



Clima y Calidad de Manzanas

GUÍA PARA ENFRENTAR
LA INCERTIDUMBRE CLIMÁTICA

Álvaro Sepúlveda - Loreto Arenas - José Antonio Yuri
Centro de Pomáceas - Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca



**CHILE LO
HACEMOS
TODOS**





CLIMA Y CALIDAD DE MANZANAS

Guía para enfrentar la incertidumbre climática



CHILE LO
HACEMOS
TODOS



Editorial

Universidad de Talca, Talca - Chile
Enero 2019

Equipo Editor

Álvaro Sepúlveda, Ing. Agr. Mg.
Loreto Arenas, Ing. Agr.
José Antonio Yuri, Ing. Agr. Dr.

Diseño Editorial

Menssage Producciones

Fotografía Portada

Álvaro Sepúlveda

Diseño Portada

Jessica Rodríguez, VITT - UTalca

Financiamiento

Fundación para la Innovación Agraria
Vicerrectoría de Innovación y Transferencia Tecnológica
Universidad de Talca

©2019-Derechos Reservados Universidad de Talca

<http://pomaceas.otalca.cl>

PRESENTACIÓN

Este documento recopila la experiencia de más de 15 años, en que el Centro de Pomáceas ha abordado la temática de clima y calidad de manzanas producidas para exportación. También contiene información obtenida y difundida a través del proyecto apoyado por FIA (PYT-2015-0213), denominado “Sistema de alerta en línea para mejorar la condición y calidad de manzanas, en base a factores ambientales, nutricionales y productivos en el huerto, frente a la variabilidad climática”. Esta iniciativa permitió sintetizar la información recopilada en indicadores agroclimáticos específicos para estas pomáceas, a través de una plataforma de consulta, IKAROS, disponible en línea en el sitio *web* del Centro de Pomáceas. Este texto da cuenta de estos esfuerzos, siempre con la motivación de ofrecer soluciones aplicadas a las problemáticas con las que los productores frutícolas conviven en su día a día.

Agradecemos la revisión del texto y los aportes al mismo, a los destacados colegas especializados en esta materia, Rodrigo Bravo y Luís Espíndola.

José Antonio Yuri

Ing. Agr. Dr.

Director del Centro de Pomáceas

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad de Talca

CONTENIDO

› Introducción	06
› Antecedentes	07
› Receso Invernal	13
› Floración y Cuaja	21
› Crecimiento del Fruto	27
› Monitoreo Meteorológico	39
› Indicadores Agroclimáticos para Pomáceas	45
› Mediciones Ecofisiológicas	49
› Cobertores y Reflectantes	57
› Plataforma IKAROS	65
› Literatura Consultada	85

INTRODUCCIÓN

El ambiente es determinante en el ciclo de vida de las plantas frutales, en especial la temperatura. Muchos de los frutales de hoja caduca evolucionaron en climas templados, con estaciones frías y cálidas, por lo que necesitan baja temperatura en invierno y alta en primavera y verano, que permitan el crecimiento y maduración de su fruta.

A través del desarrollo tecnológico ha sido posible dar cuenta del efecto del ambiente sobre la fisiología del frutal, así como sobre aspectos de importancia agrícola. En el caso del manzano, este efecto, en especial sobre la calidad y condición que la fruta tendrá a cosecha, puede estimarse en base a la cuantificación de las llamadas variables agroclimáticas, que no son más que modelos matemáticos, contruidos a partir de los registros de una estación meteorológica, y que contienen un sentido productivo. Las variables agroclimáticas explican parte de la respuesta fisiológica de la planta a cambios en el medioambiente. Por esto, en temporadas de extremos meteorológicos, contar con una medida del efecto que tendrá el ambiente sobre las características de la fruta, constituye una herramienta que permite al fruticultor intervenir en forma oportuna su gestión, para minimizar posibles mermas productivas.

Se estima que alrededor de un 50% de la producción manzanera chilena es exportada. El resto se distribuye en el mercado interno, dimensionado en un 10%, y productos procesados, que alcanzaría un 40% del total. Además, se estima que entre un 10 y 15% de la fruta producida se desecha en el huerto, ya sea por caída natural o durante la faena de cosecha. Esta fruta puede contribuir al mercado de productos procesados. Así también, parte de la fruta que es transportada para su almacenaje y empaque es descartada posteriormente durante su embalaje, por diversas causas, y redestinada al mercado interno o de procesados. Este descarte se calcula entre un 25 y 35% de la fruta.

Entre las principales pérdidas en el huerto, se cuenta aquella por síntomas de daño por sol. En cultivares sensibles, como Granny Smith, Cripps Pink o Fuji, la fruta dañada por sol puede superar el 30% de la producción total del huerto. Por otro lado, las principales mermas detectadas en el embalaje involucran la manipulación y transporte de la manzana. Éstas producen daños por impacto y heridas en la fruta, y pueden alcanzar un tercio del volumen procesado. Otras causas de descarte en embalaje son la presencia de síntomas de daño por sol (18-25%) y alteraciones fisiológicas (5-18%). Estas últimas se manifiestan en la fruta después de almacenaje prolongado, y al arribo en los mercados de destino. Falta de color o de calibre, son también motivos de descarte de exportación.

Las variaciones entre los porcentajes de descarte, tanto en huerto como en almacenaje, están dadas por diferencias entre temporadas y localidades. Por ello, es posible relacionar su ocurrencia al comportamiento de las variables agroclimáticas imperantes en la temporada de crecimiento del fruto.

El presente texto pretende relevar algunos de los efectos que el clima tiene sobre la futura condición y calidad de las manzanas, en un recorrido a través del ciclo del frutal, desde la dormancia hasta la cosecha. También repasa las tecnologías disponibles para cuantificar y mitigar condiciones ambientales adversas. Se finaliza con la presentación de la plataforma climática IKAROS, que permite interpretar la información ambiental y nutricional, la que brinda respuestas en cuanto a la condición y calidad potencial de la fruta en la temporada en curso.

ANTECEDENTES

Astronómicos

La distancia de La Tierra al Sol y el grado de inclinación del eje de rotación respecto a su perpendicularidad con el plano orbital (23.5°), determinan la cantidad de radiación solar incidente, el largo del día a través del año, así como las estaciones, en cada punto del planeta (**Figura 1**).

La inclinación del eje rotatorio produce que en el Ecuador se reciba alta radiación solar por unidad de superficie, la que es homogénea durante todo el año. A su vez, en los trópicos concentra la mayor energía solar en verano, en ambos hemisferios. Ello, determina la existencia de desiertos en dichos puntos de La Tierra. Por otro lado, en latitudes más altas, la radiación solar incide en una mayor área, por lo que la energía solar por unidad de superficie es menor (**Figura 1**). Así también, el largo del día es más variable a través del año en zonas polares, con meses de penumbra en invierno y luz continua en verano.

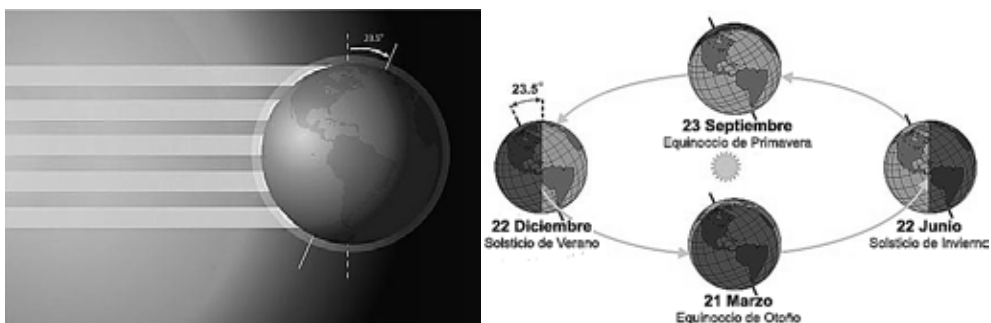


Figura 1. Efecto de la inclinación del eje de La Tierra en la energía solar incidente a diferente latitud (izquierda) y la estacionalidad del año (derecha).

Terrestres

La temperatura, factor determinante del ciclo vital de las plantas, varía a través de La Tierra, lo que va definiendo los distintos climas. A medida que aumenta la latitud, la temperatura decrecería $0.45\text{ }^\circ\text{C}$ por grado (la distancia entre paralelos es de 110 km). Existen diferencias térmicas entre los hemisferios norte y sur, dadas en parte por su cantidad de agua. En el hemisferio sur, la alta proporción de océano respecto al continente, le confiere un efecto moderador sobre la temperatura. Es así que a una misma latitud, en el hemisferio sur la temperatura es menor. Sin embargo, su dinámica es menos extrema. En esta lógica se definen climas marítimos y continentales, los últimos con temperaturas muy extremas, tanto altas como bajas.

El perfil térmico durante el año en un lugar dado debe ofrecer al frutal caducifolio un período de frío invernal a la vez de permitir extensas temporadas estivales para su crecimiento y maduración de la fruta. Será ideal un lugar libre de heladas primaverales (exposición a temperatura bajo cero centígrado). Por lo general, los frutales de climas templados se distribuyen en una amplia zona entre los paralelos 30 y 60° de latitud (**Figura 2**).

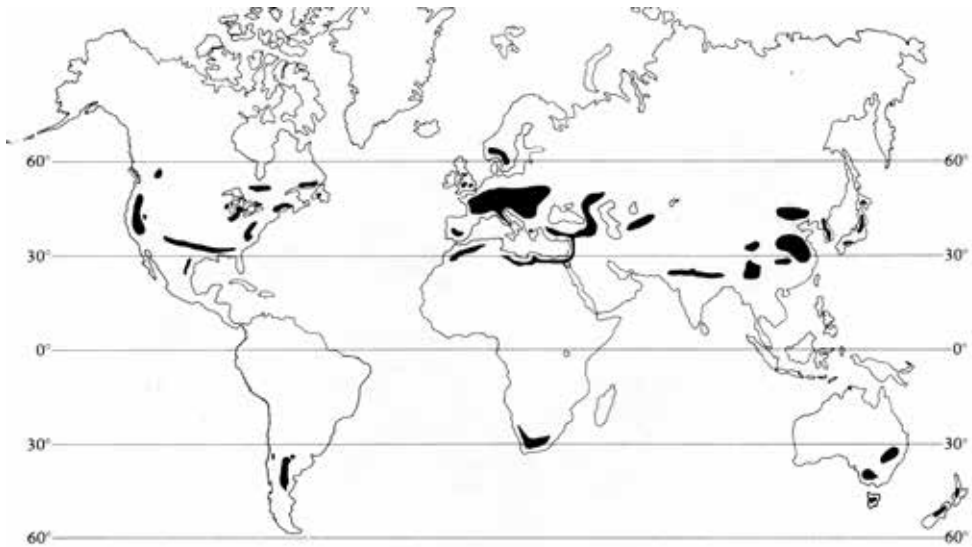


Figura 2. Principales áreas productivas de frutales de clima templado. Adaptado de Westwood, 1978.

Los bosques de las montañas del Tian Shan, en el centro de Asia, reúnen poblaciones silvestres de manzanos, muy variables en tamaño, color de flores y frutos, tamaño y sabor de estos, por lo que se estima sería zona de origen de esta especie (**Foto 1**).

El manzano se habría introducido a Europa a través del comercio con el lejano oriente, al coincidir con la ruta de la seda (**Figura 3**). El manzano moderno (*Malus domestica* B.), habría sido obtenido en un proceso de hibridación de diferentes especies silvestres (Juniper y Mabberley, 2006).



Foto 1. Bosques de manzanos silvestres en el sureste de Kazajastán. Gentileza E. Roland.

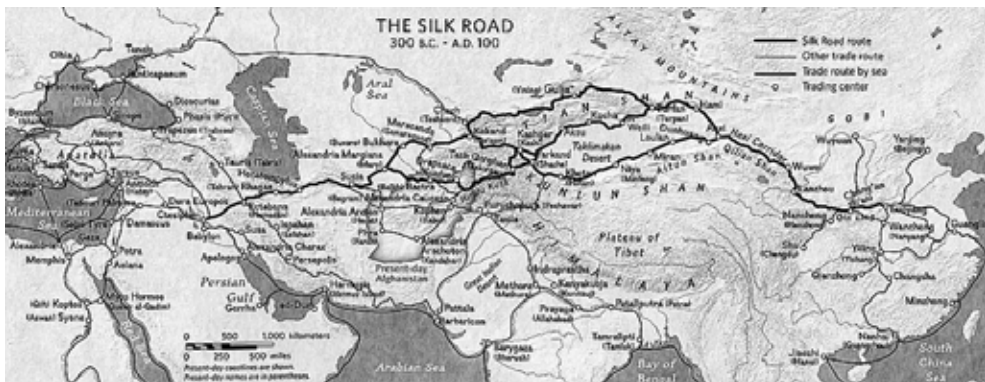


Figura 3. Ruta de la seda. En el centro de Asia, la ruta se divide para sortear el desierto de Taklimakán o el macizo del Tian Shan.

Chile central presenta un clima templado cálido, con lluvias invernales y estación seca prolongada en verano, y es donde se concentra la producción de frutales de clima templado. Esto corresponde al área comprendida entre Valparaíso y El Bío Bío (33-38° L.S.), en donde las precipitaciones aumentan a mayor latitud. Entre los frutales de hoja caduca producidos, figuran carozos (durazneros, ciruelos y cerezos), pomáceas (manzanos y perales), así como nogales y avellanos, además de kiwis y frutales menores (frambuesos y arándanos). Otros frutales de importancia en esta región son los olivos y las vides.

La cantidad de radiación solar incidente variará en función de la latitud y época del año (**Figura 4**). Ello determina la extensión del día. Sin embargo, a igual latitud, el flujo de radiación no muestra un comportamiento regular y es fuertemente dependiente tanto de la altitud, como de las condiciones atmosféricas predominantes (**Figura 5**). Así, en el altiplano andino se ha registrado la mayor lectura de radiación UV terrestre (Cordero *et al.*, 2018).

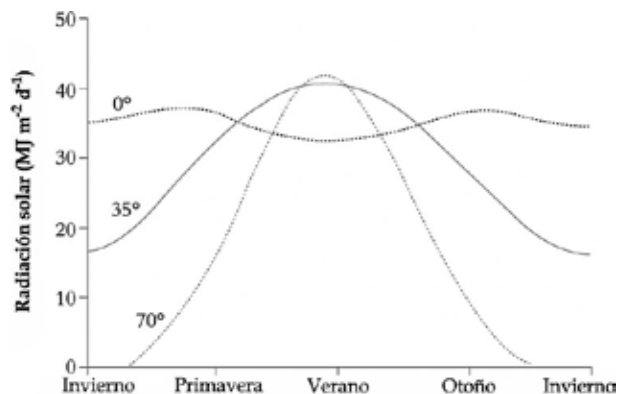


Figura 4. Radiación solar incidente de acuerdo a la latitud y época del año.

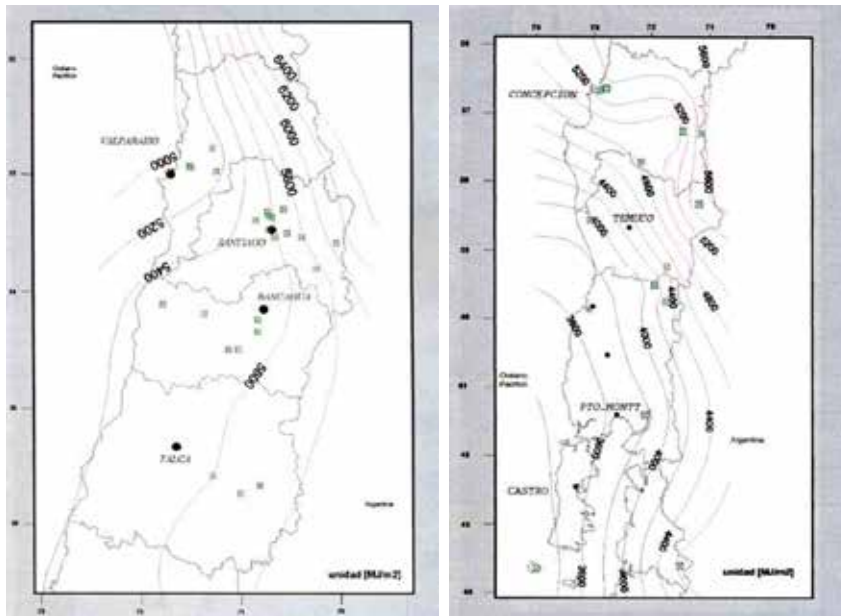


Figura 5. Mapa de irradiación solar anual (MJ m^{-2}), desde Valparaíso al Maule (izquierda), y desde El Bío Bío a Los Lagos (derecha). Adaptado de CNE *et al.*, 2008.

Geográficos

En una escala más local, las grandes masas de agua otorgan una moderación de la temperatura, lo que hace posible la producción de ciertas especies en zonas próximas a lagos y grandes estuarios. Tal es el caso del cultivo de frutales en el área de los grandes lagos en Norteamérica o la producción de cerezas en Chile Chico (46° L.S.), junto al lago General Carrera (**Foto 2**). Producir fruta en esta última localidad tiene la ventaja de cosechar tardíamente, accediendo a altos precios por declinación de la oferta.

A medida que se aumenta en altitud, también descende la temperatura. Esto ocurriría a razón de 1.0°C cada 100 metros sobre el nivel del mar (msnm). Ello permite la producción de especies de clima templado frío en zonas sub y tropicales, como en Santa Catarina, Brasil. En Cataluña, la producción de manzanas en altitud ha tenido positivos resultados, obteniendo fruta de alta calidad (Iglesias *et al.*, 2018). Así, se ha convertido en alternativa para evitar las condiciones cada vez más cálidas de las zonas manzaneras tradicionales, junto al Ebro. En Chile es importante considerar que al aumentar en altitud en la precordillera andina, aumentará la cantidad de lluvia, por la influencia del océano Pacífico y su aporte de nubosidad, y el riesgo de heladas primaverales.

En terrenos de relieve pronunciado, el aire más frío se depositará en las zonas bajas de éste, por lo que el sitio más adecuado para disminuir el riesgo de heladas será cultivar en la parte media y alta de las laderas.



Foto 2. Cerezos producidos en Chile Chico bajo el efecto moderador térmico del Lago General Carrera. Gentileza J. Cereceda.

Ecofisiológicos

La temperatura es un factor determinante en los procesos fisiológicos de las plantas. A medida que ésta aumenta, se acelera el metabolismo. La tasa de fotosíntesis se incrementará con mayor radiación solar incidente, así como con el alza de la temperatura ambiente.

Se ha establecido que la radiación solar interceptada por el frutal durante la temporada de crecimiento tiene directa relación con la biomasa producida. Sin embargo, la luz del sol no solamente debe ser interceptada, sino que distribuida dentro del árbol (Corelli-Grappadelli y Morandi, 2012).

En general, se considera que el crecimiento de brotes y frutos se favorece con temperatura bajo 30 °C, sobre la cual éste se vería limitado (Lakso, 1994). Temperatura sobre los 30 °C promueve el cierre estomático, a fin de evitar la pérdida de agua, lo que reduce la tasa fotosintética. En ambientes cálidos aumenta la tasa de respiración y con ello disminuye la acumulación de carbohidratos producidos en la fotosíntesis. Por ello se ven desfavorecidas la síntesis y el pool de compuestos del metabolismo secundario, como pigmentos o sustancias aromáticas (Rom, 1996).

RECESO INVERNAL

Los frutales caducifolios eliminan sus hojas como estrategia para sobrevivir el invierno (**Foto 3**). El manzano, originario de regiones montañosas del centro de Asia, se adaptó de esta manera a los inviernos de bajas temperaturas de climas templados fríos. En estos, a medida que disminuye la radiación solar y temperatura ambiental en otoño, el árbol cesa su actividad fotosintética, elimina las hojas y sus yemas han acumulado inhibidores de crecimiento, de modo que entran en un estado de dormancia profunda, conocido como receso. Así, las yemas pueden soportar temperaturas invernales bajo cero centígrados (**Foto 4**). Al transcurrir el invierno y la planta es expuesta a bajas temperaturas, las yemas degradan los inhibidores y acumulan promotores de crecimiento.

Se ha establecido que una vez que el 50% de las yemas son capaces de brotar, el receso ha sido superado. A partir de ese momento, la planta está en ecodormancia, un estado sujeto a las condiciones externas, ambientales; luego comienza a brotar en respuesta al alza de temperatura durante la primavera (**Foto 4**).



Foto 3. Manzanos eliminan sus hojas para sobrevivir el invierno.



Foto 4. Yemas en receso permiten al manzano resistir bajas temperaturas en invierno (izquierda). Éstas brotan en primavera respondiendo al alza de temperatura (derecha).

El cumplimiento del receso es estimado cuantificando el tiempo en que la planta ha estado expuesta a baja temperatura. El frío más efectivo estaría entre los 3 y 8 °C (Couvillon, 1995; Lakso, 1994). Por otro lado, hay consenso en la ineficacia para salir del receso con temperatura ambiental sobre 12 °C (Couvillon, 1995; Naor *et al.*, 2013; Guak y Neilsen, 2003). Existen métodos para cuantificar la exposición a frío, basados en la temperatura ambiental, la cual puede registrarse en forma continua por una estación meteorológica automática.

