mantener la carpa entre diciembre y febrero tuvo el efecto favorable de bajar las temperaturas, pero se debe evitar un período muy largo porque disminuye la intercepción solar, lo cual afecta la fotosíntesis y diferenciación floral. En cuanto a la mitigación de heladas, el macrotúnel generó diferencias del orden de 1,5 a 2,0°C sobre el aire libre, lo que significa una ayuda cuando las temperaturas bajo cero no alcanzan mayor intensidad. En el caso de carpa no se apreciaron cambios respecto del aire libre.

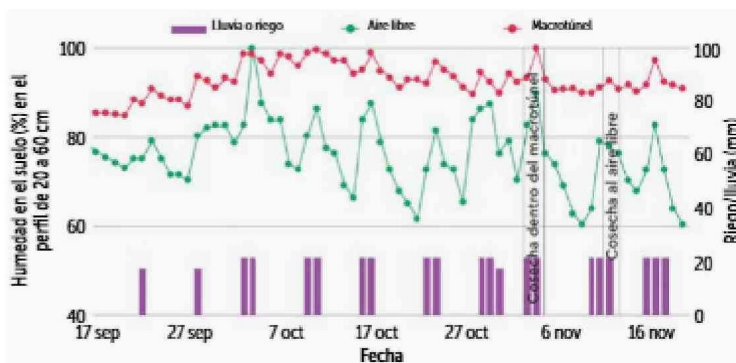
–En el suelo –continúa la Dra. Ayala– las temperaturas superficiales al aire libre entre septiembre y diciembre pueden superar los 35°C; macrotúneles y carpas, en cambio, registran hasta 10°C menos, es decir que las cubiertas plásticas sí reducen la temperatura del suelo superficial y en los primeros 40 cm. A 40 cm de profundidad el aire libre marca la mayor temperatura, seguido del macrotúnel y a continuación la carpa. Al inicio de la temporada las raíces empiezan a funcionar con temperaturas de suelo entre los 12 y 14°C. La temperatura un poco más alta del suelo y la mayor acumulación de días grados en el período de brotación y floración explica el adelanto de las fases fenológicas logrado con el uso del macrotúnel.

EL DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR Y LA ACTIVIDAD ESTOMÁTICA

–A veces se habla del déficit de presión de vapor, ¿en qué consiste y cómo lo modifican las cubiertas?

–El déficit de presión de vapor (DVP) es un índice de la relación entre el contenido de humedad del tejido vegetal, en especial el de las hojas, y el ambiente. Esta diferencia de presión es la que impulsa la transpiración en los árboles. Cuando el DPV supera el umbral de 2,2 kilopascales (kPa), el cerezo comienza gradualmente a cerrar los estomas en forma total o parcial, se reduce o detiene la fotosíntesis y, por lo tanto, también la fijación de carbono. En la Zona

Figura 1. Evolución de la humedad en el suelo entre macrotúnel y al aire libre y lámina de riego y/o evento de lluvia aplicada en cv. Royal Dawn, región del Maule, 2017.



Central, en los meses de septiembre y octubre, durante el desarrollo de las hojas y crecimiento inicial de los frutos, el DPV no es limitante. Sin embargo desde noviembre en adelante el DPV se incrementa y se comienza a observar mayor cierre estomático entre las 15 y 18 horas, coincidiendo con una humedad relativa baja en el aire y temperaturas y radiación altas. En los meses críticos del verano la carpa de rafia reduce en algo el estrés térmico y radiativo. Las mediciones al aire libre indican valores de 2.500 PAR/cm²/s a mediados de octubre; 2.900 $\mu\text{m}/\text{cm}^2/\text{s}$ a mediados de diciembre. Como se mencionó anteriormente, el límite de saturación se ubica en torno a los 1.000 $\mu\text{m}/\text{cm}^2/\text{s}$. El macrotúnel mantiene las cifras en un rango máximo aproximado de 1.000-1.400 $\mu\text{m}/\text{cm}^2/\text{s}$. Con carpa cuesta llegar a los 1.000 $\mu\text{m}/\text{cm}^2/\text{s}$, lo que resulta favorable en las horas estivales de mayor radiación en el período posterior a la cosecha (diciembre a febrero). No obstante, la menor intercepción solar en la carpa de rafia afecta negativamente en las horas de la mañana y de la tarde, en que la luz presenta niveles muy apropiados para la generación de reservas de almacenaje y el proceso de diferenciación floral que da origen a la fruta de la temporada siguiente.

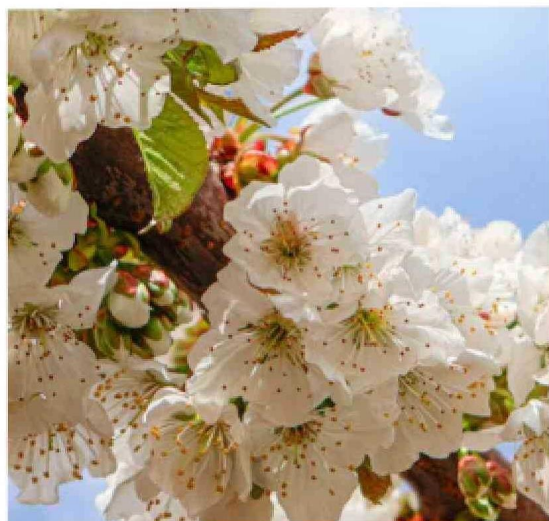
–¿Cómo ves las perspectivas de estas herramientas tecnológicas?

–El potencial de mitigar estreses abióticos de las coberturas plásticas resulta prometedor y se debe seguir investigando. Obviamente hay más opciones que las presentadas aquí, como las mallas de diferentes colores y distintos tipos de plásticos con propiedades ópticas mejoradas. Habrá

que determinar las mejores alternativas de acuerdo a la localidad (no es lo mismo en el norte que en el sur), las características de la temporada, la etapa fenológica y el proceso metabólico que queremos proteger o promover, por ejemplo el crecimiento de raíces, duración de las hojas, una floración anticipada o evitar frutos dobles.

–¿Cómo resumirías tus descubrimientos de la acción de las cubiertas sobre los estreses abióticos?

–En síntesis, ya sabemos los efectos positivos para el cerezo del macrotúnel sobre la temperatura ambiental y de suelo a fines de invierno y temprano en la temporada. Además contribuye a una humedad del suelo más estable y mitiga la radiación solar excesiva. Sin embargo, no se recomienda mantenerlo después de la cosecha por las altas temperaturas, a menos que la ventilación sea bien manejada. La carpa de rafia reduce en mayor medida la incidencia de la radiación solar, así como el déficit de presión de vapor en comparación al aire libre durante el verano. Tanto el macrotúnel como la carpa, de manera más acentuada, reducen la temperatura de suelo a nivel superficial y de raíces cuando la temporada se encuentra avanzada. Finalmente cabe reiterar que los estreses abióticos inciden de manera negativa en la fotosíntesis, aumentan la respiración y reducen la acumulación de biomasa. Ello ocurre no solo en la temporada, sino que tiene un efecto acumulativo a lo largo de los años. Para utilizar de la mejor manera las ventajas de la tecnología de los plásticos conviene revisar las bases fisiológicas del cerezo y aplicarlas para entender sus efectos. Ra



Bajo macrotúnel se ha observado un adelantamiento de la floración y cosecha de hasta 12 días.