Se ha definido como *unidad de frío* a la exposición de una hora a cierta temperatura umbral. El método de cuantificación de frío más básico asigna una unidad de frío a cada hora en que la temperatura del aire estuvo entre 0 y 7 °C (suele usarse 7.2 °C obedeciendo a la conversión de 45 °F). Sin embargo, el más extendido actualmente es el método Richardson o Utah (Anderson y Seeley, 1992; Palmer *et al.*, 2003), que entrega un valor diferenciado de unidad de frío de acuerdo a la temperatura de exposición, restando unidades con alta temperatura (**Figura 6**). Este método se modificó en una curva de respuesta suavizada a la función original, de modo de asignar una cantidad de frío a cada décima de grado de temperatura y así aumentar su certeza (Richardson modificado). En Sudáfrica se le realizó otro cambio, para su mejor desempeño en zonas de inviernos moderados, que consistió en descartar el efecto negativo de alta temperatura en la acumulación de frío (Richardson positivo o sin unidades negativas).

El otro método utilizado en zonas cálidas es el Dinámico, desarrollado en Israel, en el cual la acumulación de frío se realiza en dos etapas, a través de un componente intermedio, que se revierte o fija dependiendo de las temperaturas sucesivas (cuantificado como porción de frío). Es un sistema complejo y de cálculo sofisticado, por lo que es menos extendido que el de Richardson. Pese a ello, el método Dinámico ha generado atención en la zona centro norte de Chile, en la medida que los valores referenciales de nuevos cultivares de algunas especies están expresados en porciones de frío.

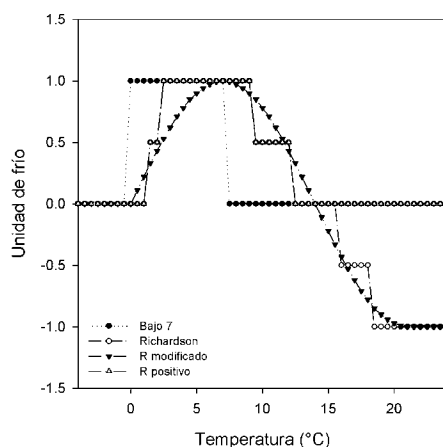


Figura 6. Unidades de frío correspondientes según la temperatura de exposición, con diferentes métodos de estimación. Adaptado de Darbyshire *et al.*, 2011.

Debido a que el receso es un proceso complejo, el cumplimiento de éste variará de acuerdo a otros factores, en interacción con la cantidad de frío, los que pueden ser ambientales o de la planta. Entre los más determinantes se encuentran:

- › Especie y cultivar (**Cuadro 1**).
- › Caída de hojas: se establece un 50% de caída para el inicio de recuento de frío.
- › Estación precedente: un otoño cálido retrasaría la entrada en receso (caída de hojas tardía).
- › Tipo de yema: las frutales tienen el menor requerimiento de frío; le siguen las yemas laterales vegetativas, siendo las primarias de dardos las más exigentes.
- › Lluvia: precipitaciones en invierno reducen la temperatura de yemas y lixivian sus inhibidores.
- › Reservas: con poco frío invernal los árboles utilizan más reservas propias para completar el receso.

Se ha reportado diferente rango óptimo de temperatura según la especie: entre 6 y 8 °C para yemas florales de duraznero (Erez y Lavee, 1971); 3 y 4 °C para cerezos (Mahmood *et al.*, 2000); y para yemas vegetativas de manzanos, entre 0 y 2 °C (Naor *et al.*, 2003; **Figura 7**). Sin embargo, se debe tener en cuenta diferencias entre cultivares.

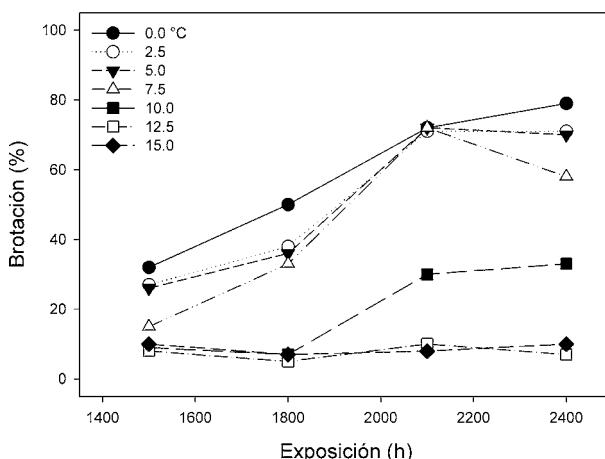


Figura 7. Brotación de yemas de manzanos Golden Delicious expuestas a diferente cantidad de horas a distinta temperatura. Adaptado de Naor *et al.*, 2003.

Cultivares de manzanos de cosecha temprana, tal como Gala, tienen alto requerimiento de frío. Por el contrario, cultivares muy tardíos, como Cripps Pink, tienen menor necesidad, lo que compensaría el menor tiempo disponible para su receso (Yuri *et al.*, 2011a). Contrariamente, en cerezos, los requerimientos de frío del cultivar parecen definir su fenología posterior, hasta la época de cosecha (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Requerimientos de frío de diferentes cultivares de manzano y cerezo.

Manzano		Cerezo	
Cultivar	Unidades de frío	Cultivar	Unidades de frío
Cripps Pink	500	Van	450-900
Granny Smith	600-800	Brooks	550
Braeburn	750-1.050	Lapins	550-750
Fuji	1.050	Newstar	500-900
Gala	1.150	Bing	700-850
Delicious	1.200-1.300	Sweetheart	800-1100

Fuente: Albuquerque *et al.*, 2008; Ghariani y Stebbins, 1994; Gratacós y Cortés, 2008; Guak y Neilsen, 2013; Hampson y Kemp, 2003; Kaufmann y Blanke, 2017.

La entrada en receso estaría también vinculada a las condiciones ambientales durante el otoño, especialmente a la exposición a baja temperatura (<12 °C; Heide y Prestud, 2005). El frío solamente es efectivo sobre la yema una vez que las hojas dejan de ser funcionales, por lo que en la práctica el recuento de frío debe iniciarse en el estado fenológico de 50% de caída de hojas o 50% de hojas amarillas (**Foto 5**). Un período de días con baja temperatura causaría un descenso de la actividad fotosintética de las hojas y la caída de éstas. Así también, la acumulación de inhibidores en la hoja aceleraría la tasa de defoliación del árbol (**Figura 8**).



Foto 5. Estado fenológico de 50% caída de hojas (o amarillas), indica inicio de recuento de frío invernal.

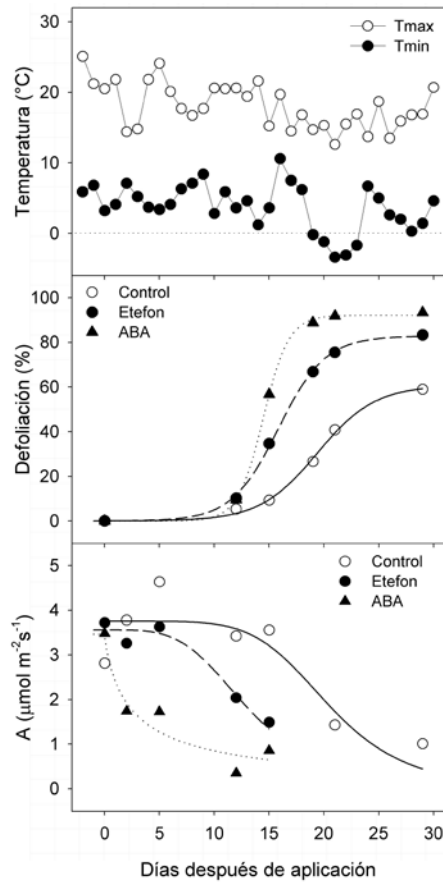


Figura 8. Tasa fotosintética o de asimilación neta de CO₂ (A) y defoliación (%) de árboles Fuji con aplicación foliar de Etefon y ácido abscísico (ABA). Temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin) diaria durante los 30 días después de la aplicación (22 de abril). Adaptado de Meyer, 2014.

Está ampliamente documentado que una alta acumulación de frío en invierno reduce las necesidades térmicas post receso para alcanzar brotación y floración (Couvillon, 1995). Es así que se ha propuesto una interacción entre el frío acumulado en invierno y la acumulación térmica post receso para conseguir una floración adecuada (**Figura 9**). Por ello, existe variabilidad en los requerimientos de frío reportados para los diferentes cultivares, especialmente de cerezos (**Cuadro 1**).

Por lo anterior, una alta cantidad de frío acumulado en el receso, permitiría una brotación y floración concentradas y sincronizadas. Con ello se garantizaría un adecuado abastecimiento de carbohidratos al fruto recién cuajado, desde hojas tempranamente funcionales. Existe una relación lineal entre el rendimiento por árbol y el área foliar de los dardos (Corelli-Grappadelli y Morandi, 2012). Las hojas de los dardos soportarían, en gran medida, el crecimiento inicial de los frutos, por lo que su despliegue temprano favorecería el crecimiento de estos últimos.

Un inadecuado receso (o falta de frío), promueve una serie de efectos nocivos en el ciclo de la planta, entre los que se cuentan:

- › Brotación retrasada y errática.
- › Alta dominancia apical, con un pobre desarrollo de yemas vegetativas laterales.
- › Floración retrasada y extensa.
- › Caída de fruta y rendimientos mermados.
- › Disminución del potencial de almacenaje de la fruta.

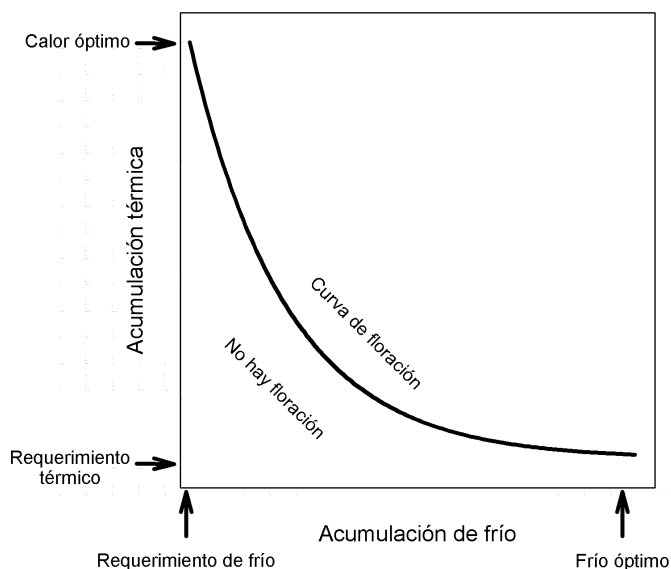


Figura 9. Interacción entre frío invernal y calor post receso necesaria para floración en frutales caducos. Adaptado de Pope *et al.*, 2014.

Para evitar los efectos negativos de zonas (o inviernos) con insuficiente acumulación de frío para una especie y cultivar determinado, se puede suplir dicha falta de frío, o completar su receso, con la aplicación de algún agente rompedor de dormancia. Entre los que más se han utilizado se cuenta la cianamida hidrogenada, considerado el producto más efectivo y práctico para ello.

Como estos agentes son un complemento al requerimiento de frío, serán más efectivos una vez que se ha cumplido la mayor parte de éste (Faust *et al.*, 1997). En la práctica, para el momento de aplicación puede considerarse la fecha en que se haya acumulado sobre el 60% del frío requerido. Así, es posible recurrir a un agente rompedor de dormancia en zonas o estaciones con acumulación de frío en el límite de los requerimientos del frutal, en orden de conseguir una brotación y posterior floración oportuna, homogénea y concentrada (Gil, 2000; **Foto 6**).



Foto 6. Floración abundante y concentrada producto de alta acumulación de frío invernal.

Una vez cumplido el receso, el avance de los estados fenológicos de la yema es conducido por el calor acumulado por ellas. Así, se han desarrollado modelos termo-temporales que permiten estimar el avance de la planta por los sucesivos estados fenológicos. El modelo más básico corresponde a Grados Día, que consiste en la cuantificación de la diferencia entre la temperatura media diaria y una temperatura base. Con la utilización de equipos meteorológicos de registro continuo es posible determinar este índice en forma más precisa, calculando la diferencia entre la temperatura de cada hora y la temperatura base para luego promediar las 24 horas del día (Stanley *et al.*, 2000).

Con este avance tecnológico, también es posible la aplicación de modelos más precisos, como el Grados Hora, en el cual se considera la sumatoria de la diferencia entre la temperatura actual y la temperatura base de cada hora. Entre los diversos modelos, el llamado GDH (Growing Degree Hours), otorga un valor diferenciado de grados, según la temperatura de exposición (**Figura 10**). Con ello se pretende explicar de forma más exacta la respuesta de la planta de acuerdo a la temperatura de exposición. Así, se han cuantificado valores de GDH referenciales para superar los estados fenológicos de la yema (**Cuadro 2**).

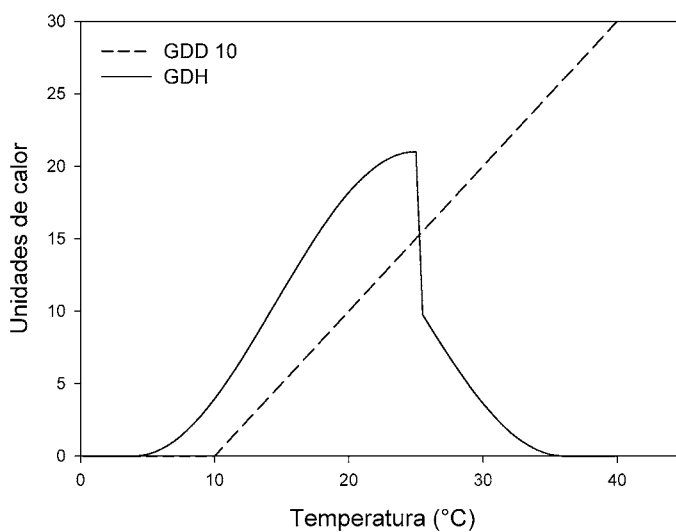


Figura 10. Aporte de unidades de calor según la temperatura de exposición con dos modelos de acumulación térmica: Grados Día base 10 (GDD 10) y Grados Hora de Crecimiento (GDH). Adaptado de Anderson y Seeley, 1992.

Cuadro 2. Acumulación de Grados Hora de Crecimiento (GDH), para superar diferentes estados fenológicos de la yema, desde término de receso en manzanos Starkrimson.

Estado fenológico	GDH
Punta plateada	2.078
Punta verde	2.586
Ramillote compacto	4.066
Inicio botón rosado	4.412
Botón rosado	5.495
Primera flor	6.274
Plena flor	7.024

Fuente: Young y Werner, 1985.

FLORACIÓN Y CUAJA

Durante floración, el comportamiento del ambiente es crítico, puesto que regula la actividad de los vectores polinizadores, el progreso del tubo polínico, así como el crecimiento temprano de las hojas. Además, es un momento en que los tejidos vegetales son altamente sensibles al daño por helada.

La fecha de ocurrencia de la floración variará de acuerdo a la zona geográfica. Según Wagenmakers (1994), la fecha de floración se desfasa 2.5 días por el aumento en un grado de latitud (**Figura 11**). En Chile, esta diferencia sería menor (1.4 días), para cultivares con bajo requerimiento de frío invernal, como Granny Smith y Cripps Pink. Las yemas de estos cultivares comienzan a acumular calor tempranamente y florecen antes que la de aquellos con alto requerimiento de frío, como Galas (Yuri *et al.*, 2011a).

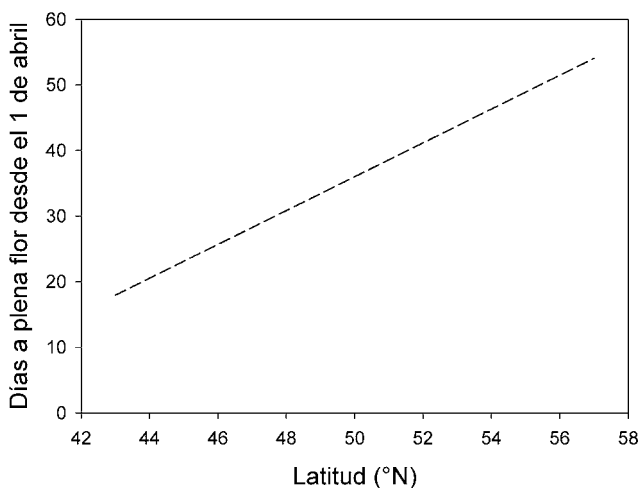


Figura 11. Desfase de la fecha de floración por efecto de la latitud en el hemisferio norte. Adaptado de Wagenmakers, 1994.

La polinización y fertilización de las flores dependen fuertemente de las condiciones ambientales imperantes en esos pocos días. Para que la polinización se produzca, es decir, el viaje del polen hasta el estigma, se debe conjugar condiciones ambientales que, por un lado, favorezcan el vuelo de los insectos polinizadores y, por el otro, mantengan la receptividad del estigma. Esto último se reduce con alta temperatura y baja humedad relativa (HR), en tanto que la actividad de los insectos polinizadores se inhibe con baja temperatura, alta nubosidad, fuerte viento o lluvia.

Las abejas domésticas o melíferas (*Apis mellifera*), son los agentes polinizadores más utilizados por los productores de pomáceas. Estos insectos se activan con temperatura ambiente de entre 12 y 14 °C, y cielo despejado, con radiación solar sobre 300 W m⁻² (Vicens y Bosch, 2000). En zonas con temperatura moderada durante floración, se puede considerar el uso otras especies polinizadoras, como los abejorros (género *Bombus*; **Foto 7**), los que pueden estar activos incluso bajo llovizna.



Foto 7. Insectos polinizadores de los géneros *Apis* (izquierda) y *Bombus* (derecha).

Una vez receptado el polen en el estigma, su germinación es un proceso rápido. Sin embargo, una alta tasa de germinación de los granos de polen asegura un gran número de tubos polínicos creciendo, a través del estilo hacia los óvulos. Este porcentaje de germinación aumenta con la temperatura ambiente, como también su avance a través del estilo. Presencia de Boro favorece la germinación del polen.

Se ha descrito un crecimiento del tubo más rápido al aumentar la temperatura promedio diaria. En el caso del manzano, el tubo polínico requiere dos días para alcanzar los óvulos con una temperatura media de 15 °C (**Figura 12**), el doble de días con 13 °C, y 8 días con 10 °C (Palmer *et al.*, 2003).

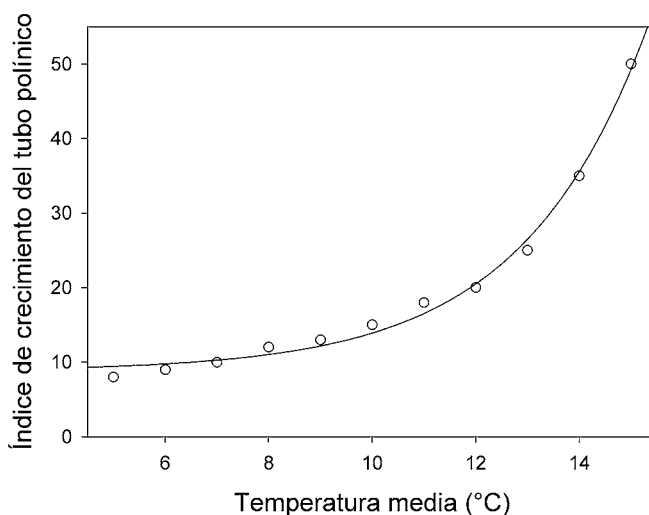


Figura 12. Índice de crecimiento del tubo polínico del manzano (%), en relación a la temperatura media diaria. Adaptado de Palmer *et al.*, 2003.

Para asegurar una exitosa cuaja, las condiciones ambientales deben permitir una serie de eventos interrelacionados: en primer lugar, el vuelo de los vectores polinizadores, al tiempo que el estigma sea receptivo, y en segundo, el crecimiento del tubo polínico hasta el óvulo, mientras este último sea viable (**Figura 13**). Así como temperatura del aire sobre 15 °C favorece la actividad de las abejas y propicia un rápido crecimiento del tubo polínico, temperatura bajo 10 °C puede resultar perjudicial para la cuaja.

El concepto de Período Efectivo de Polinización, introducido por Williams (1970), corresponde a la diferencia, en días, entre la longevidad del óvulo y el crecimiento del tubo polínico. Así el EPP (Effective Pollination Period), da cuenta de los días disponibles para que la polinización ocurra. En caso que la duración de la receptividad del estigma sea menor al EPP, ésta sería la limitante y constituiría el plazo determinante para la polinización.

Además de la temperatura ambiente, el EPP depende de otros factores, tales como:

- › Estado nutricional: promover acumulación de reservas en la temporada anterior aumenta el EPP.
- › Portainjerto: algunos inducen un limitado EPP en cerezos. La variabilidad en el EPP en esta especie podría explicar diferencias productivas entre cultivares.
- › Calidad de la flor: flores de alta calidad tienen un extenso EPP. La flor reina tiene mayor EPP que las laterales.
- › Alternancia productiva: cultivares sensibles a ésta muestran una reducción del EPP los años *off*, dado por yemas de baja calidad.

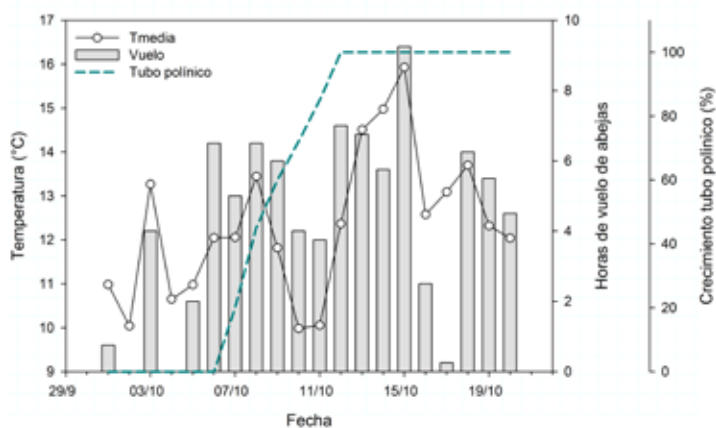


Figura 13. Simulación del crecimiento del tubo polínico y horas de vuelo de abejas en floración (plena flor el 4 de octubre), con determinada temperatura ambiente.

La floración del manzano transcurre en un período con probabilidad de ocurrencia de heladas, dependiendo de la zona geográfica en que se ubique el huerto. Una helada se define como exposición a temperatura bajo cero centígrado, a la cual se congela el agua. Floración y frutito recién cuajado corresponden a los estados fenológicos en que los tejidos son más sensibles a temperatura de congelación, dado su carácter terso por su temprana edad (**Cuadro 3**). Así, heladas advectivas o polares, producidas por una gran masa de aire frío de origen polar, de gran magnitud térmica en toda su altura (con un perfil de más de 20 metros con temperatura menor o igual a -3 °C; González, 2013) y duración (cuatro horas o más), pueden ocasionar

importantes daños a flores o frutos recién formados (**Foto 8**).

Los daños por helada pueden variar desde caída de frutitos recién cuajados hasta deformidad, o aparición de *russet* en forma de anillo (**Foto 8**). *Russet* es una rugosidad en la piel del fruto (por deposición de suberina), generado en respuesta a un estrés externo. Así, un ambiente frío y húmedo en primavera (post cuaja) puede inducir la formación de dicho síntoma en el fruto, siendo motivo de descarte durante el embalaje de la fruta (**Foto 9**).

Cuadro 3. Temperaturas críticas de daño para diferentes estados de la yema, en manzano y cerezo.

Estado de yema	Manzano			Estado de yema	Cerezo		
	Mortalidad				Mortalidad		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%
No hinchada	-9,4	-8,9	-17	No hinchada	-14,3	-	-
Puntas verdes	-7,8	-8,9	-12	Puntas verdes	-3,7	-5,9	-10,3
Ramillete expuesto	-2,8	-3,0	-6,1	Ramillete expuesto	-2,7	-4,2	-6,2
Inicio botón rosado	-2,2	-2,8	-4,4	Inicio botón	-2,7	-3,6	-4,9
Botón rosado	-2,1	-2,2	-3,9	Inicio flor	-2,8	-3,4	-4,1
Plena flor	-1,7	-2,0	-3,8	Plena flor	-2,4	-3,2	-3,9
Post flor	-2,2	-	-3,9	Post flor	-2,1	-2,7	-3,6

Fuente: Seeley y Anderson, 2003; Thompson, 1996.



Foto 8. Daños característicos de helada sobre el fruto: necrosis del óvulo (arriba izquierda), formación de anillo de *russet* (arriba derecha), deshidratación (abajo izquierda) y deformidad (abajo derecha). Adaptado de Yuri *et al.*, 2017.



Foto 9. Russet o rugosidad de la piel en fruto de manzano.

En cuanto a las medidas de mitigación de heladas, éstas pueden ser pasivas y activas. En las primeras se encuentra la más importante, que es elegir la especie adecuada para un sitio determinado de plantación. En este sentido, lo recomendable es informarse sobre las condiciones ambientales predominantes en la localidad para el proyecto frutal, en especial la dinámica de las temperaturas. La topografía es otro elemento importante, puesto que el aire más frío se deposita en zonas bajas del relieve. El uso de cortinas cortavientos naturales y artificiales puede reducir el contacto del aire frío al desviar el flujo de la masa de aire del huerto.

Los sistemas de control activos se basan en transferencia energética al huerto mientras ocurra la helada. Los más utilizados son los calefactores, el movimiento de aire y aspersión de agua por riego elevado (**Fotos 10 y 11**). Los calefactores entregan calor directo al aire a través de la quema de algún combustible. Por ello, deben ser bien distribuidos en el huerto; se utilizan entre 60 a 120 unidades/ha. Se logra un leve aumento de temperatura, motivo por el cual son eficientes frente a heladas menores. Si bien es de bajo costo de inversión, hay que considerar un alto gasto de mano de obra en su operación y un sitio de acopio de los equipos.

Por otro lado, la aspersión de agua por riego elevado es el sistema más efectivo, al entregar calor mediante el congelamiento del agua. Por lo mismo, debe funcionar ininterrumpidamente mientras permanezca la helada. Es un sistema muy complejo de implementar, dado que se necesita gran cantidad de agua, estructura de las plantas robusta para soportar el hielo que se va formando (**Foto 10**) y abastecimiento energético seguro. Con este sistema es posible controlar heladas advectivas de gran magnitud y duración. Aspersores tipo *Flipper*, de bajo caudal, permiten reducir el uso de agua y mojar solo el follaje sobre la hilera.



Foto 10. Control de heladas con quemadores (izquierda) y aspersión de agua por riego elevado formando hielo sobre los tejidos (derecha). Adaptado de Iglesias, 2017.

El sistema de control de heladas mediante inversión de aire es el que más crecimiento ha mostrado en Chile. Ésta se logra con una hélice giratoria de 6 m de diámetro sostenida por una torre fija de 10 m de altura (**Foto 11**). Así, la hélice levemente inclinada, rota moviendo el aire en una superficie de hasta 7 hectáreas en su entorno. Es un sistema adoptado especialmente en huertos de cerezos, debido a su riesgo de daño al florecer temprano y a los altos retornos que alcanza la cereza en los mercados asiáticos. Si bien, es un sistema de alto costo de inversión, se reduce al prorratearlo por hectárea, siendo fácil de operar. Sin embargo, frente a intensas heladas advectivas su radio de acción se reduce, por lo que en algunos huertos se le ha adosado un sistema de calefacción para aumentar su eficiencia (**Foto 11**). Hélices con mayor número de aspas permite reducir el ruido mientras funciona, que es uno de los puntos negativos de este sistema. Esta reducción del impacto acústico es relevante en huertos colindantes a asentamientos poblacionales.



Foto 11. Sistema de control de heladas por movimiento de aire: Torre fija con ventilador (izquierda) y Ventilador con calefactores adosados en sistema combinado de calor y movimiento de aire (derecha).

CRECIMIENTO DEL FRUTO

En el manzano, la calidad y condición que la fruta alcanzará en la cosecha, comienza a determinarse tempranamente, y en gran medida durante la primera etapa de crecimiento del fruto (**Foto 12**). Esta es la etapa de división celular, y persiste desde la cuaja hasta que el fruto alcanza el Estado T (**Figura 14**), lo que ocurre entre 25 y 45 días después de plena flor (DDPF).



Foto 12. Frutos de manzano en la primera fase de crecimiento, por división celular.

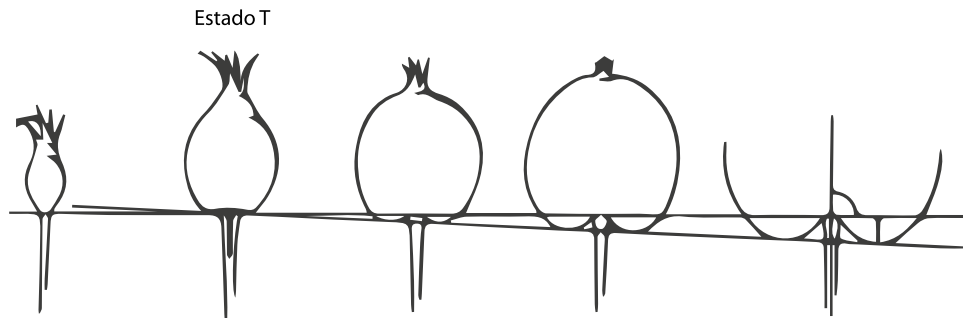


Figura 14. Determinación del Estado T permite definir duración de la división celular. Adaptado de Schumacher, 1989.

División celular

La etapa de división celular es muy dependiente de la temperatura ambiente, por lo que su duración varía de acuerdo a ésta. Así, en temporadas o localidades con temperatura baja durante la división celular, ésta se prolongará, al igual que el período total de crecimiento del fruto, en comparación con temporadas o localidades más cálidas. Se ha propuesto que la división celular correspondería al 25% del total del tiempo que le toma al fruto alcanzar la maduración y cosecha (Faust, 1989).

Durante la división celular se determina el número final de células que tendrá el fruto, así como la constitución de sus componentes intracelulares. Por ello, en forma temprana es posible estimar el efecto del ambiente sobre el calibre potencial que tendrá la fruta a su cosecha, la evolución de su madurez y su comportamiento en almacenamiento refrigerado.

Alta temperatura durante el período de división celular conduciría a obtener frutos de mayor calibre potencial (Stanley *et al.*, 2000; Atkinson *et al.*, 2001), por lo que el ajuste de carga temprano (raleo), en temporadas con primavera cálida es la combinación que promueve el mayor tamaño del fruto (Palmer *et al.*, 2003). Sin embargo, cuando este ambiente es muy cálido, resulta en detrimento de la formación de los componentes celulares que están asociados a la condición de la fruta en su madurez, como la pared y membrana celular, dada por la alta velocidad con que son formados (Tromp, 1997; Warrington *et al.*, 1999).

Estrés ambiental

Posterior a la etapa de división celular, el fruto continúa su crecimiento por elongación de sus células. En este período, el ambiente actúa en forma indirecta. Es necesario temperaturas altas durante el día, para maximizar la fotosíntesis, y bajas por la noche, para reducir la respiración. Sin embargo, un ambiente con temperaturas diarias muy altas y baja HR, propia de los veranos en la zona central de Chile, tiene un efecto negativo en la calidad de la fruta (ver recuadro *»Principales efectos nocivos de alta temperatura y baja humedad relativa en verano«*). En general, aumenta el riesgo de daño por sol en fruta expuesta al sol; se incrementa el riesgo de alteraciones asociadas a déficit de nutrientes, como lenticelosis y *bitter pit*; se puede afectar el calibre y coloración del fruto por reducción de la fotosíntesis y aumento de respiración, agravado en situaciones de déficit hídrico.

Se estima que la planta puede utilizar un 8% de los carbohidratos fijados en la recuperación de sus fotosistemas dañados por el estrés del verano (Corelli-Grappadelli y Morandi, 2012).

PRINCIPALES EFECTOS NOCIVOS DE ALTA TEMPERATURA Y BAJA HUMEDAD RELATIVA EN VERANO

- Cierre de estomas con la consiguiente disminución en la producción de asimilados.
- Mayor daño por sol.
- Reducción del calibre.
- Mayor incidencia de desórdenes fisiológicos asociados a deficiencia de Calcio.
- Menor color.
- Calidad organoléptica retrasada en relación a la madurez fisiológica (al cosechar con desfase a la madurez fisiológica, la fruta pierde potencial de conservación).
- Fruta más blanda.
- Reducción de la vida de postcosecha.
- Menor acumulación de reservas en la planta.
- Disminución de la productividad potencial en la temporada siguiente.

Para cuantificar el estrés atmosférico, esto es, la demanda hídrica del aire, se puede calcular el déficit de presión de vapor (DPV). Éste es la diferencia entre la presión de vapor a saturación (cantidad de agua capaz de sostener) y la presión actual (**Cuadro 4**), siendo dependiente de la temperatura. Un valor más alto indicaría una atmósfera menos saturada, de mayor demanda por agua desde la planta.

De este modo, un DPV muy alto tendrá efectos negativos sobre la fisiología del frutal. Sin embargo, su concepto y cálculo pueden resultar complejos en su aplicación práctica.

Un método de estimación de estas condiciones y de fácil cálculo e interpretación es el índice de estrés (**Cuadro 4**). Éste cuantifica el efecto combinado de temperatura y HR del ambiente en una fórmula simple. La atmósfera resultaría estresante con temperatura del aire a partir de los 10 °C y HR bajo 75%.

Cuadro 4. Métodos para cuantificar el estrés ambiental: Déficit de Presión de Vapor (DPV) e Índice de Estrés.

Variable	Fórmula de cálculo
DPV	$DPV(kPa) = e_s - e_w = e_s \left(1 - \frac{HR}{100} \right)$
	$e_s = \text{EXP} \left(\frac{16.78 \times T_{\text{aire}} - 116.9}{T_{\text{aire}} + 237.3} \right)$
	e_s = presión de vapor a saturación (kPa)
	e_w = presión de vapor parcial (kPa)
Índice de estrés	$\text{Unidades de estrés} = (T_{\text{aire}} - 10) (-0.2 \times HR + 15)$ $T_{\text{aire}}(°C) \geq 10°C \text{ y } HR(\%) \leq 75\%$

Daño por sol

El daño por sol es una alteración en la coloración de la piel del fruto, la que cambia a un tono café de distinto grado, síntoma que puede alcanzar hasta necrosis del tejido (**Foto 13**). Ello ocurre en frutos expuestos directamente al sol, ubicados en la periferia del árbol y, principalmente, en la cara poniente de éste.

A través de la extensa experiencia del Centro de Pomáceas (CP) en daño por sol, se estableció que este problema era especialmente térmico, dado por la exposición a excesiva radiación solar en verano, condiciones predominantes en la zona central de Chile.

El fruto está sometido a un exceso de energía solar, proveniente del calor radiativo directo desde el sol y por transferencia de calor mediante advección, desde la masa de aire circundante.



Foto 13. Frutos de manzano Fuji con diferente grado de daño por sol.

A medida que el fruto va creciendo disminuye su capacidad de refrigeración, al aumentar su volumen en relación a su superficie. A esta condición debe adicionarse una disminución de permeabilidad de la piel del fruto, dado por un aumento de sus ceras y la reducción de su densidad estomática (ahora lenticelas). Es así que un fruto expuesto a la radiación solar directa puede registrar en su superficie hasta 15 °C más que la temperatura del aire (Woolf y Ferguson, 2000; Yuri, 2010). Esta diferencia se acentúa con estrés hídrico (Woolf y Ferguson, 2000). En experiencias con ambiente controlado, piel de frutos de manzano expuestos a radiación solar mostraron una caída de sus sistemas fotosintéticos con temperatura entre 40 y 45 °C (Wand *et al.*, 2008; Hengari *et al.*, 2014). Sin embargo, de acuerdo a las condiciones de campo y tiempo de exposición, esta temperatura puede ser menor. En efecto, frutos con daño por sol en el huerto registran temperatura mayor a 40 °C (Naschitz *et al.*, 2015).

Algunos factores actúan indirectamente, favoreciendo la aparición de síntomas de daño por sol. Así, se han identificado: sensibilidad varietal, edad del fruto, HR del ambiente, velocidad del viento, estado hídrico y nutricional del fruto, cobertura de la copa, sistema de conducción y orientación de la hilera (Yuri *et al.*, 2000; 2004). En base a estos antecedentes, el CP ha propuesto como indicador de condiciones que promueven el daño por sol, días con temperatura del aire sobre 29 °C por cinco o más horas (Yuri, 2010; 2015). Una vez que comienzan a registrarse días con estas condiciones en la temporada, es momento de desplegar las medidas de control, lo que habitualmente sucede a inicios de diciembre, en la zona centro sur de Chile. Como medidas agronómicas para reducir la incidencia del daño por sol se deben considerar los factores previamente expuestos, es decir, aquellos que indirectamente

inciden en la manifestación del daño. Así, es posible intervenir en la elección del cultivar y portainjerto, en el sistema de conducción y la orientación de las hileras. En el caso de la zona central de Chile, una orientación próxima a 60° N-O reduciría el tiempo de exposición de los frutos al sol directo en las horas de mayor temperatura, esto es, alrededor de las 17:00 horas, a mediados de enero.

La simulación de la posición relativa del sol mediante un heliodón permite determinar geográficamente las orientaciones de hilera más adecuadas para determinada situación (**Figura 15**).

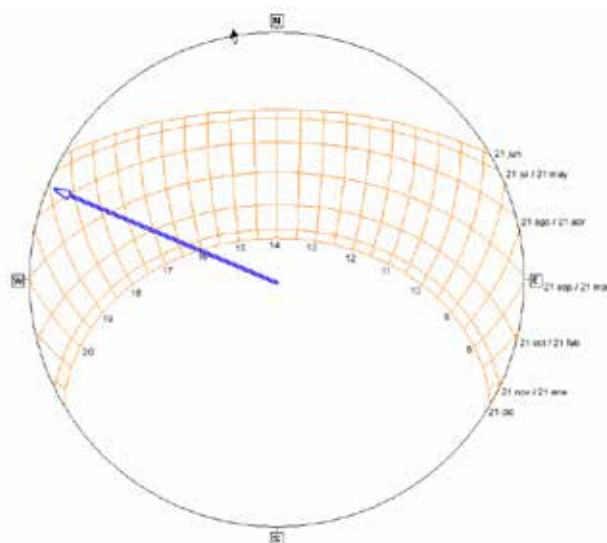


Figura 15. Recorrido aparente del sol durante el día respecto a un sitio en los 35° 30' de L.S. (San Clemente), en diferentes fechas del año. Flecha indica orientación hileras para disminuir riesgo de daño por sol.

Entre los sistemas de control para daño por sol, se cuentan la utilización de malla sombra, aspersión de agua sobre la copa del árbol y la aplicación de productos químicos foliares.

El uso de malla sombra reduce la radiación solar incidente y con ello el exceso de energía solar sobre el fruto (Gindaba y Wand, 2005; Dussi *et al.*, 2005). De acuerdo al material, la trama y el color de la malla, resultará en determinada reducción de radiación en las diferentes regiones del espectro solar (Bastías *et al.*, 2015). Ello se traduce en una disminución de la temperatura máxima y un aumento de la HR mínima diaria, lo que resulta en un ambiente menos estresante bajo la malla (Iglesias y Alegre, 2006; Sepúlveda *et al.*, 2016). Sin embargo, un exceso de sombra será nocivo para el desarrollo del color rojo de la fruta y puede comprometer la inducción floral para la siguiente temporada. Para contrarrestarlo, se ha masificado el uso de cubiertas de suelo reflectantes, para iluminar así el sector bajo e interior de los árboles (**Foto 14**).

En cultivares de manzanos tardíos, más sensibles al daño por sol, como Fuji o Cripps Pink, el Centro de Pomáceas, recomienda el uso de malla monofilamento blanca. Ésta promueve la radiación solar difusa y afecta en menor medida el desarrollo de color.



Foto 14. Malla sombra blanca para controlar daño por sol en manzanos, combinada con reflectantes para mejorar la iluminación de la zona baja del árbol.

El enfriamiento evaporativo mediante riego por aspersión elevado es un sistema de control de daño por sol que, además, incrementa la coloración de la fruta (Parchomchuk y Meheriuk, 1996; Gindaba y Wand, 2005). El agua depositada en el fruto absorbe 540 cal/g al evaporarse, lo que reduce la temperatura del fruto. Sin embargo, y pese a ser muy eficiente en el control del daño, es una práctica poco utilizada, puesto que requiere una pureza del agua muy alta, para evitar el depósito de sales en la piel del fruto y un sistema de aplicación paralelo al del riego. En general, se utilizan aspersores de bajo caudal, de modo de generar una especie de llovizna (**Foto 15**). El sistema se puede accionar en intervalos *on-off* de 5'×15', mientras se mantenga la temperatura del aire sobre 30 °C.



Foto 15. Riego elevado para control de daño por sol en manzanos, mediante enfriamiento evaporativo.

La aplicación de productos en base a partículas reflectantes, tal como caolina (Surround®), carbonatos o compuestos similares, forman una película en la superficie del árbol que bloquea la energía solar incidente sobre hojas y frutos. Si bien reduce el daño por sol, una serie de factores complejizan su uso. Es necesario lograr una cobertura uniforme de los frutos ubicados en la periferia del árbol, para lo cual se requiere de sucesivas aplicaciones, idealmente utilizando una barra elevada (Foto 16). En el huerto, el producto es fácilmente removido por viento o lluvia. Sin embargo, una vez cosechada la fruta, en su procesamiento y embalaje es difícil de quitar, sobre todo aquel que persiste en las cavidades peduncular y calicinal.



Foto 16. Cobertura requerida de productos en base a partículas reflectantes para control de daño por sol (izquierda) y barra elevada para su correcta aplicación (derecha).

Por otro lado, la película depositada en el árbol reduce la temperatura del fruto y hojas, permite el intercambio gaseoso, aumentando la fotosíntesis de las hojas y mejorando la condición general de la planta (Wand *et al.*, 2006; Glenn y Puterka, 2007). Además, su efecto reflectante aumenta la radiación difusa en el árbol. Por dichos beneficios es que estos productos son hoy especialmente demandados para reducir estrés de la planta o mejorar el crecimiento de árboles jóvenes (Foto 17).



Foto 17. Aplicación de partículas reflectantes para reducir estrés de cerezos por exceso de energía solar.

En veranos muy cálidos y secos, se ha registrado una disminución del contenido de ciertos minerales en el fruto. Esto, como resultado de una alta demanda por vapor de agua desde la planta hacia la atmósfera. Así, nutrientes como el Calcio, involucrados en la estructura de componentes celulares del fruto, reducen en mayor medida su contenido en veranos estresantes. En general el Ca, a partir de los 60 DDPF, se diluye entre un 50 y 60% hasta la cosecha, siendo esta dilución mayor en veranos muy calurosos (**Figura 16**).

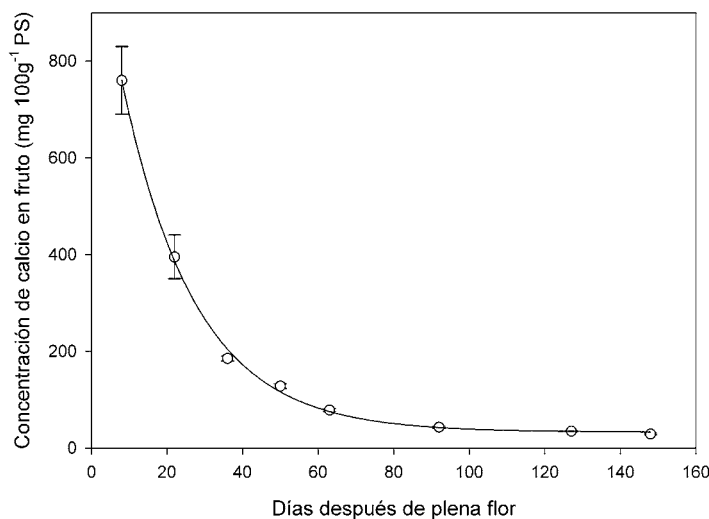


Figura 16. Contenido de Calcio (Ca) en frutos cv. Fuji, durante su crecimiento hasta cosecha.

Maduración

El número de días desde floración a cosecha, así como la acumulación térmica (GD o GDH) en dicho período, puede utilizarse como referencia al momento de definir proyectos de explotación frutícola (Luton y Hamer, 1983). Ello constituye el índice de cosecha primario. En el caso del manzano existe una clara sucesión de cultivares que se pueden establecer para completar una cosecha escalonada (**Cuadro 5**). Sin embargo, clásicos estudios han demostrado la limitada relación entre la cantidad de días desde floración a cosecha y la acumulación térmica en el mismo período, por lo que uno u otro puede utilizarse solamente como una aproximación para explicar el complejo proceso de crecimiento y desarrollo del fruto (Tromp y Wertheim, 2005).

Cuadro 5. Días y Grados Hora de Crecimiento (GDH) entre plena flor e inicio de cosecha de cultivares de manzanos, en las principales zonas productoras de Chile.

Cultivar	Días	GDH
Grupo Gala	122	33.330
Grupo Delicious	152	41.500
Granny Smith	163	45.660
Grupo Fuji	169	47.400
Braeburn	172	47.500
Cripps Pink	187	51.330

Fuente: Yuri *et al.*, 2011b.

Al considerar las condiciones térmicas en el primer mes desde floración, aumenta la certeza en la estimación de la fecha de cosecha, así como del calibre potencial de la manzana (Warrington *et al.*, 1999; Stanley *et al.*, 2000). Las condiciones térmicas temprano en la temporada, mientras ocurre la división celular, controlarían los procesos que determinan el tamaño del fruto y su maduración (Tromp y Wertheim, 2005). Por un lado, baja temperatura en dicho período reduce el tamaño potencial de la fruta a cosecha (Atkinson *et al.*, 2001). Por el otro, la evolución de los índices de madurez se pueden anticipar de acuerdo a las condiciones térmicas en las que los componentes celulares se formaron en la primera etapa de crecimiento del fruto (Tromp, 1997). En temporadas con primaveras más cálidas, los índices de madurez evolucionarán en forma más rápida. En base a ello es posible estimar el tiempo o ventana de cosecha, tempranamente.

A su vez, las condiciones ambientales en el mes previo a la cosecha, una vez que ha comenzado el proceso de maduración, también tienen efecto en la evolución de los índices de madurez. La pérdida de firmeza de pulpa en manzanas es más lenta en huertos producidos en altura, con alta exposición a temperatura bajo 10 °C en su precosecha (Diamantidis *et al.*, 2002; Iglesias *et al.*, 2018). Frutos grandes, propios de ambientes cálidos, son más propensos a caída de firmeza y colapso de la pulpa (*internal breakdown*), durante almacenaje en frío (Lee *et al.*, 2013).

Numerosas alteraciones que aparecen en postcosecha son procesos originados en el huerto. El Calcio es el nutriente más comúnmente asociado a desórdenes de la fruta. En el caso del *bitter pit*, los factores de precosecha que influyen en su incidencia son aquellos que interfieren con el adecuado abastecimiento del elemento a la fruta. Este desorden se desencadena en el huerto y como se asocia a la dinámica del Ca entre el follaje y el fruto, altas temperaturas y estrés hídrico aumentarían el riesgo a desarrollarlo (Watkins, 2003). Por ello, la cuantificación de variables que involucran temperatura y HR, tales como Índice de estrés, temperatura máxima o HR mínima diaria, contribuyen a estimar el riesgo de su aparición.

En el caso de lenticelosis o *lenticel breakdown*, si bien es causado por diversos factores, se ha sugerido que el monitoreo de la temperatura y HR durante el crecimiento del fruto pueden constituir una predicción temprana, que permita manejos preventivos (Tuketti *et al.*, 2012). Esto se basa en que un ambiente estresante, de alta temperatura y baja HR, células sin protección cerosa pueden desecarse y producir suberina (Curry, 2003).

Uno de los desórdenes fisiológicos que se asocia a la baja temperatura de almacenaje, es el escaldado superficial. La reducción de la susceptibilidad a esta alteración estaría relacionada a la exposición de la fruta al frío, lluvia y radiación solar en precosecha (Bramlage y Watkins, 1994; Ferguson *et al.*, 1999). Probablemente, en ambientes fríos se favorezca la síntesis de proteínas asociadas a su tolerancia en el largo plazo.

Desarrollo de color

La síntesis de antocianinas, pigmentos responsables del color rojo de las manzanas, está asociada a exposición de la fruta a la radiación solar (**Foto 18**), especialmente en la región UV-B (Corelli-Grappadelli, 2003), y a episodios de baja temperatura (Curry, 1997). Sin embargo, este proceso es gatillado por la presencia de etileno, por lo que el fruto adquiere el color rojo una vez iniciada su maduración, lo que se estima sucede alrededor de 30 días previo a la cosecha. En este sentido, cualquier manejo orientado a modificar las condiciones ambientales (aumentar radiación solar o reducir temperatura), debe ser realizado en la última etapa de crecimiento del fruto, próximo o durante su cosecha.



Foto 18. Efecto de la exposición a radiación solar directa en la pigmentación roja de manzanas.

La cantidad de exposición de la fruta a baja temperatura en precosecha, dado su efecto sobre la producción de pigmentos en ella, sería una de las principales variables que definen el potencial productivo de determinada zona. Así, localidades con alto registro de horas con temperatura bajo 10 °C en el mes previo y durante la cosecha de manzana, tendrán fruta con mayor cubrimiento de color rojo (**Figura 17**). Eventos de lluvia en este período mejorarían la pigmentación de los frutos al estar asociados a menores temperaturas ambientales, como del fruto. Sin embargo, lluvias estivales podrían tener efectos negativos, como la generación de condiciones para la infección de patógenos (ver recuadro *»Efectos de lluvia en primavera y verano«*).

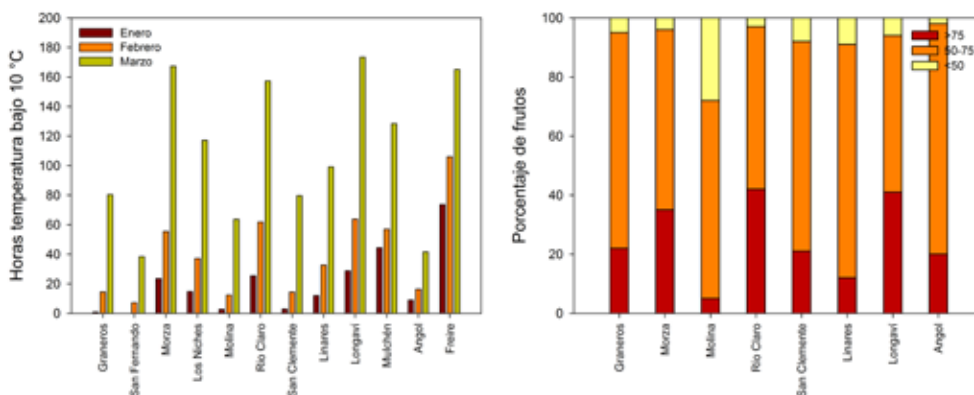


Figura 17. Número de horas con temperatura bajo 10 °C en precosecha (izquierda) y porcentaje de fruta en diferentes categorías de color de Gala (derecha), en distintas zonas productivas de Chile.

EFFECTOS DE LLUVIA EN PRIMAVERA Y VERANO

NEGATIVOS

Aumento de las enfermedades fúngicas y bacterianas, lo que implicará un mayor uso de agroquímicos.

Mayor crecimiento de malezas en los huertos.

Problemas de cuaja con lluvias prolongadas durante la floración, por bajo vuelo de abejas y ruptura de granos de polen.

Efecto más errático de los raleadores químicos.

Lluvias primaverales retrasarían el crecimiento del fruto, afectando su calibre, pudiendo causar un leve retraso en la época de cosecha.

Lluvias primaverales estimularían un mayor crecimiento vegetativo, compitiendo con la adecuada nutrición de la fruta. Esto podría contribuir al desarrollo de posteriores desórdenes fisiológicos en postcosecha.

Partidura de cerezas, cuando éstas alcanzan un cierto grado de madurez (sobre 16 °Brix).

Partidura de otras frutas (ciruelas, incluso manzanas con altos sólidos solubles, como Fuji), por lluvias estivales. Esta partidura es por absorción de agua desde el suelo.

Lluvias estivales podrían provocar mayor daño por sol una vez que la temperatura se eleva, dado la falta de ambientación de la fruta. Ello se ve en la zona sur (por ejemplo en Temuco).

POSITIVOS

Menor requerimiento de riego.

Menos estrés ambiental.

Mejor coloración de la fruta con lluvias tardías.

MONITOREO METEOROLÓGICO

La masividad que ha adquirido el uso de estaciones meteorológicas automáticas en los huertos, así como la penetración y versatilidad de las tecnologías digitales, ha supuesto un cambio sustantivo en las herramientas disponibles en fruticultura. La estación meteorológica automática se ha transformado en una herramienta indispensable para el fruticultor moderno, sobre todo en una época de incertidumbre climática.

En relación a la información meteorológica disponible en forma digital, se destaca el esfuerzo combinado para consolidar la Red Agrometeorológica Nacional (RAN), así como el impulso que ha dado FIA a iniciativas en predicción de heladas (FIA, 2016). Sin embargo, la oportuna interpretación y aplicación agronómica de estas tecnologías continúan siendo un reto. Ello se advierte en la creciente demanda por información, como apoyo para tomar decisiones a nivel de huerto.

Estación meteorológica automática

El correcto uso de la estación, necesario para obtener un registro confiable de las variables meteorológicas, involucra una instalación adecuada y mantenimiento periódico.

La estación consta de dos partes: el trípode que contiene los sensores meteorológicos, instalados a la intemperie, y la consola que recibe y almacena los registros. Esta última se ubica en un recinto cerrado (oficina o bodega), alimentada con energía eléctrica, y es el componente que se conecta a un computador para descargar los datos registrados por los sensores. Estas estaciones almacenan una cantidad limitada de datos, dependiendo del intervalo de archivo o frecuencia de registro configurada. Lo más usual es que sea cada 15 minutos, con la que la autonomía de la memoria puede llegar a 20 días. Por esta razón, resulta recomendable hacer una descarga frecuente de los datos, al menos semanalmente. Esta frecuencia de descarga recomendada es útil para detectar problemas de comunicación o lectura de registros, y así resolverlos con premura.

Los instrumentos meteorológicos que contiene la estación (**Foto 19**), son:

- › Caseta con sensor de temperatura/humedad.
- › Pluviómetro, constituido por un receptáculo y un balancín.
- › Piranómetro o radiómetro, que corresponde a un sensor de radiación solar total.
- › Anemómetro y veleta, para registro de velocidad y dirección del viento, respectivamente.

Como sensores adicionales, se cuentan el de radiación UV y el de humedad de hoja. Este último corresponde a una placa que simula una hoja y registra la presencia de agua libre sobre ella, en base a una escala referencial. No entrega un pronóstico automático de tiempo de infección de *Venturia* (*Venturia inaequalis*), hongo causante de la sarna, pero sí un reporte de cantidad de horas sobre un determinado umbral de mojado y temperatura. Con ello, es necesario un cálculo extra para obtener la estimación de infección.



Foto 19. Estación meteorológica automática, partes y sensores.

La instalación de la estación debe responder a diversas consideraciones técnicas. Por un lado, la ubicación de ésta debe corresponder a un sector representativo del huerto y libre de obstáculos, que puedan comprometer las lecturas de radiación solar, lluvia y viento. Debe situarse, idealmente, sobre una cubierta de pasto. La caseta de temperatura/humedad debe ubicarse a una altura de 1.5 metros desde el suelo y la veleta apuntando hacia el sur. Sin embargo, no debe instalarse a más de 50 metros del lugar donde quedará la consola, que recibe la señal con los datos desde la estación.

El mantenimiento de la estación debe contemplar al menos dos limpiezas al año. El polvo acumulado puede causar errores de lectura, por lo que se debe remover. Es muy común que en otoño se acumulen restos de hojas en el receptáculo del pluviómetro, que impiden el paso de agua hacia el balancín de registro, por lo que es una buena época para realizar una limpieza. La estación se puede desarmar para este propósito (**Foto 20**). Las partes más delicadas, como los sensores, no deben ser mojadas, siendo mejor limpiarlas con un cepillo o una pequeña brocha.



Foto 20. Desarme para limpieza de la estación meteorológica.

Información agrometeorológica en línea

En Chile, la información meteorológica en línea, de importancia prioritaria para la agricultura, ha convergido en la RAN, coordinada por el Ministerio de Agricultura. Ésta concentra información de diversas redes meteorológicas existentes (DMC, INIA, FDF, entre otras), sumando más de 400 unidades monitoreadas. Sin embargo, cada red opera en forma particular.

Un caso como ejemplo es la Red Agroclimática de INIA. Ésta, se revitalizó a partir de 2009 con el aumento de las localidades monitoreadas con estaciones automáticas e incorporando redes de otras instituciones. En la actualidad se cuenta con 260 estaciones activas.

Cada estación de la red INIA entrega datos meteorológicos en tiempo real. La información se canaliza a través de su plataforma online. En dicho soporte es posible consultar diversos indicadores meteorológicos de interés agroclimático, tales como: Evapotranspiración PM (método Penman Monteith, recomendado por FAO), Horas de Frío, Índice de Estrés Térmico, Grados Día, Tizón Tardío (la red se originó para entregar un alerta sobre el tizón tardío en papa). Además, es posible ir construyendo el historial de cada estación, el que ha permitido obtener y analizar tendencias en las localidades con más años de registro. Con los datos que se van generando se busca cubrir la demanda por información agroclimática de los distintos usuarios, a través de diferentes niveles de análisis, en una interacción temporal y territorial. Así, en un nivel estacional y local, se apoya al productor con información de utilidad diaria y con alertas tempranas. En el extremo macro, se analizan tendencias regionales, que resultan de interés en la planificación territorial.

Las estaciones meteorológicas son herramientas que permiten monitorear una localidad. A su vez, el sistema de alerta temprana utiliza este monitoreo para convertirse en una herramienta de decisión. Estos sistemas tienen como finalidad apoyar la toma de decisiones para mitigar

posibles daños dados por la situación agroclimática y se caracterizan por cumplir con los siguientes criterios:

- › El daño del evento tiene alta probabilidad de ser elevado.
- › Se busca anticipar una medida de manejo para minimizar el daño.
- › Existe un período muy limitado para tomar medidas.
- › Se “empuja” la información a los usuarios.
- › Los usuarios finales deben saber qué hacer con la información.

Plataforma agroclimática para pomáceas

El Centro de Pomáceas ha mantenido una red de estaciones meteorológicas, propias o de los productores asociados, a fin de relacionar los principales factores productivos (condición y calidad de la fruta), con las variables climáticas imperantes. Esta información es transferida al sector frutícola a través de informativos agroclimáticos, en las Reuniones Técnicas, así como mediante reportes periódicos durante la temporada.

En la actualidad esta información se puede consultar en la plataforma IKAROS, alojada en el sitio *web* del CP: <http://pomaceas.otalca.cl/> (**Foto 21**). Ésta, corresponde a un sistema de alerta temprana que permite al fruticultor consultar datos procesados a partir de los registros meteorológicos de una estación en particular, de acuerdo a indicadores de interés para la producción de manzanas. Incluye los antecedentes nutricionales de fruto temprano y a cosecha, de cada cuartel del huerto. De este modo, se pueden tomar decisiones basadas en cuantificaciones de variables climáticas y nutricionales, orientadas a la producción de fruta de alta calidad.



Foto 21. La plataforma digital IKAROS integra información meteorológica y nutricional para ofrecer estimaciones en línea de la calidad y condición con que la manzana se obtendrá a cosecha.

En la construcción de este soporte *web*, se incluyeron los principales aspectos de calidad de la producción de manzana para exportación, que son determinados por el clima y sobre los cuales fue posible establecer criterios para desarrollar indicadores (ver INDICADORES AGROCLIMÁTICOS PARA MANZANAS). El cultivar modelo fue Gala, que con su cosecha temprana marca la tendencia de la temporada. Además, es un cultivar que responde notoriamente a las condiciones ambientales, especialmente a la temperatura. Entre los indicadores destacan: estimación de calibre, fecha y ventana de cosecha, y potencial de vida postcosecha en Gala; alteraciones de piel, daño por sol y desarrollo de color rojo en Fuji y Cripps Pink.

Para la consulta de la plataforma, se consideró dos tipos de usuario:

- › General: Por cada estación incorporada se ofrece un nivel de información general, con los datos sin procesamiento, proveniente del sector monitoreado.
- › Suscrito: A través de una membresía se tiene acceso al nivel de consulta interactivo. Éste, permite al usuario la gestión de distintos cuarteles frutales asociados a determinada estación meteorológica, con distintas opciones de consulta. Por un lado, variables agrometeorológicas, es decir, aquellas de utilidad agronómica. Por otro, indicadores de calidad y reportes de variables relevantes en determinado momento en la temporada, climáticas y nutricionales, con las observaciones y orientaciones pertinentes.

Como la plataforma contiene y ofrece información de cada usuario en particular, al momento de consulta, éste debe cargar el sistema con los datos de la estación meteorológica del huerto. Esto se realiza a través de un archivo de texto exportado desde la estación. Así también, para obtener los indicadores, el usuario debe incluir antecedentes propios del huerto, necesario para que marche cada modelo. La interpretación agronómica del efecto del ambiente en los resultados productivos ha adquirido relevancia en temporadas con condiciones meteorológicas extremas, así también, en la evaluación de potenciales nuevos proyectos productivos.

El nombre IKAROS hace referencia al personaje de la mitología griega, que haciendo caso omiso se acerca demasiado al sol, lo que se vuelve su perdición. Pone de manifiesto la importancia del sol sobre nuestros quehaceres. En fruticultura puede ser aliado o enemigo. La **Figura 18** corresponde al logotipo desarrollado para la plataforma, que incluye al personaje mitológico.



Figura 18. Logotipo de la plataforma IKAROS.

INDICADORES AGROCLIMÁTICOS PARA MANZANAS

En base al efecto de ciertas variables agroclimáticas en un período de tiempo determinado y los análisis mineralógicos, es posible estimar aspectos de calidad y condición que la fruta tendrá a la cosecha. Así, se pueden dar señales de alerta al fruticultor, que le permita tomar decisiones oportunas frente a la creciente incertidumbre climática.

Durante el crecimiento del fruto, serían dos los períodos críticos, por su efecto sobre la condición y calidad futura de la fruta: el ambiente predominante durante la etapa de división celular y aquel previo a la cosecha, en el verano (**Figura 19**).

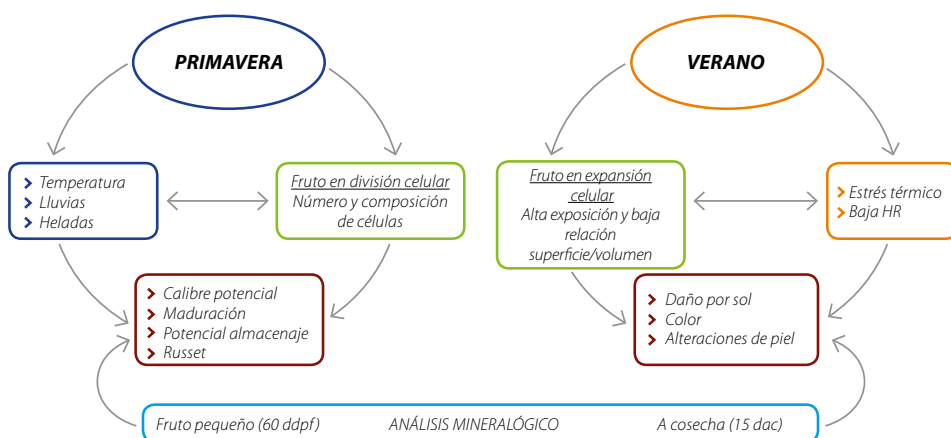


Figura 19. Diagrama de efecto del ambiente sobre aspectos de condición y calidad de manzanas. Donde, ddpf: días después de plena flor; dac: días antes de cosecha.

Un aspecto relevante es el ambiente en primavera, durante la etapa de crecimiento del fruto por división celular. Las variaciones entre las temporadas monitoreadas, han permitido comprobar su importancia en la maduración de la fruta, principalmente del grupo de las Galas, el cultivar más producido en Chile, y primero en cosecharse. Esto último adquiere relevancia al convertirse en indicador del pulso de la temporada para el resto de los cultivares, cosechados más tarde.

Algunos aspectos de condición y calidad son determinados durante la división celular, especialmente en respuesta a la temperatura imperante. Se ha identificado una alta correlación entre la acumulación térmica en los 30 DDPF y el inicio de cosecha de Gala (**Figura 20**). Ello, permite establecer tempranamente estrategias de recolección.

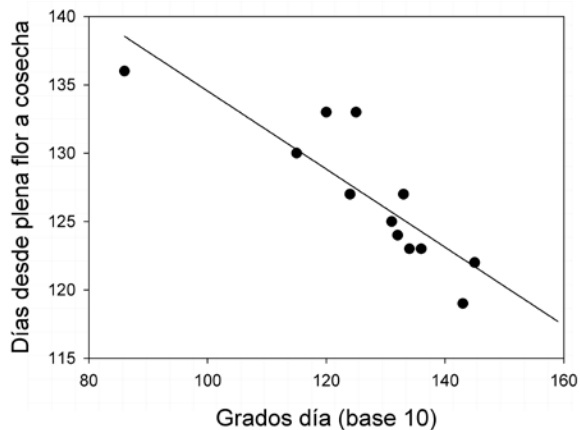


Figura 20. Curva de respuesta entre Grados Día acumulados los primeros 30 días después de plena flor (DDPF) y fecha inicio de cosecha de Gala. $R=0.74$.

Como indicador del potencial de guarda en postcosecha de la manzana, se propuso un rango óptimo de temperatura en división celular (**Figura 21**), estimado entre 13.5 y 14.5 °C. En un rango de temperatura inferior se registra un alto número de localidades y temporadas, lo que sugiere un nivel sub-óptimo (12.5-13.5 °C). Temperatura ambiental fuera de este rango tendría un efecto negativo sobre la futura calidad y condición de la fruta. Así, temperatura del aire bajo 12 °C reduciría el calibre potencial a cosecha, en tanto que con temperatura más alta, sobre 15 °C, se estima que se reduciría la ventana de cosecha y el potencial de almacenaje, con mayor incidencia de desórdenes de postcosecha. Es un dato clave especialmente para Gala, puesto que es el primer cultivar en cosecharse y su maduración o ventana de cosecha, es menos manejable en el tiempo.

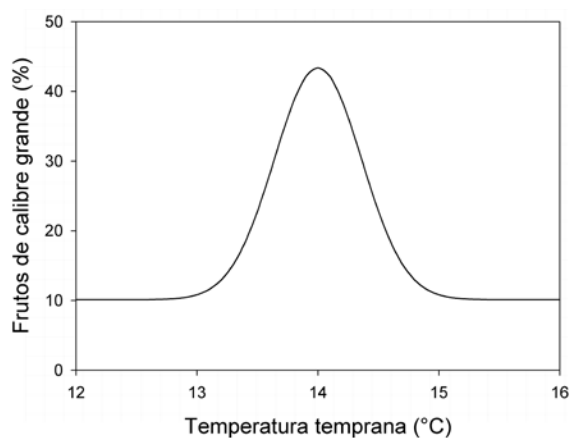


Figura 21. Rango óptimo de temperatura durante división celular. En ambiente más frío se compromete el tamaño de la fruta y en ambiente más cálido se reduce la ventana de cosecha y la vida de postcosecha.

En relación al daño por sol, la variable que mejor representó la incidencia de frutos con daño por sol, descartables de exportación, fue la acumulación de días de riesgo de daño, establecido éste como un día con cinco o más horas continuas en que la temperatura del aire estuvo por sobre los 29 °C, durante los meses de verano (diciembre a marzo).

En Fuji y Cripps Pink, cultivares altamente sensibles al daño por sol, se encontró un ajuste entre los días de riesgo y la incidencia del daño (**Figura 22**). Con este indicador, sería posible estimar el daño a cosecha, lo que podría ser útil en segregación de fruta, estrategias de mercado o de cosecha. A largo plazo, ayudaría a definir medidas, tales como cambio de cultivares o instalación de sistemas de reducción de estrés (malla sombra o riego elevado).

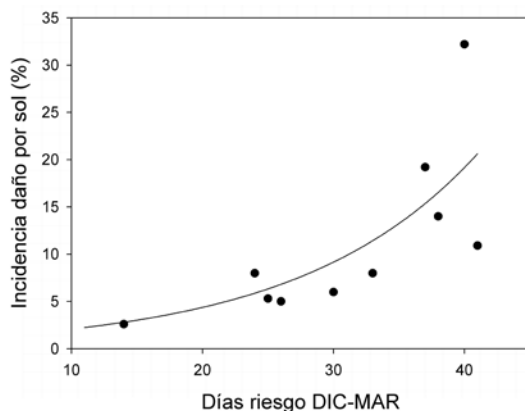


Figura 22. Incidencia de daño por sol y número de días de riesgo (días con más de 5 horas con temperatura sobre 29 °C), entre diciembre y marzo, para Fuji.

Si bien, para la estimación específica de alteraciones asociadas a déficit de Calcio, tales como lenticelosis y *bitter pit*, no se ha detectado una relación robusta entre su incidencia y variables agroclimáticas, se ha descrito un efecto varietal y nutricional, combinado con las condiciones meteorológicas preponderantes. Así, las condiciones para mayor riesgo estarían dadas por cultivares sensibles y con un contenido de Ca en la pulpa menor a 5.5 mg/100g (**Figura 23**), potenciadas por un verano cálido y estresante.

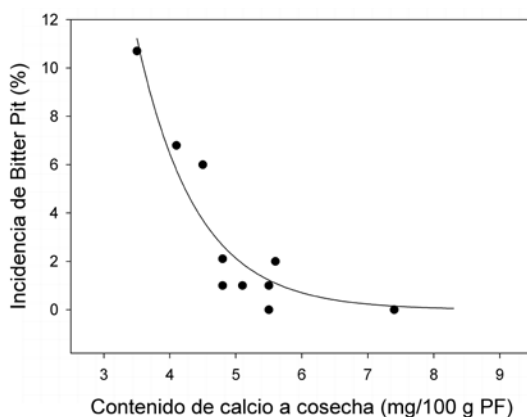


Figura 23. Incidencia de *bitter pit* en relación al contenido de Calcio en cosecha de manzanas.

Los indicadores agroclimáticos descritos, y que forman parte de la plataforma digital IKAROS, se resumen en el **Cuadro 6**. Los valores umbrales propuestos están sujetos a ajustes de acuerdo a las condiciones particulares de las diferentes localidades productoras.

Cuadro 6. Indicadores agroclimáticos propuestos en plataforma IKAROS para pomáceas.

Factor productivo o condición	Variable agroclimática	Período	Cultivares sensibles	Indicador			
Estimación inicio de cosecha	Temperatura media	División celular	Galas	Curva respuesta			
	GDH						
Estimación ventana de cosecha	GD 10	División celular	Tempranas	Curva respuesta			
	Temperatura media						
	GDH						
Potencial de calibre	GD 10	División celular	Todas	Curva respuesta			
	Temperatura media						
Potencial de almacenaje	GDH	División celular	Todas	Óptimo 13.5 -14.5 °C			
	Temperatura media						
	Índice de estrés				Verano (dic-ene)	< 65.000 Tempranas	
					Verano (dic-mar)	< 120.000 Tardías	
Desarrollo de color	Índice nutricional	División celular	Cosecha	<2			
	Nº horas bajo 10 °C				Maduración	Bicolores	>20 Temprano
	Nº días con 5 h bajo 10 °C						>10 Tardías
Daño por sol	Nº días con 5 h sobre 29 °C	Verano	Tardías	>20			
	Nº horas sobre 29 °C			>150			
Russet	Nº horas bajo 7 °C	División celular	Fujis	>80			
	HR mínima			>50%			
	Nº horas bajo 0 °C			<1			
Bitter pit	Índice de estrés	Verano (dic-mar)	Tardías	>150.000			
	Nº días con 5 h sobre 29 °C			>40			
	Índice nutricional			>1			
Lenticelosis	Índice de estrés	Verano (dic-ene)	Tempranas	>90.000			
	Nº días con 5 h sobre 29 °C			>25			
	Índice nutricional			>2			

MEDICIONES ECOFISIOLÓGICAS

En la actualidad se dispone de equipamiento *ad hoc* para caracterizar el ambiente en el cual crece la planta y evaluar su desempeño en ese medio. Para ello, se pueden realizar mediciones fisiológicas que detecten estrés, a fin de cuantificar la eficiencia productiva del árbol.

Radiación solar

Dependiendo de la intensidad y longitud de onda del espectro, la exposición a la radiación solar puede tener impactos positivos o negativos en la planta.

La Radiación UV contiene alta carga energética y puede causar mutaciones o daños a los componentes celulares. La planta se defiende de estas radiaciones nocivas sintetizando compuestos que la filtran, como los polifenoles.

La Radiación Visible es absorbida por diferentes pigmentos (clorofilas, carotenos), que la planta utiliza para sintetizar carbohidratos. Por este motivo, la Radiación Fotosintéticamente Activa coincide con este rango espectral. Así, la cuantificación de la PAR (Photosynthetic Active Radiation), estaría muy relacionada con producción potencial de biomasa.

La Radiación en el Rojo y Rojo Lejano regula procesos fisiológicos como el fotoperíodo. La Radiación Infrarroja, por su lado, es responsable del calentamiento de los tejidos y principal causante del daño por sol en el fruto.

Existen diversos equipos que cuantifican la radiación solar incidente (**Foto 22**), los que varían en su espectro de integración. Así, se cuenta con sensores radiómetros o piranómetros que registran radiación solar total, en las diferentes regiones de la UV y sensores de quantum que miden PAR. También, están los equipos que integran varios sensores, como el ceptómetro, que mide PAR en base a una serie de sensores ubicados en una barra y el espectrorradiómetro, que cuantifica en forma diferenciada la radiación incidente de cada longitud de onda.



Foto 22. Radiómetros de radiación solar total y PAR (izquierda) y ceptometro (derecha).

Temperatura

Principal factor que interviene en los procesos fisiológicos de la planta. El frutal caduco necesita un período de frío invernal y uno de calor para el desarrollo y maduración de sus frutos. Sin embargo, alta temperatura asociada a baja HR, promueven mermas productivas y deterioro de la calidad de la fruta. El daño por sol se desarrolla en condiciones de veranos cálidos y secos, propios de la zona central de Chile, y afecta los frutos directamente expuestos al sol.

Diversos tipos de termómetros y cámaras termográficas son utilizados en estudios de fruticultura (**Foto 23**). El Índice de Estrés Hídrico del fruto, estimado con termografía ha mostrado alta relación con el desarrollo de daño por sol en el fruto (Torres *et al.*, 2016).



Foto 23. Medición de temperatura del fruto con cámara termográfica.

Intercambio de gases y fotosíntesis

El Sistema Medidor de Fotosíntesis o Analizador de Gases en el Infra Rojo, permite estimar el intercambio gaseoso de la hoja con el medio. El IRGA (Infra Red Gas Analyzer), se basa en diferencias detectadas en las concentraciones de H_2O y CO_2 entre la hoja y una muestra de referencia (aire a través de una sonda o botella con gas comprimido), para cuantificar las tasas de transpiración y asimilación neta de carbón o fotosíntesis.

Es posible medir el intercambio de gases de una hoja o del árbol completo (**Foto 24**). La versión portátil posee una lámpara que permite controlar la PAR incidente sobre la hoja. Así, se puede construir su curva de respuesta a la luz (**Figura 24**). Ésta, es de tipo asintótico y sus parámetros representan: la respiración oscura (tasa de fotosíntesis sin luz); el punto de compensación de la luz (PAR a la cual la tasa de fotosíntesis y de respiración son nulas); y el punto de saturación (PAR a la cual la tasa de fotosíntesis es máxima).



Foto 24. Medición del intercambio de gases de la hoja (izquierda) y del árbol completo (derecha, Gentileza Dr. D.M. Glenn).

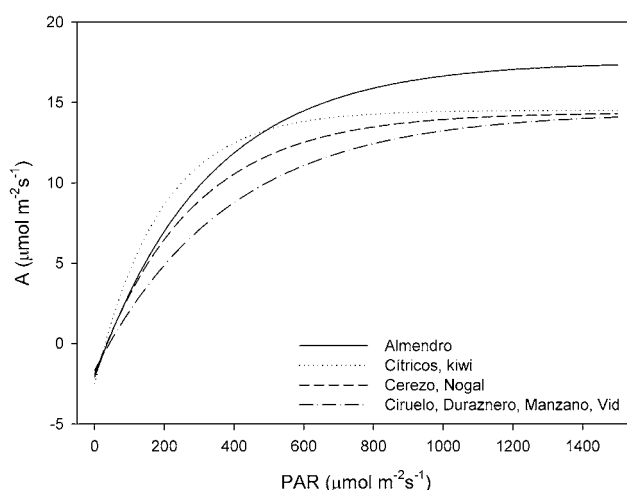


Figura 24. Tasa fotosintética o asimilación neta de CO_2 de acuerdo a la radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente para diferentes especies frutales. Adaptado de Faust, 1989.

Contenido de clorofila

Con el medidor de clorofila SPAD y el DA-meter es posible estimar el contenido de clorofila de la hoja con el primero, y del fruto con el segundo, a través de mediciones rápidas y no destructivas (**Foto 25**). El Índice SPAD, puede asociarse a deficiencias de clorofila y nitrógeno, las que pueden causar una reducción del rendimiento fotosintético. El Índice DA (Delta Absorbance), por otro lado, detecta cambios en la clorofila de la piel del fruto, por lo que es una técnica utilizada en el monitoreo de la maduración de éste (Nyasordzi *et al.*, 2013). Sin embargo, podría tener potencial uso en estudios de alteraciones que involucren degradación de clorofila, como el daño por sol.



Foto 25. Medidores de clorofila SPAD (izquierda) y DA-meter (derecha).

Fluorescencia de la clorofila

La energía solar que incide en la hoja tiene tres posibles vías: 1) es utilizada en el transporte de electrones para la síntesis de carbohidratos; 2) es disipada como calor y 3) es reemitida en una longitud de onda mayor, como fluorescencia. Estas tres vías son interdependientes, por lo que cuando el fotosistema sufre algún estrés y reduce su eficiencia, aumenta la fluorescencia emitida. Esta técnica ha sido utilizada como herramienta para detectar tempranamente estrés en tejidos que puedan traducirse en alteraciones, como daño por sol (Torres *et al.*, 2016; Wünsche *et al.*, 2001).

El equipo diseñado para cuantificarla corresponde a un fluorómetro, el que funciona emitiendo un haz de luz de saturación al tejido vegetal, al tiempo que detecta la fluorescencia radiada por éste, evidenciando el estado del fotosistema. La eficiencia máxima del fotosistema se mide con el índice F_v/F_m y para obtenerlo se requiere que la hoja reduzca su actividad fotosintética al mínimo antes de aplicar el haz de luz a saturación. Esto se logra ambientándola a oscuridad con el uso de clips diseñados para ello (**Foto 26**).



Foto 26. Ambientación de hoja (izquierda) y fruto (derecha), utilizando clips especiales para medición de la eficiencia fotosintética máxima (F_v/F_m), a través de la emisión de fluorescencia de la clorofila.

Existen varios tipos de fluorómetros, para medir el estado del fotosistema tanto de hojas como de frutos, incluidos los que captan una imagen, similar a una cámara termográfica (**Foto 27**).



Foto 27. Diferentes tipos de fluorómetros.

Potencial hídrico

Utilizando una cámara de presión, conocida como Bomba de Scholander, es posible estimar el potencial hídrico de la hoja. La medición se realiza colocando una hoja en la cámara, a la cual se le introduce N_2 hasta que se libere agua por el pecíolo, al igualarse las presiones de la hoja y el medio (**Figura 25**).

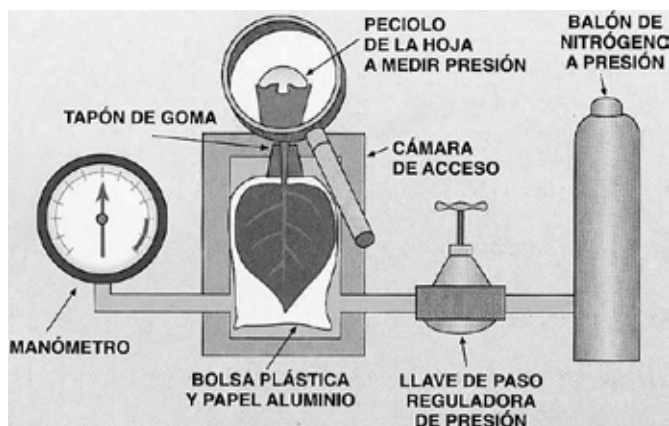


Figura 25. Esquema de funcionamiento de la Bomba de Scholander, para medición de potencial hídrico.

En frutales se pueden hacer tres tipos de mediciones de potencial hídrico, que representan situaciones en particular: el potencial de hoja, de la planta o xilemático y el potencial de suelo o *predawn*. El potencial de hoja se realiza haciendo una lectura directa, colocando una hoja en la cámara de la Bomba de Scholander. Sin embargo, ésta ofrece una limitada interpretación fisiológica, puesto que representa solamente el estado momentáneo de la hoja evaluada.

Por el contrario, el potencial xilemático es indicativo del estado del árbol y no de una hoja o un sector específico de la planta. Para establecerlo se debe sellar una hoja y oscurecerla, idealmente con papel aluminio para no aumentar su temperatura, durante dos horas. Transcurrido ese tiempo, se efectúa la medición insertando la hoja en la cámara (Foto 28). Para normalizar la lectura, este procedimiento se realiza al mediodía, puesto que el potencial hídrico varía con el DPV de la atmósfera. De este modo, es el indicador más utilizado para estimar estrés hídrico en frutales.



Foto 28. Ambientación de hoja para medición de potencial hídrico xilemático y su lectura con Bomba de Scholander.

El potencial hídrico del suelo también puede determinarse a través de Bomba de Scholander. Para ello, se realiza la medición de la hoja antes que amanezca, por lo que también se conoce como *predawn*. Esta medición no requiere una ambientación de la hoja, puesto que toda la planta se encuentra en un equilibrio hídrico con el suelo, dado por la ausencia de demanda atmosférica durante la noche. Esta medición se realiza para definir igualdad de condiciones en la evaluación de algún factor que altere el potencial hídrico de la planta.

En general, se han descrito valores entre -0.5 y -1.0 MPa de potencial xilemático, dependiendo del DPV, para la mayoría de las especies frutales en condiciones de riego adecuado o frecuente (Shackel *et al.*, 1997). Frutales como el manzano son altamente sensibles a potenciales hídricos menores a estos valores referenciales, afectándose sus procesos fisiológicos, como la fotosíntesis, en condiciones de riego deficitario (Naor *et al.*, 2008; De Swaef *et al.*, 2009; Lopez *et al.*, 2018). El uso de malla sombra reduce la demanda atmosférica y con ello el potencial hídrico de la planta (Lopez *et al.*, 2018), por lo que podría utilizarse como estrategia para reducir el riego en verano.

Monitoreo del fruto

Utilizando un dendrómetro modificado (**Foto 29**), es posible realizar un seguimiento del crecimiento del fruto a una escala de tiempo muy ajustada. El desafío de la fruticultura es evolucionar a un monitoreo más preciso, de modo de detectar variaciones que la planta va experimentando de acuerdo a las condiciones ambientales a que está siendo expuesta. Por ejemplo, se han registrado cambios en el metabolismo secundario (sistema de defensa bioquímica de la planta), a medida que el fruto se expone a radiación solar intensa (Sepúlveda, 2016). Así, se han observado variaciones diarias de crecimiento y contracción del fruto, en diferentes especies frutales (Corelli-Grappadelli y Morandi, 2012).

El dendrómetro de fruta funciona en base a un potenciómetro en contacto con el fruto en su zona ecuatorial, de manera de registrar cambios en su diámetro. El dispositivo transmite una señal electrónica a un *datalogger* conectado a él. Si bien, es un sistema costoso, se puede construir adquiriendo las partes por separado (Morandi *et al.*, 2007).



Foto 29. Dendrómetro modificado para medir variaciones diarias en el crecimiento del fruto.

Monitoreo con imágenes

Un monitoreo a través de imágenes puede ser realizado con una cámara óptica *Time-Lapse* (**Foto 30**). Ésta permite un registro a diferentes intervalos de tiempo y durante un extenso período de días. Está diseñada para ser instalada en la intemperie. En el huerto hay que cuidarla de las diferentes aplicaciones de agroquímicos que van ensuciando su lente objetivo, con lo que las imágenes adquiridas pueden perder nitidez. Con las imágenes obtenidas se puede realizar una película que muestre en un corto tiempo una secuencia amplia de imágenes de un mismo objeto o punto.

Es una herramienta versátil, pudiendo aplicarse para un amplio tipo de procesos o fenómenos. Podría tener un potencial uso cuando se requiera un registro más preciso de la fenología de las yemas (**Foto 31**), o para detectar la actividad de abejas en el huerto.



Foto 30. Cámara *Time-Lapse* instalada en huerto.



Foto 31. Imágenes captadas durante floración con cámara *Time-Lapse*.

COBERTORES Y REFLECTANTES

En la zona central de Chile, durante las últimas temporadas se han utilizado comercialmente techos cobertores de diversos materiales, a fin de proteger los frutos de condiciones climáticas adversas. Es así que la malla sombra es empleada para control de daño por sol, al reducir la energía solar incidente en manzanas (Gindaba y Wand, 2005; Dussi *et al.*, 2005). En cerezos se utilizan cobertores antilluvia para reducir pérdidas por partidura de la fruta (Vittrup Christensen, 1996).

Los principales tipos de mallas usadas en Chile son monofilamento (antigranizo) y Raschel. El cobertor antilluvia suele ser de rafia (polietileno de alta densidad). En cerezos también se utiliza el macro túnel de cobertura plástica, que además de disminuir la partidura de cerezas, promueve el crecimiento y adelanta la maduración de la fruta.

Por otro lado, es cada vez más común el uso de cubiertas de suelo reflectantes en los huertos. Éstas permiten redirigir la radiación solar a la parte baja de los árboles y así aumentar el color de la fruta (Meinhold *et al.*, 2011). En algunos casos se utilizan en huertos con techo cobertor para contrarrestar el efecto sombra de éste. Existen dos tipos principales de reflectantes: la cubierta tejida que se extiende sobre la calle (entre hileras) del huerto (Extenday®, Lumilys®, entre otros); y la película aluminada que se sitúa a ambos lados sobre la hilera de plantación (ColorUp®, ReflexSol®, entre otros). El primer grupo lo constituyen materiales reutilizables, de prolongada vida útil (condiciones locales de alta radiación solar, presencia de polvo e incluso barro la reducirían a 3 ó 4 años), mientras que el segundo se compone de una película fina de un solo uso.

El uso de cobertores y reflectantes se ha transformado en una herramienta efectiva y cada vez más selectiva para reducir el estrés ambiental, puesto que en la actualidad se cuenta con una amplia oferta de materiales, diversas tramas, colores, dimensionados y costos. Sin embargo, la modificación del ambiente producida por ellos podría alterar otros factores productivos.

Las propiedades de transmisión de radiación solar se pueden comprobar midiendo la luz incidente bajo el material (**Foto 32**). La radiación transmitida por los cobertores, mallas y rafias más utilizados, no se corresponde con el porcentaje de trama de los tejidos. Ésta es habitual y erróneamente considerada como la proporción de sombra. Entre mallas evaluadas en el Centro de Pomáceas, solamente en la malla negra, el filtro en la radiación fotosintéticamente activa (PAR) se asemejó al de la trama (**Cuadro 7**). Las mallas medidas fueron monocromáticas, por lo que no hubo variaciones significativas en el espectro transmitido, detectado a través de un espectrorradiómetro.



Foto 32. Medición de la transmisión de radiación solar de mallas utilizadas en fruticultura.

Cuadro 7. Porcentaje de radiación fotosintéticamente activa (PAR) filtrada por diferentes cobertores utilizados en fruticultura (mallas y cobertores antilluvia).

Material	Trama		Color			
	(%)	Blanco	Cristal	Gris	Negro	--
Malla monofilamento	18	5.8	14.1	19.0	22.9	
Malla Raschel	35	21.0			48.9	
	50			39.6	52.7	
	80	37.6			82.4	
Rafia simple	--					24.1
Rafia doble	--					27.4

En un huerto de la zona de San Clemente, Región del Maule, se caracterizó el ambiente bajo malla sombra, evaluando la monofilamento gris 18% y Raschel gris 50%, respecto a la radiación solar incidente bajo éstas y su porcentaje de transmisión. El mayor filtro se detectó bajo malla Raschel, en la región UV-B del espectro (**Cuadro 8**). Ello concuerda con el efecto negativo de la sombra observado en el desarrollo de color de la fruta. La síntesis de antocianinas, pigmento responsable de la coloración roja de cubrimiento, es estimulada por baja temperatura y radiación solar directa, con su máximo de absorción en 312 nm, bajo la región UV-B.

Cuadro 8. Porcentaje de radiación solar incidente y transmitida bajo malla sombra en un huerto comercial.

Condición	Radiación solar incidente			Transmisión (%)		
	Total (W m ⁻²)	PAR (μmol m ⁻² s ⁻¹)	UV-B (μW cm ⁻²)	Total	PAR	UV-B
Control sin malla	932	1.768	21.3	100	100	100
Malla monofilamento gris 18	820	1.478	15.1	88	84	71
Malla Raschel gris 50	594	1.030	10.5	64	58	49

También se cuantificaron las propiedades de las cubiertas reflectantes de suelo utilizadas en huertos para mejorar la iluminación bajo el árbol. Las más empleadas son la película aluminada (ColorUp® y ReflexSol®) y la cubierta tejida (Extenday®; **Foto 33**). Las propiedades reflectantes de los materiales en el huerto también pueden variar de acuerdo a las distintas regiones del espectro de radiación. El **Cuadro 9** muestra el albedo de la PAR, para los diferentes reflectantes. Éste fluctuó entre un 10 y 14%; sin embargo, dicho porcentaje varía significativamente dependiendo del estado de uso del material. En el caso de las películas aluminadas, desechables, deben desplegarse entre 2 y 4 semanas antes de cosecha, puesto que bajo las condiciones de la mayoría de los huertos, éstas rápidamente perderían sus propiedades reflectantes (polvo, barro, hojarasca). Debe tenerse en cuenta que, a un metro de altura, una lámina nueva puede reflejar más de un 30% de la radiación UV-B que incide sobre ella. Sin embargo, con el tiempo reduce su albedo a menos de la mitad.



Foto 33. Lámina aluminada (izquierda) y cubierta tejida (derecha), dispuestos en el suelo para aumentar iluminación en el sector bajo del árbol.

Cuadro 9. Radiación fotosintéticamente activa incidente y reflejada por cubiertas reflectantes en el huerto.

Cubierta	Incidente ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Reflejada ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Porcentaje reflejado
Suelo	1.729	65	3.8
Pasto	1.893	103	5.4
Extenday®	1.648	173	10.5
ReflexSol®	1.799	229	12.7

Otra decisión que debe tenerse en cuenta es la ubicación de las cubiertas. Dado por el ángulo de reflejo de la luz (efecto espejo), la película aluminada tiene mejor desempeño instalada en la sobre hilera, a ambos lados del eje de los árboles. Extenday®, por su parte, está diseñado para ser ubicado entre las hileras, dado que genera una gran cantidad de luz difusa (similar al efecto de la nieve; Meinhold *et al.*, 2010).

En relación al microclima generado bajo malla sombra, en éste se reduce levemente la temperatura del aire y aumenta la HR (**Figura 26**). La moderación térmica es explicada, en mayor medida, por una disminución de la temperatura máxima diaria. En cuanto a la HR, la mínima diaria aumenta en la condición bajo malla. Ello promueve un ambiente de menor estrés, responsable de una reducción en la incidencia de daño por sol.

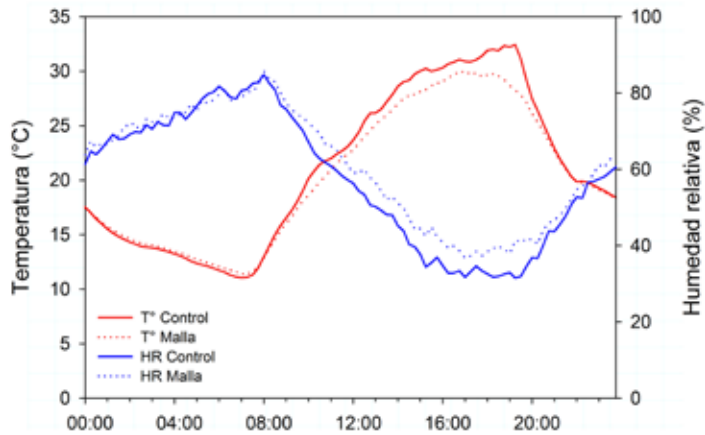


Figura 26. Temperatura y humedad relativa en condiciones sin (Control) y bajo malla sombra y durante el día.

El uso de malla sombra conduce a una relación lineal entre la temperatura del aire y la temperatura registrada bajo ésta (**Figura 27**). Sin embargo, los valores de los parámetros de esta respuesta dependerán del material, color, trama y posición de la cubierta. Dicha relación determinará la cantidad de días de riesgo de daño por sol durante el verano, definidos como días con cinco o más horas con temperatura sobre 29 °C (**Figura 28**).

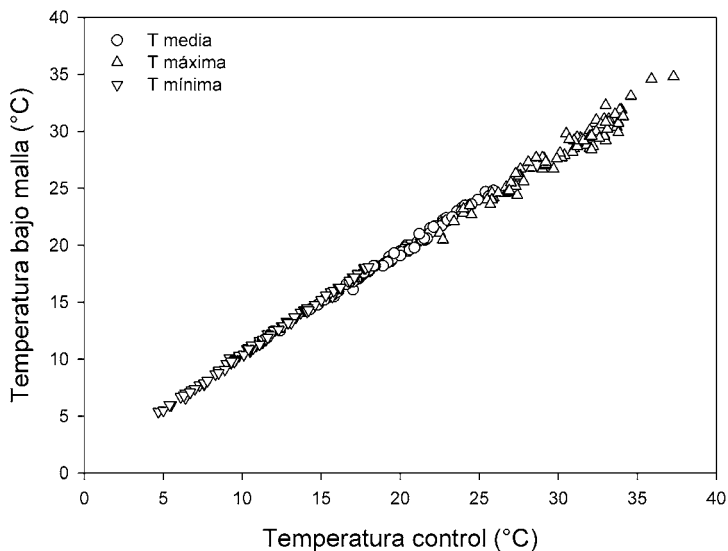


Figura 27. Relación entre la temperatura del aire con y sin malla sombra (Raschel gris 50%).

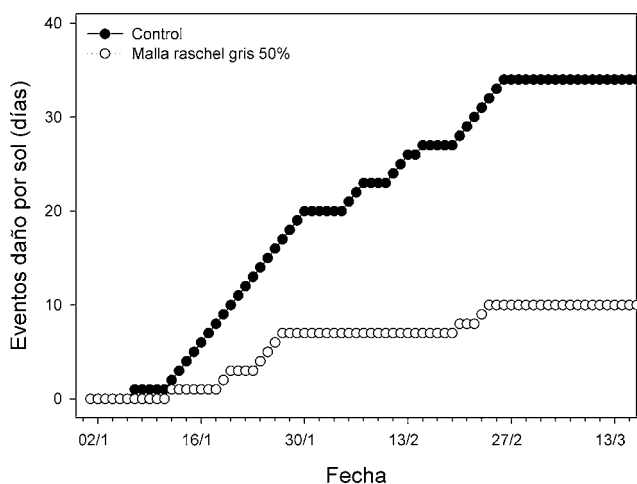


Figura 28. Días de riesgo de daño por sol (más de cinco horas sobre 29 °C), en el control y bajo malla sombra, durante la precosecha de 2017, en San Clemente.

La reducción del estrés también se puede ver reflejada en el estado hídrico de la planta. Con la malla sombra tipo Raschel, de menor transmisión de radiación solar, árboles de manzano han registrado un potencial xilemático mayor que aquellos sin malla sombra (**Cuadro 10**).

Cuadro 10. Potencial hídrico (MPa), del suelo y xilemático de manzanos en diferentes ambientes.

Material	Suelo	Xilema
Control	-0.24	-0.96
Malla monofilamento gris	-0.22	-0.62
Malla Raschel gris 50%	-0.22	-0.47

El momento de despliegue y repliegue de la malla es de suma importancia, puesto que ésta debe extenderse para evitar los días de riesgo de daño por sol, sin estimular el crecimiento vegetativo de los árboles. Ello debiera ser a mediados de diciembre (**Figura 27**). El momento de repliegue, por su parte, debe permitir un tiempo necesario para el desarrollo de color y coincidir con la reducción del estrés ambiental, previo a la cosecha. De persistir altas temperaturas una vez retirada la malla, se corre el riesgo de daño por sol en los frutos expuestos repentinamente, por falta de aclimatación (menor acumulación de pigmentos y fenoles), lo que se puede agravar con el deshoje practicado en cultivares de poca coloración, como Cripps Pink (**Foto 34**).



Foto 34. Daño por sol en fruto expuesto repentinamente a radiación solar (izquierda) y labor de deshoje para aumentar color rojo de manzanas en el sector bajo del árbol (derecha).

El uso de reflectante en forma simultánea con malla sombra, compensaría la pérdida de radiación solar producida por esta última. Ambas técnicas se han transformado en herramientas que permiten mitigar temporadas de calor extremo. Ello, no solo previniendo el daño por sol y aumentando el color rojo de la fruta, sino que mejorando las condiciones ambientales para el adecuado desempeño de la planta, dado por el sombreado artificial. Así, si la malla sombra no ofrece una disminución excesiva de luz, hojas de árboles bajo ésta pueden mostrar mayor tasa de fotosíntesis (**Figura 29**). Estas condiciones de control del estrés radiativo, térmico e hídrico, que promueven mayor actividad fotosintética, pueden conducir a obtener fruta de alta calidad, en términos de potencial de postcosecha como de tamaño (**Figura 30**).

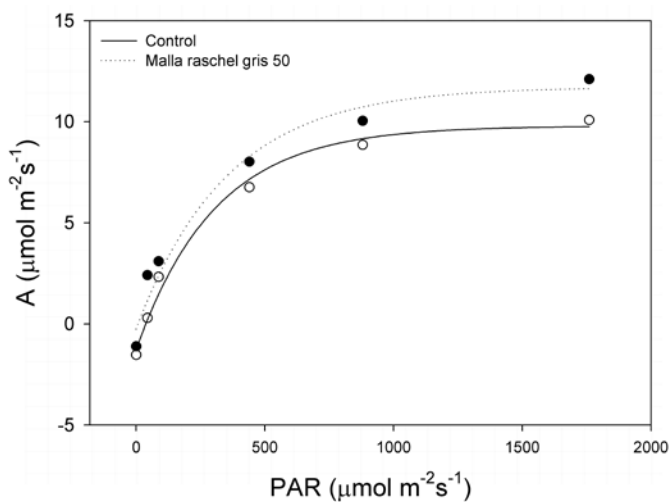


Figura 29. Asimilación neta de CO_2 o tasa de fotosíntesis de hojas creciendo en ambientes con y sin malla sombra (Raschel gris 50%), y de acuerdo a la radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente sobre la hoja.

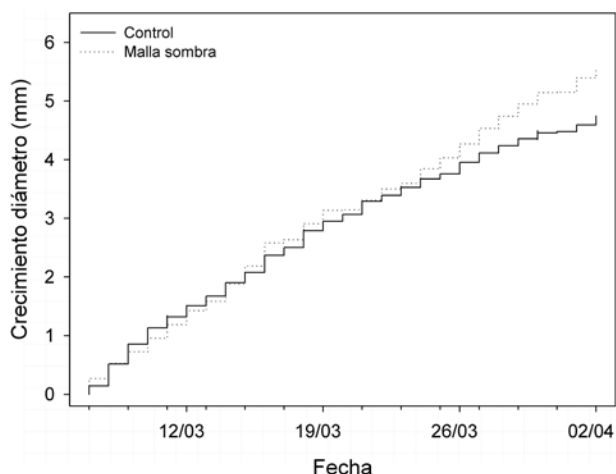


Figura 30. Variación en el diámetro durante las tres semanas previo a la cosecha de manzanas creciendo en ambientes con y sin malla sombra (Monofilamento gris 18%).

En cuanto a la implementación del macro túnel en cerezos, éste obedece a un objetivo distinto, que consiste en aumentar la temperatura al interior, a modo de invernadero, con la finalidad de promover crecimiento y adelantar la cosecha. Sin embargo, la modificación ambiental no solo involucra la temperatura, sino que también otras variables, tal como HR, viento y radiación solar.

Actualmente, los altos retornos de las cerezas han permitido la alta inversión que involucra la estructura metálica del macro túnel, de 4.5 m de alto, con cubierta plástica (**Foto 35**). Éste le confiere mayor temperatura al aire en su interior, que se traduce en un acortamiento de los estados fenológicos. La floración puede adelantarse entre 16 y 18 días y cosecha entre 12 y 19, dependiendo del cultivar (Blanke *et al.*, 2017). Sin embargo, los manejos agronómicos deben ser ajustados al alterarse el ambiente. Efectos secundarios podrían involucrar aspectos agronómicos tan diversos como la demanda hídrica, la interceptación lumínica o el vuelo de los vectores polinizadores.



Foto 35. Macro túnel para producción de primores de cerezas.

PLATAFORMA IKAROS

Las condiciones climáticas en las que crece el fruto, en este caso el de manzano, tienen un gran impacto en la calidad y estado con las que éste llega al consumidor final, siendo responsables de importantes mermas productivas cada año. Así por ejemplo, si la primavera es fría, el tamaño potencial de la fruta se reduciría.

Debe tenerse presente que Chile exporta la mayor parte de su fruta, por lo que ésta debe pasar por un prolongado almacenaje y transporte hasta lejanos mercados de Europa o Asia. Por ello, el desafío de los huertos chilenos es producir fruta con los más altos estándares de calidad, lo que se ve afectado por un medioambiente cambiante y estresante, como lo ha sido en temporadas recientes. Por otro lado, la mayor disponibilidad de herramientas tecnológicas ha permitido cuantificar, interpretar y orientar al productor en relación con el efecto del clima sobre el fruto. El uso de estas tecnologías, estaciones meteorológicas automáticas, redes digitales, cámaras o drones, suponen un cambio sustantivo en fruticultura, haciéndola más precisa.

En este contexto y gracias al apoyo de FIA, se canalizaron más de 15 años de experiencia del Centro de Pomáceas en el estudio del efecto climático sobre la producción de manzanas, a través de una plataforma *on line* bautizada IKAROS. Se trata de un sistema de consulta que se alimenta con datos meteorológicos y nutricionales de un huerto en particular, a partir de los cuales genera indicadores de riesgo para ciertos factores productivos. Ella significará una articulación entre el productor y el CP, a través de la interpretación de la información, la que se va monitoreando en el transcurso de la temporada, y que redundará en orientaciones para un mejor manejo agronómico.

Las herramientas similares existentes en el mercado entregan información meteorológica general y permiten monitorear el desarrollo de ciertas plagas y enfermedades, o anticipar la fenología de cultivo. La plataforma IKAROS ofrece además de las variables convencionales para la gestión frutícola, información específica para ciertas variables de interés en la producción de manzanas. Se debe aclarar que no se trata de un portal de pronóstico meteorológico o de alerta de heladas, sino que se basa en la exposición del fruto en el huerto a condiciones meteorológicas determinadas en un período de tiempo crítico y específico.

La plataforma se ubica en el sitio *web* del CP y parte de ella es de acceso público. Para acceder a la totalidad de las prestaciones, será necesaria una suscripción, de modo que sea sostenible en el tiempo y se retroalimente cada temporada, a fin de aumentar su efectividad.

Se espera que IKAROS se transforme en una herramienta para mejorar la gestión de la fruta chilena, ampliándola a otras especies. Aumentar la sensibilidad sobre el impacto climático y la mitigación de escenarios de estrés ambiental, constituyen metas implícitas tras esta iniciativa.

La plataforma ha sido difundida en diversos eventos de extensión del Centro de Pomáceas, especialmente en las actividades del proyecto FIA PYT-2015-0213 (**Fotos 36 a 42**). En cada Reunión Técnica bimestral del CP, abierta a la comunidad frutícola, se expone acerca del pulso agroclimático de la temporada.

Los contenidos de la Reuniones Técnicas se publican en “POMÁCEAS”, Boletín Técnico del CP, disponible en formato digital para su consulta o descarga desde el sitio *web*: <http://pomaceas.utralca.cl/>



Foto 36. Seminario de Lanzamiento Proyecto FIA PYT-2015-0213, con Ing. Agr. Dr. Richard Bastías como relator invitado (29/03/16). Visita a Frutícola El Aromo junto al ejecutivo FIA, René Martorell (19/04/16).



Foto 37. Reunión de trabajo con ejecutivo FIA, René Martorell (28/09/16). Seminario “Clima y Calidad de Fruta”, con Ing. Dr. José Antonio Reyes en la ponencia principal (24/01/17).



Foto 38. Asistentes al Día de Campo “Clima y Calidad de Fruta: Equipamiento de Terreno”. J. A. Walker, Carlos Silva, J. A. Yuri, Mario Gaete y René Martorell (04/04/17).



Foto 39. Seminario “Riesgos Climáticos y Redes Meteorológicas”, con Ing. Agr. M. Ec. Rodrigo Bravo en el tema central (26/09/17). Reunión de trabajo en la plataforma web junto a Ing. Bruno Faúndez (28/02/18).



This year, Dr Michael Blanke of INRES – Horticultural Science Bonn followed the invitation to speak on 'Protected cultivation of apple and cherry'. The topic attracted over 100 scientists, CEOs, fruit exporters and consultants on 27 March 2018 in a full lecture hall.



The lectures were moderated by and translated into Spanish by Prof. Antonio Yari (Photo 1), director of the Centro de Pomología, University of Talca, Chile. Dr M Blanke (Photo 2) explained the positive and negative effects of netting ranging from bird, insect, hail to sunburn protection to less flower initiation and less fruit colouration in apple as well as fruit covers and polytunnel against fruit cracking in cherry with particular reference to the growing conditions at 20°S in Chile. The lectures included research results of our annual (shade-hall) netting and reflective mulches to combat lack of fruit colouration in their respective autumn in February/March based on 15 years of research at Campus Klein-Altendorf and BSc and MSc trees of Ma

Foto 40. Seminario “Fruticultura Frente a la Incertidumbre Climática”, con Ing. Agr. Dr. Michael Blanke como expositor principal (27/03/18). En la foto junto a Robert Giovanetti, Alfonso Yévenes y René Martorell (FIA), y Loreto Arenas, J. A. Yuri y Álvaro Sepúlveda (CP). Noticia del evento publicada por Horticulture Competence Centre.



Foto 41. Ministro de Agricultura, J. A. Walker y Carolina Torres, Seremi de Agricultura, visitando stand de proyectos FIA en IFT Agro 2018. Luis Yaconi, J. A. Yuri, J. A. Walker, Ministro de Agricultura, y Álvaro Eyzaguirre, Director Ejecutivo de FIA (09/05/18).



Lanzan plataforma climática que predice estado de cosecha de la manzana

Desarrollado por el Centro de Pomología de la Universidad de Talca, se espera que los alcances de esta tecnología beneficie a gran cantidad de productores de la zona central del país. Talca, 5 de agosto 2018. “IKAROS” es el nombre del sistema en línea que desarrolló el Centro de Pomología de la Universidad de Talca.

Foto 42. Seminario de Clausura y Lanzamiento de la Plataforma Climática IKAROS, con el equipo de C. Abud & Cía como expositores invitados (31/07/18). Noticia del evento aparecida en Portal Agro Chile.

Manual de Usuario Plataforma IKAROS

Monitoreo Climático en Pomáceas



CHILE LO
HACEMOS
TODOS



Contenido

- › Introducción
- › Ubicación de la Plataforma
- › Acceder a la Plataforma
- › Acceso Público
- › Acceso de Usuarios
- › Acceder
- › Registrarse
- › Recuperar Contraseña
- › Menú Principal de la Aplicación
- › Preferencias del Usuario
- › Opciones de Usuario
- › Estaciones
- › Datos de la Estación
- › Opciones de Consulta
- › Variables por día
- › Variables por mes
- › Estimaciones
- › Reporte de Variables
- › Cuarteles del huerto asociados a la estación
- › Subir datos de la estación
- › Información Nutricional

Introducción

El presente documento corresponde al manual de usuario de la plataforma **IKAROS: Monitoreo Climático en Pomáceas**. Aquí se documentan las funciones y casos de uso más frecuentes del sistema.

Ubicación de la Plataforma

Para acceder a la plataforma se puede llegar de dos formas mediante un navegador web:

1. Mediante la página web del Centro de Pomáceas: En un navegador debe ingresar la dirección <http://pomaceas.otalca.cl/>. En esta página, se debe navegar hasta el menú “Servicios” y seleccionar la opción “Monitoreo Climático para Pomáceas”.



2. Ingresando la dirección “<https://plataformaikaros.cl/>” en un navegador web.

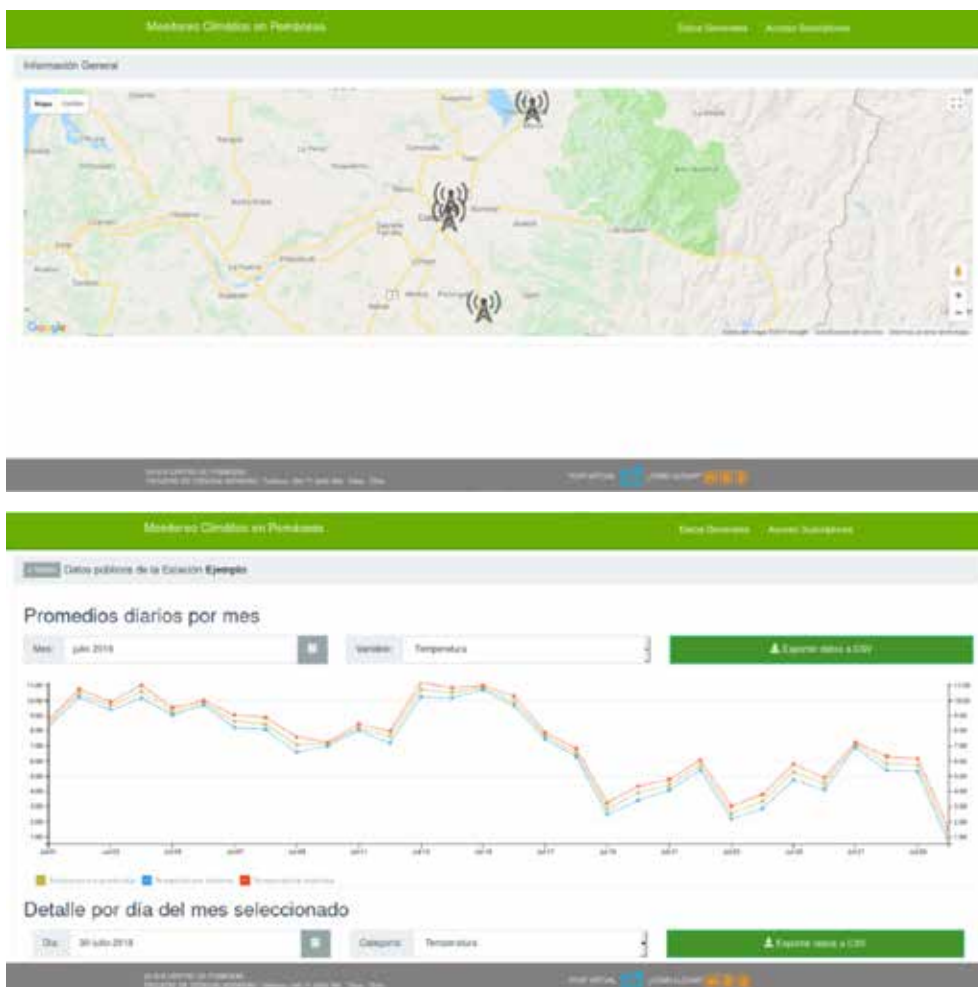
Acceder a la Plataforma

Desde la pantalla inicial existen dos tipos de acceso a los servicios de la plataforma:

1. Acceso Público: El menú de acceso público permite al usuario ver las estaciones públicas y las variables climáticas de estas estaciones. También pueden descargar estos datos.
2. Acceso de Usuario: Es el tipo de acceso mediante correo y contraseña que permite acceder a las funciones exclusivas de la plataforma, como ver indicadores además de las variables de las estaciones, predicciones y reportes.

Acceso Público

El acceso público permite al usuario ver datos meteorológicos de las estaciones registradas en el sistema. Las estaciones podrán seleccionarse en el mapa. Al seleccionar la estación, haciendo clic en Ver Mediciones, el usuario será enviado a una pantalla en la que podrá ver los datos en gráficos y descargarlos.



Los datos se pueden ver por mes en un primer gráfico. Se puede seleccionar el mes y la categoría de las variables que se quiere ver. Al seleccionar un mes, en el gráfico de abajo se pueden ver los datos para un día particular del mes seleccionado.

Acceso de Usuarios

Para acceder a la plataforma, se debe ingresar desde la página de inicio. En el panel lateral existen tres opciones principales:

1. Acceder
2. Registrarse
3. Recuperar Contraseña

Acceder

Si el usuario ya está registrado en la plataforma, puede ingresar su correo y contraseña. Al presionar el botón Acceder será redirigido a su panel principal.



El formulario de acceso de usuarios está dividido en dos secciones principales: 'DATOS GENERALES (ACCESO PÚBLICO)' y 'PLATAFORMA (ACCESO USUARIOS)'. La sección 'PLATAFORMA' contiene dos campos de entrada: 'Email' y 'Contraseña'. Debajo de los campos, hay un botón naranja que dice 'Acceder'. En la parte inferior del formulario, hay dos enlaces de texto: '¿No tienes una cuenta? ¡Regístrate aquí!' y '¿Olvidaste tu contraseña? ¡Recupérala aquí!'.

Registrarse

Si el usuario no tiene una cuenta en el sistema, puede hacer clic donde dice “¿No tienes una cuenta? ¡Regístrate aquí!”. El usuario será redirigido a un formulario donde podrá ingresar sus datos y crear su cuenta.

Registro para nuevos usuarios

Nombre	<input type="text" value="Nombre"/>
Email	<input type="text" value="Email"/>
Telefono	<input type="text" value="+569"/>
Contraseña	<input type="password" value="Contraseña"/>

Recuperar Contraseña

Si el usuario olvidó su contraseña, puede hacer clic donde dice “¿Olvidaste tu Contraseña? ¡Recupérala aquí!”. En esta pantalla el usuario puede ingresar su correo electrónico para solicitar un cambio de clave. Si el correo pertenece a un usuario válido, se le enviará un correo con instrucciones para realizar el cambio de clave.

¿Olvidó su contraseña?

Ingrese su dirección correo electrónico para solicitar un cambio de clave. Se enviará un correo con un enlace que le permitirá ingresar una nueva contraseña.

Email	<input type="text" value="Email"/>
-------	------------------------------------

El usuario recibirá un correo con un enlace que lo llevará a una pantalla en la que podrá ingresar su nueva contraseña. Luego de guardar la nueva contraseña, el usuario podrá acceder a la plataforma con su nueva contraseña.

Menú Principal de la Aplicación

Cuando el usuario ingrese a la plataforma, llegará a su panel de control. Desde aquí puede acceder a las opciones principales de la aplicación.



La aplicación se divide en tres áreas principales:

1. La barra superior: Contiene opciones generales de navegación como ir al inicio, ir al menú de datos públicos o salir de la aplicación.
2. El menú lateral: Contiene la navegación principal de la aplicación. Se divide en dos secciones: Opciones de Usuario, para navegar dentro de las opciones disponibles para el usuario y sus estaciones, y Preferencias de Usuario, donde el usuario puede modificar su información personal.
3. La sección de contenido: La sección de contenido es el área principal de la aplicación. Aquí se mostrará el contenido principal según la sección que seleccione el usuario.

Preferencias de Usuario

En la barra de navegación lateral, se puede llegar a la opción de modificar los datos personales del usuario. Para esto, el usuario debe hacer clic en la opción "Actualizar mis Datos".



En este menú se mostrarán dos paneles. En el primer panel se pueden modificar los datos del usuario: Nombre, Email y Teléfono. Para guardar los cambios se debe presionar “Actualizar Usuario”.



Actualizar datos del usuario.

Datos del Usuario

Nombre

Email

Teléfono

En el segundo menú se puede cambiar la contraseña del usuario. Para cambiarla, primero se debe ingresar la contraseña actual y luego ingresar dos veces la nueva contraseña (para asegurar que el usuario la haya escrito correctamente). Para hacer válido el cambio, se debe clicar en el botón “Cambiar Contraseña”.



Cambiar contraseña.

Contraseña original

Contraseña

Contraseña nueva

Nueva Contraseña

Confirme Nueva Contraseña

Opciones de Usuario

El Menú de opciones de Usuario tiene dos alternativas:

1. Estaciones: Para ver la lista de estaciones que están registradas a nombre del usuario.
2. Información nutricional: Para gestionar la información nutricional de los distintos cuarteles registrados en las estaciones.

Estas opciones se describen con mayor detalle en las secciones a continuación.

Estaciones

En el menú de estaciones, al que se puede acceder mediante la navegación lateral desde el menú de Usuario, se puede ver la lista de estaciones registradas a nombre del usuario. El administrador del sistema es quien asignará las estaciones correspondientes al usuario creado. Por esto, es probable que si el usuario acaba de crear su cuenta, no aparezca ninguna estación a su nombre.



El usuario debe ponerse en contacto con la administración para que se creen y registren las estaciones correspondientes. Cuando las estaciones estén registradas, el usuario podrá verlas en una lista con la opción de “Ver Estación” para revisar la estación correspondiente e interactuar con los datos y reportes.



Al entrar al panel de la estación, se mostrarán las principales opciones y datos relacionados con la estación:

1. Datos de la Estación
2. Opciones de Consulta
3. Cuarteles del huerto asociado a la estación
4. Subir datos a la estación
5. Eliminar datos de la estación

Datos de la Estación

En esta sección se pueden ver los datos principales de la estación como nombre, fechas con datos disponibles, ubicación y fecha del último registro.

1.-Datos de la Estación El Parronal			
NOMBRE	DATOS DISPONIBLES	UBICACIÓN	ÚLTIMO REGISTRO
Estación de Ejempio	desde 01 de enero de 2016 hasta 30 de julio de 2018	Graneros, VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	30 de julio de 2018 07:56:00

Opciones de Consulta

En este menú se muestran las cuatro principales opciones de consultas que se pueden realizar en el sistema:

1. Variables por día: permite consultar los datos y los indicadores calculados agrupados por día.
2. Variables por mes: permite consultar los datos y los indicadores calculados agrupados por mes.
3. Estimaciones: permite realizar estimaciones de distintas variables usando los datos ingresados.
4. Reporte de Variables: permite consultar reportes de variables generados por la administración que se calcularán sobre los datos que estén disponibles en la estación.

Variables por día

Al seleccionar la opción de Variables por día el usuario podrá ver los datos agrupados por día entre dos fechas arbitrarias. También podrá seleccionar la categoría de los datos que se muestran. Al cambiar cualquiera de estas opciones, el gráfico y se recargará la tabla con los datos.



El usuario también puede ver los datos en una tabla bajo el gráfico.

Fecha	Media Diaria	Máxima	Mínima
01 de diciembre 2016	20,1°C	28,5°C	10,9°C
02 de diciembre 2016	21,9°C	30,2°C	12,5°C
03 de diciembre 2016	20,0°C	28,1°C	12,0°C
04 de diciembre 2016	16,8°C	23,8°C	12,3°C
05 de diciembre 2016	17,7°C	24,3°C	12,1°C
06 de diciembre 2016	18,3°C	27,4°C	6,8°C
07 de diciembre 2016	18,4°C	26,7°C	8,2°C
08 de diciembre 2016	18,9°C	25,7°C	10,8°C
09 de diciembre 2016	15,0°C	18,3°C	12,2°C
10 de diciembre 2016	17,9°C	26,4°C	10,2°C
11 de diciembre 2016	20,6°C	28,4°C	10,4°C
12 de diciembre 2016	21,3°C	28,8°C	11,1°C
13 de diciembre 2016	20,7°C	29,1°C	10,7°C
14 de diciembre 2016	21,5°C	34,0°C	7,8°C
15 de diciembre 2016	20,4°C	29,1°C	9,8°C

Al final de la tabla hay dos botones con los que el usuario puede descargar los datos en formato CSV o Excel respectivamente.



Variables por mes

Al seleccionar la opción de Variables por mes el usuario podrá ver los datos agrupados como el promedio mensual de las variables diarias entre dos fechas arbitrarias. También podrá seleccionar la categoría de los datos que se muestran. Al cambiar cualquiera de estas opciones, el gráfico y se recargará la tabla con los datos.



El usuario también puede ver los datos en una tabla bajo el gráfico.

Fecha	Media Diaria	Media Máxima	Media Mínima	Máxima	Mínima
enero 2015	21,4°C	30,1°C	11,3°C	32,8°C	8,7°C
febrero 2015	19,8°C	28,7°C	10,7°C	33,5°C	8,2°C
marzo 2015	18,9°C	28,7°C	9,8°C	33,7°C	5,4°C
abril 2015	13,8°C	24,5°C	4,7°C	29,0°C	1,6°C
mayo 2015	9,2°C	19,7°C	1,3°C	31,7°C	-4,8°C
junio 2015	7,1°C	17,5°C	-0,8°C	23,3°C	-6,2°C
julio 2015	7,6°C	15,1°C	1,9°C	23,4°C	-5,1°C
agosto 2015	10,3°C	16,3°C	5,2°C	25,4°C	-0,6°C
septiembre 2015	11,6°C	18,6°C	5,3°C	27,4°C	0,1°C
octubre 2015	12,7°C	19,3°C	6,3°C	25,1°C	0,6°C
noviembre 2015	16,4°C	23,4°C	8,8°C	30,3°C	2,9°C
diciembre 2015	19,3°C	27,7°C	10,1°C	32,8°C	6,6°C
enero 2016	20,5°C	27,8°C	13,0°C	32,1°C	10,3°C
febrero 2016	20,3°C	29,6°C	10,6°C	33,0°C	7,2°C
marzo 2016	17,2°C	26,9°C	8,3°C	33,1°C	5,4°C

Al final de la tabla hay dos botones con los que el usuario puede descargar los datos en formato CSV o Excel, respectivamente.



Estimaciones

En el panel de estimaciones el usuario puede consultar una serie de variables que pueden ser calculadas usando los datos de la estación. Estas variables dependen del cultivar asignado al cuartel. Al seleccionar un cuartel y un período, se cargarán todas las estimaciones que pueden obtenerse de acuerdo a los datos existentes.



A continuación se describen las estimaciones que pueden consultarse por cultivar:

Gala:

1. Calibre.
2. Inicio Aproximado de Cosecha.
3. Color.
4. Potencial Almacenaje Temprano.
5. Potencial Almacenaje a Cosecha.
6. Potencial Ocurrencia Lenticelosis.

Fuji:

1. Potencial Almacenaje Temprano.
2. Potencial Almacenaje a Cosecha.
3. Incidencia Daño por Sol.
4. Incidencia Russet.
5. Color.
6. Potencial Ocurrencia Bitter Pit.

Cripps Pink:

1. Potencial Almacenaje Temprano.
2. Potencial Almacenaje a Cosecha.
3. Incidencia Daño por Sol.
4. Color.

Los cálculos de las estimaciones dependerán de la disponibilidad de datos para el período seleccionado. En el caso de la estimación del Inicio Aproximado de Cosecha de Gala, el usuario deberá ingresar la fecha de floración.

Si no hay datos suficientes para calcular una estimación, el usuario verá un mensaje describiendo qué datos son necesarios para hacer el cálculo.

Reporte de Variables

En la sección de reporte de variables, el usuario puede ver los distintos reportes generados por la administración del sistema. Estos reportes funcionan como una “plantilla”. Es decir, los valores del reporte se calcularán automáticamente según los datos que estén disponibles en la estación.

Consultando Reporte de Variables Relevantes para la Estación **Estación de Ejemplo**

Reporte de Variables

Receso

Factor Productivo	Variable	Periodo	Periodos			
			15-16	16-17	Promedio	Variación
Frio	Horas con T ^o > 7°C	01-05 - 22-07	699	611	655	7%
Frio	Richardson	01-05 - 22-07	592	872	732	-19%

Datos disponibles desde: 01 de enero de 2015 hasta: 01 de enero de 2017

En estos reportes el administrador también puede adjuntar un comentario técnico personalizado para el productor.

Cuarteles del huerto asociados a la estación

El usuario puede registrar cuarteles del huerto en el que está la estación. Por cada cuartel puede registrar la variedad que se cultiva en él. Registrar los cuarteles es necesario para registrar la información nutricional y consultar las estimaciones.

Si el usuario no tiene cuarteles, debe crear al menos uno y asignarle un cultivar para realizar las estimaciones.



Si el usuario presiona “Editar Cuarteles” se abrirá un formulario en el que puede ingresar nuevos cuarteles y editar los existentes. Para guardar los cambios debe presentar el botón “Guardar Cambios”.

El botón “Añadir Cuartel” agrega una nueva fila a la lista de cuarteles y el botón “Cancelar Edición” anula los cambios realizados.



Subir datos de la estación

El usuario puede subir datos de la estación o solicitar a algún encargado de la administración que lo haga. Para subir los datos necesita un archivo de texto exportado de la estación. En esta sección se indican los pasos para subir un archivo de datos.

1. Primero el usuario debe seleccionar el archivo desde el botón ubicado en el recuadro gris.
2. Luego se debe presionar el botón "Cargar Archivo". El sistema verificará si el archivo está en el formato correcto y si faltan registros. Se completarán automáticamente espacios de hasta 2 horas continuas sin datos. Si existe una ausencia mayor de datos, el sistema arrojará un error. En este caso, el archivo puede ser enviado a la administración para ser revisado.
3. Si el archivo se cargó exitosamente, aparecerá el botón "Subir Archivo". Los datos comenzarán a subirse. Una vez terminado el proceso, aparecerá un mensaje de éxito.

4.-Subir datos a la estación

Para subir datos a la estación se debe considerar:

1. Verifique que el archivo a subir sea un archivo de texto o .csv
2. Las dos primeras líneas del archivo se considerarán como nombres de las variables y las demás líneas como datos.
3. Las columnas del archivo deben estar separadas por tabulaciones.

Pasos para subir datos a la estación:

1. Seleccionar el archivo a importar presionando el botón en el recuadro gris.
2. Cargar el archivo a la memoria presionando en "Cargar".
3. Al Cargar, se verificará si el archivo se pudo leer correctamente y no tener errores críticos.
4. Si el archivo se cargó correctamente, presionar "Subir" para enviar los datos al servidor.

* La subida puede demorar unos minutos dependiendo del tamaño de los datos.

Eliminar... Datos Ejemplo.csv Cargar archivo Subir Archivo

Carga del Archivo:

Subida del Archivo:

Preparación de datos

Los datos están preparados para ser subidos.
Se corrigieron 0 datos faltantes.

Si se suben datos de una fecha en la que hay registros en el sistema, estos serán sobre escritos por los nuevos datos.

Eliminar datos de la estación

El usuario puede elegir eliminar datos de su estación si lo considera necesario. Para esto debe seleccionar las fechas de inicio y término, y presionar el botón “Eliminar Datos”. Esto eliminará los datos entre ambas fechas incluyéndolas.

5-Eliminar datos de la estación

Para eliminar datos de la estación, seleccione la fecha de inicio y la fecha de fin. Luego, presione Eliminar.

Se borrarán los datos desde el día de inicio hasta el día de término incluido, y no se podrán recuperar.

Existen datos disponibles desde: 01 de enero de 2016 hasta: 30 de julio de 2018

Desde: Hasta:

Información Nutricional

El usuario puede llevar el registro de la información nutricional de sus cuarteles. Este registro permitirá el cálculo de ciertas estimaciones y además le permitirá al usuario mantener un control de las variables.

Para guardar la información nutricional debe al menos tener un cuartel registrado en el sistema. Por año se pueden hacer dos registros por cuartel: un registro a 60 días después de plena flor (DDPF) y otro a cosecha. Se debe seleccionar la fecha de la medición e ingresar las variables. Además, se puede añadir información adicional por cada registro.

Quartel	Fecha	Momento de Medición	Información Adicional
Estación de Ejemplo, Cuartel Gala, Gala	<input type="text" value="03-03-2018"/> <input type="button" value="📅"/>	<input checked="" type="radio"/> Fruto 60 ddpf <input type="radio"/> Fruto a Cosecha	

N (mg/100g PF)	P (mg/100g PF)	K (mg/100g PF)	Ca (mg/100g PF)	Mg (mg/100g PF)	Mn %	N° Frutos	Peso Total (g)	Guardar
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="📁"/>

Cuando el usuario ingrese datos, podrá ver el registro de los datos ingresados debajo del formulario.

Datos Nutricionales Ingresados

Estación	Varietal	Quartel	Fecha	Momento Medición	N	P	K	Ca	Mg	Mn	N° Frutos	Peso Total (g)	Índice Riesgo	Otros	Opciones
Ejemplo	Fuji	BA	05-12-2017	Fruto 60 ddpf	104,3	22,0	149,5	17,6	9,3	14,0	20,0	584,0	0		<input type="button" value="🗑️"/>
Ejemplo	Fuji	BA	20-03-2018	Fruto a Cosecha	29,2	6,9	96,4	4,8	4,9	17,6	10,0	1.990,0	1		<input type="button" value="🗑️"/>
Ejemplo	Fuji	BA	13-03-2017	Fruto a Cosecha	21,6	10,1	100,8	5,7	4,8	16,8	7,0	1.572,0	0		<input type="button" value="🗑️"/>

Debajo de este registro, el usuario podrá encontrar los indicadores nutricionales que se calculan sobre estos datos, incluido el índice de riesgo.

Indicadores Nutricionales

Seleccione un cuartel para revisar sus indicadores nutricionales:

Ejemplo, 1-2, Gala

Fecha	Momento Medición	N/Ca	K/Ca	Mg/Ca	Na/K	K/P	P/Ca	(K+Mg)/Ca	(K+Mg)/Ca + N/Ca	Índice de Riesgo	Peso Promedio (g)
11-01-2018	Fruto Maduro	6,6	21,6	0,8	0,3	11,5	1,9	22,4	29,0	0,0	135,5
11-12-2017	Fruto Pequeño	7,1	10,1	0,6	0,7	9,6	1,0	10,7	17,8	1,0	43,0
18-01-2017	Fruto Maduro	5,5	16,2	0,8	0,3	10,4	1,6	17,0	22,6	0,0	147,6
06-12-2016	Fruto Pequeño	6,0	11,8	0,7	0,6	9,3	1,3	12,5	19,1	1,0	41,0

LITERATURA CONSULTADA

- › Alburquerque, N., García-Montiel, F., Carrillo, A., Burgos, L. 2008. Chilling and heat requirements of sweet cherry cultivars and the relationship between altitude and the probability of satisfying the chill requirements. *Environ. Exp. Bot.* 64: 162-170.
- › Anderson, J.L., Seeley, S.D. 1992. Modelling strategy in pomology: development of the Utah models. *Acta Hort.* 313: 297-306.
- › Atkinson, C.J., Taylor, L., Kingswell, G. 2001. The importance of temperature differences, directly after anthesis, in determining growth and cellular development of *Malus* fruits. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 76: 721-731.
- › Bastías, R.M., Leyton, M.J., Valenzuela, R., Umanzor, C., Corelli-Grappadelli, L. 2015. Uso de mallas en huertos de manzanos: Parte I. Consideraciones en el diseño, propiedades radiométricas y respuestas de interés agronómico. *Revista Frutícola* 37: 32-37.
- › Blanke, M.M., Lang, G.A., Meland, M. 2017. Orchard microclimate modification. En: *Cherries: Botany, production and uses*, pp. 244-268. Eds. J. Quero-García, A. Lezzoni, J. Pulawska y G. Lang. CABI, Boston.
- › Bramlage, W.J., Watkins, C.B. 1994. Influences of preharvest temperature and harvest maturity on susceptibility of New Zealand and North American apples to superficial scald. *New Zeal. J. Crop Hortic. Sci.* 22: 69-79.
- › CNE, PNUD, UTFSM. 2008. Irradiancia solar en territorios de la República de Chile. Comisión Nacional de Energía, Santiago de Chile. 248 p.
- › Cordero, R.R., Damiani, A., Jorquera, J., Sepúlveda, E., Caballero, M., Fernández, S., Feron, S., Llanillo, P.J., Carrasco, J., Laroze, D., Labbe, F. 2018. Ultraviolet radiation in the Atacama Desert. *Antonie van Leeuwenhoek* 111: 1301-1313.
- › Corelli-Grappadelli, L. 2003. Light relations. En: *Apples: Botany, production and uses*, pp. 195-216. Eds. D.C. Ferree y I.J. Warrington. CABI, Cambridge.
- › Corelli-Grappadelli, L., Morandi, B. 2012. The ecophysiology of carbon in fruit trees: A driver of productivity, a tool to face climate change, a producer of innovation that can become tomorrow's growing paradigm. *AgroLife Sci. J.* 1: 39-47.
- › Couvillon, G.A. 1995. Temperature and stress effects on rest in fruit trees: A review. *Acta Hort.* 395: 11-19.
- › Curry, E.A. 1997. Temperatures for optimum anthocyanin accumulation in apple tissue. *J. Hortic. Sci.* 72: 723-729.
- › Curry, E.A. 2003. Factors associated with apple lenticel breakdown. *Postharvest Information Network*.
<http://postharvest.tfrec.wsu.edu/REP2003B.pdf>.
- › Darbyshire, R., Webb, L., Goodwin, I., Barlow, S. 2011. Winter chilling trends for

- deciduous fruit trees in Australia. *Agric. For. Meteorol.* 151: 1074-1085.
- › De Swaef, T., Steppe, K., Lemeur, R. 2009. Determining reference values for stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in young apple trees based on plant responses to water deficit. *Agric. Water Manage.* 96: 541-550.
 - › Diamantidis, G., Thomai, T., Genitsriotis, M., Nanos, G., Bolla, N., Sfakiotakis, E. 2002. Scald susceptibility and biochemical/physiological changes in respect to low preharvest temperature in 'Starking Delicious' apple fruit. *Sci. Hortic.* 92: 361-366.
 - › Dussi, M.C., Giardina, G., Reeb, P. 2005. Shade nets effect on canopy light distribution and quality of fruit and spur leaf on apples cv. 'Fuji'. *Spanish J. Agric. Research* 3: 253-260.
 - › Erez, A., Lavee, S. 1971. The effect of climatic conditions on dormancy development of peach buds. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 96: 711-714.
 - › Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees.* John Wiley & Sons, New York. 338 p.
 - › Faust, M., Erez, A., Rowland, L.J., Wang, S.Y., Norman, H.A. 1997. Bud dormancy in perennial fruit trees: Physiological basis for dormancy induction, maintenance, and release. *HortSci.* 32: 623-629.
 - › Ferguson, I., Volz, R., Woolf, A. 1999. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 15: 255-262.
 - › FIA. 2016. Riesgos agroclimáticos: Las nuevas herramientas. *Innova+Agro* 4. 105 p.
 - › Ghariani, K., Stebbins, R.L. 1994. Chilling requirement of apple and pear cultivars. *Fruit Varieties J.* 48: 215-222.
 - › Gil, G.F. 2000. *Fruticultura: La producción de fruta.* Ediciones Universidad Católica de Chile. 583 p.
 - › Gindaba, J., Wand, S. 2005. Comparative effects of evaporative cooling, kaolin particle film and shade net on sunburn and fruit quality in apples. *HortSci.* 40: 592-596.
 - › Glenn, D.M., Puterka, G.J. 2007. The use of plastic films and sprayable reflective particle films to increase light penetration in apple canopies and improve apple color and weight. *HortSci.* 42: 91-96.
 - › González, P. 2013. Análisis de las heladas, estado hídrico del Maule 2013. *Pomáceas, Boletín Técnico* 13 (6).
 - › Gratacós, E., Cortés, A. 2008. Chilling requirements of ten sweet cherry cultivars in a mild winter location in Chile. *Acta Hortic.* 795: 457-462.
 - › Guak, S., Neilsen, D. 2013. Chill unit models for predicting dormancy completion of floral buds in apple and sweet cherry. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 54: 29-36.
 - › Hampson, C.R., Kemp, H. 2003. Characteristics of important commercial apple cultivars. En: *Apples: Botany, Production and Uses*, pp. 61-89. Eds. D.C. Ferree y I.J. Warrington. CABI, Cambridge.

- › Heide, O.M., Prestud, A.K. 2005. Low temperature, but not photoperiod, controls growth cessation and dormancy induction and release in apple and pear. *Tree Physiol.* 25: 109-114.
- › Hengari, S., Theron, K.I., Midgley, S.J.E., Stein, W.J. 2014. Response of apple (*Malus domestica* Borkh.) fruit peel photosystems to heat stress coupled with moderate photosynthetic active radiation at different fruit developmental stages. *Sci. Hortic.* 178: 154-162.
- › Iglesias, I., Garanto, X., Echeverría, G., Farré, X. 2018. La manzana en altitud: Resultados y balance de nueve años de actuación. *Revista de Fruticultura* 65: 6-81.
- › Iglesias, I. 2017. Situación actual de la fruticultura de montaña. *Revista de Fruticultura* 59: 30-42.
- › Iglesias, I., Alegre, S. 2006. The effect of anti-hail nets on fruit protection, radiation, temperature, quality and profitability of 'Mondial Gala' apples. *J. Applied Hortic.* 8: 91-100.
- › Juniper, B.E., Mabberley, D.J. 2006. *The story of the apple*. Timber Press, Portland. 219 p.
- › Lee, J., Mattheis, J.P., Rudell, D.R. 2013. Fruit size affects physiological attributes and storages disorders in cold-stored 'Royal Gala' apples. *HortSci.* 48: 1518-1524.
- › Kaufmann, H., Blanke, M.M. 2017. Chilling in cherry -principles and projection- a brief introduction. *Acta Hortic.* 1162: 39-44.
- › Lakso, A.N. 1994. Apple. En: *Environmental physiology of fruit crops; Vol 1, Temperate crops*, pp. 3-42. Eds. B. Schaffer y P.C. Andersen. CRC Press, Boca Raton.
- › Lopez, G., Boini, A., Manfrini, L., Torres-Ruiz, J.M., Pierpaoli, E., Zibordi, M., Losciale, P., Morandi, B., Corelli-Grappadelli, L. 2018. Effect of shading and water stress on light interception, physiology and yield of apple trees. *Agric. Water Manage.* 210: 140-148.
- › Luton, M.T., Hamer, J.C. 1983. Predicting the optimum harvest dates for apples using temperature and full-bloom records. *J. Hortic. Sci.* 58: 37-44.
- › Mahmood, K., Carew, J.G., Hadley, P., Battey, N.H. 2000. The effect of chilling and post-chilling temperatures on growth and flowering of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75: 598-601.
- › Meinhold, T., Damerow, L., Blanke, M. 2011. Reflective materials under hailnet improve orchard light utilisation, fruit quality and particularly fruit colouration. *Sci. Hortic.* 127: 447-451.
- › Meinhold, T., Richters, J.P., Damerow, L., Blanke, M.M. 2010. Optical properties of reflection ground covers with potential for enhancing fruit colouration. *Biosystems Engineering* 107: 155-160.
- › Meyer, G. 2014. Abscisão foliar em macieira cv. Fuji e seus efeitos fisiológicos. Tese de Doutorado. Universidade do Estado de Santa Catarina/UDESC. 128 p.

- › Morandi, B., Manfrini, L., Zibordi, M., Noferini, M., Fiori, G., Corelli-Grappadelli, L. 2007. A low-cost device for accurate and continuous measurements of fruit diameter. *HortSci.* 42: 1380-1382.
- › Naor, A., Flaishman, M., Stern, R., Moshe, A., Erez, A. 2003. Temperature effects on dormancy completion of vegetative buds in apple. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 128: 636-641.
- › Naor, A., Naschitz, S., Peres, M., Gal, Y. 2008. Responses of apple fruit size to tree water status and crop load. *Tree Physiol.* 28: 1255-1261.
- › Naschitz, S., Naor, A., Sax, Y., Shahak, Y., Rabinowitch, H.D. 2015. Photo-oxidative sunscald of apple: Effects of temperature and light on fruit peel photoinhibition, bleaching and short-term tolerance acquisition. *Sci. Hortic.* 197: 5-16.
- › Nyasordzi, J., Friedman, H., Schmilovitch, Z., Ignat, T., Weksler, A., Rot, I., Lurie, S. 2013. Utilizing the IAD index to determine internal quality attributes of apples at harvest and after storage. *Postharvest Biol. Technol.* 77: 80-86.
- › Palmer, J.W., Privé, J.P., Tustin, D.S. 2003. Temperature. En: *Apples: Botany, Production and Uses*, pp. 217-236. Eds. D.C. Ferree y I.J. Warrington. CABI, Cambridge.
- › Pope, K.S., da Silva, D., Brown, P.H., DeJong, T.M. 2014. A biologically based approach to modelling spring phenology in temperate deciduous trees. *Agric. For. Meteorol.* 198-199: 15-23.
- › Rom, C.R. 1996. Environmental factors regulating growth: Light, temperature, water, nutrition. En: *Tree Fruit Physiology: Growth and Development*. pp. 11-30. Eds. K.M. Maib, P.K. Andrews, G.A. Lang y K. Mullinix. Good Fruit Grower, Yakima.
- › Schumacher, R. 1989. Die fruchtbarkeit der obstgehölze: Ertragsregulierung und qualitätsverbesserung. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart. 242 p.
- › Seeley, S.D., Anderson, J.L. 2003. Apple-orchard freeze protection. En: *Apples: Botany, production and uses*, pp. 521-538. Eds. D.C. Ferree y I.J. Warrington. CABI, Cambridge.
- › Sepúlveda, A., Arenas, L., Lepe, V., Yuri, J.A. 2017. El uso de malla sombra y reflectante altera el microclima y la calidad de manzanas. *Revista de Fruticultura* 54: 6-17.
- › Sepúlveda, A. 2016. Caracterización metabólica del daño por sol. Tesis de Magíster. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca. 51 p.
- › 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, L., 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. *HortTechnol.* 7, 23-29.
- › Stanley, C.J., Tustin, D.S., Lupton, G.B., McArtney, S., Cashmore, W.M., de Silva H.N.

2000. Towards understanding the role of temperature in apple fruit growth responses in three geographic regions within New Zealand. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75: 413-422.
- › Thompson, M. 1996. Flowering, pollination and fruit set. En *Cherries: Crop physiology, production and uses*, pp. 223-241. Eds. A.D. Webster y N.E. Looney. CABI, Cambridge.
 - › Torres, C.A., Sepúlveda, A., Leon, L., Yuri, J.A. 2016. Early detection of sun injury on apples (*Malus domestica* Borkh.) through the use of crop water stress index and chlorophyll fluorescence. *Sci. Hortic.* 211: 336-342.
 - › Tromp, J. 1997. Maturity of apple cv. Elstar as affected by temperature during a six-week period following bloom. *J. Hortic. Sci.* 72: 811-819.
 - › Tromp, J., Wertheim, S.J. 2005. Fruit growth and development, pp. 240-266. En: *Fundamentals of Temperate Zone Tree Fruit Production*. Eds. J. Tromp, A.D. Webster y S.J. Wertheim. Backhuys Publishers, Leiden.
 - › Tuketti, S.S., Curry, E., Lötze, E. 2012. Role of lenticel morphology, frequency and density on incidence of lenticel breakdown in 'Gala' apples. *Sci. Hortic.* 138: 90-95.
 - › Vicens, N., Bosch, J. 2000. Weather-dependent pollinator activity in an apple orchard, with special reference to *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: *Megachilidae* and *Apidae*). *Environ. Entomol.* 29: 413-420.
 - › Vittrup Christensen, J. 1996. Rain-induced cracking of sweet cherries: Its causes and prevention. En: *Cherries: Crop physiology, production and uses*, pp. 297-327. Eds. A.D. Webster y N.E. Looney. CABI, Cambridge.
 - › Wagenmakers, P.S. 1994. Light relations in orchard systems. Thesis, Wageningen. 149 p.
 - › Wand, S.J.E., Theron, K.I., Ackerman, J., Marais, S.J.S. 2006. Harvest and post-harvest apple fruit quality following applications of kaolin particle film in South African orchards. *Sci. Hortic.* 107: 271-276.
 - › Wand, S.J.E., van der Dool, K., Smit, A., Steyn, W.J. 2008. Heat injury thresholds in apple measured using chlorophyll fluorescence are influenced by orchard heat reduction technologies. *Acta Hortic.* 772: 273-277.
 - › Warrington, I.J., Fulton, T.A., Halligan, E.A., de Silva H.N. 1999. Apple fruit growth and maturity are affected by early season temperatures. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 124: 468-477.
 - › Watkins, C.B. 2003. Principles and practices of postharvest handling and stress. En: *Apples: Botany, Production and Uses*, pp. 585-614. Eds. D.C. Ferree y I.J. Warrington. CABI, Cambridge.
 - › Westwood, M.N. 1978. *Temperate zone pomology*. W.H. Freeman and Company, San Francisco. 427 p.
 - › Woolf, A.B., Ferguson, I.B. 2000. Postharvest responses to high fruit temperatures in

the field. *Postharvest Biol. Technol.* 21: 7-20.

- › Wünsche, J.N., Greer, D.H., Palmer, J.W., Lang, A., McGhie, T. 2001. Sunburn - The cost of a high light environment. *Acta Hort.* 557: 349-356.
- › Young, E., Werner, D.J. 1985. Chill unit and growing degree hour requirements for vegetative bud break in six apple rootstocks. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 110: 411-413.
- › Yuri, J.A., Torres, C., Bastías, R., Neira, A. 2000. Golpe de sol en manzanas. Factores inductores y respuestas bioquímicas. *AgroCiencia*, 16: 23-32.
- › Yuri, J.A. 2010. Daño por sol en manzanas. *Revista de Fruticultura* 8: 4-15.
- › Yuri, J.A. 2015. Sunburn in apples: A hot problem. *Good Fruit Grower* 66: 26-27.
- › Yuri, J.A., Lepe, V., Moggia, C., Bastías, R., Bertschinger, L. 2004. Sonnenbrand beim apfel. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* 8: 7-10.
- › Yuri, J.A., Lepe, V., Sepúlveda, A. 2017. Heladas en fruticultura: Conceptos y sistemas de control. Editorial Universidad de Talca. 56 p.
- › Yuri, J.A., Moggia, C., Torres, C.A., Sepulveda, A., Lepe, V., Vasquez, J.L. 2011a. Performance of apple (*Malus ×domestica* Borkh.) cultivars grown in different Chilean regions on a six-year trial, part I: Vegetative growth, yield, and phenology. *HortSci.* 46: 365-370.
- › Yuri, J.A., Sepúlveda, A., Lepe, V. 2011b. Comportamiento del manzano en diferentes zonas productivas de Chile. Ediciones Universidad de Talca. 200 p.




TALCA
UNIVERSIDAD
CHILE


**CENTRO DE
POMACEAS**
UNIVERSIDAD DE TALCA - CHILE

ISBN: 978-956-329-096-7



9 789563 1290967

<http://pomaceas.otalca.cl>