

Estrés abiótico en clima neotropical influencia la producción de pigmentos, capacidad antioxidante y expresión de desórdenes fisiológicos en manzanas.

Abiotic stress in neotropical climate influences pigment production, antioxidant capacity and expression of physiological disorders in apples.

Estresse abiótico em clima neotropical influencia produção de pigmentos, capacidade antioxidante e expressão de desordens fisiológicas em maçãs.

Vivian Severino ¹

Recibido: 30/05/2023

Aceptado: 30/05/2023

Resumen. - La manzana producida en clima neotropical, presenta daños asociados a estreses abióticos que reducen la sostenibilidad del cultivo. El desarrollo de nuevas zonas de producción y el cambio climático aumentan el interés por estudiar el comportamiento de la fruta en diferentes condiciones. El presente trabajo tuvo como objetivos: determinar factores limitantes, evaluar respuestas fisiológicas, analizar el potencial de predicción de desórdenes, y evaluar estrategias de manejo de estrés abiótico. Fue registrada una alta variabilidad de condiciones predisponentes y desarrollo de daños, siendo la disponibilidad de agua en el suelo la condición más relacionada con el daño por sol. Los tratamientos redujeron los niveles de daño, y modificaron el potencial de xilema. Las aplicaciones de protectores no redujeron la incidencia del quemado de sol, pero el uso de mallas permitió reducir tanto el quemado como el escaldado sin afectar a los procesos de crecimiento dependientes de la asimilación neta. Las diferencias de potencial hídrico entre las caras del fruto, la concentración de prolina y el índice de espectroradiometría PSRI480 presentan las mejores características predictivas, lo que sugiere centrar la investigación en el balance hídrico del sistema y en los indicadores fisiológicos del estrés osmótico como forma de predecir los daños.

Palabras clave: daño de sol; escaldado; Granny Smith; espectroradiometría; potencial hídrico.

Summary. - Apples produced in neotropical climates show damage associated with abiotic stresses that reduce the sustainability of the crop. The development of new production areas and climate change increase the interest in studying the behavior of the fruit under different conditions. The objectives of the present work were to determine limiting factors, evaluate physiological responses, analyze the potential for predicting disorders, and evaluate abiotic stress management strategies. A high variability of predisposing conditions and damage development was recorded, with water availability in the soil being the condition most related to sunburn. Treatments reduced

¹ Doctorado, Facultad de Agronomía, Universidad de la República (UDELAR), Garzón 780, Montevideo CP 12900, Uruguay; vseverin@fagro.edu.uy, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7343-4737>

damage levels and modified xylem potential. The applications of protectants did not reduce the incidence of sunburn, but the use of netting reduced both sunburn and scald without affecting net assimilation-dependent growth processes. Differences in water potential between fruit sides, proline concentration and PSRI480 spectroradiometry index presented the best predictive characteristics, suggesting to focus research on system water balance and physiological indicators of osmotic stress as a way to predict damage.

Keywords: Sunburn; sunscald; Granny Smith; spectroradiometry; hydric potential.

Resumo. - *Maçãs produzidas em climas neotropicais apresentam danos associados a estresses abióticos que reduzem a sustentabilidade da cultura. O desenvolvimento de novas áreas de produção e as mudanças climáticas aumentam o interesse em estudar o comportamento da fruta em diferentes condições. Os objetivos do presente trabalho foram determinar fatores limitantes, avaliar respostas fisiológicas, analisar o potencial de prever distúrbios e avaliar estratégias de gerenciamento de estresse abiótico. Foi registrada uma alta variabilidade de condições predisponentes e desenvolvimento de danos, sendo a disponibilidade de água no solo a condição mais relacionada à queimadura solar. Os tratamentos reduziram os níveis de danos e modificaram o potencial do xilema. As aplicações de protetores não reduziram a incidência de queimaduras solares, mas o uso de rede reduziu tanto a queimadura solar quanto a escaldadura sem afetar os processos de crescimento dependentes da assimilação líquida. Diferenças no potencial hídrico entre lados da fruta, concentração de prolina e índice de espectrorradiometria PSRI480 apresentaram as melhores características preditivas, sugerindo focar a pesquisa no balanço hídrico do sistema e indicadores fisiológicos de estresse osmótico como forma de prever danos.*

Palavras-chave: *Queimadura de sol; queimadura solar; Vovó Smith; espectrorradiometria; potencial hídrico.*

1. Introducción. - La fruticultura es un rubro relevante en la producción agropecuaria en el Uruguay, que genera 9 millones de dólares corrientes, empleando 165 trabajadores y 32.953 jornales cada 1000 ha (índices elaborados con base en MGAP-DIEA (1). A pesar de su importancia social y económica, la producción nacional de frutas y hortalizas es el 50 % de la necesaria para satisfacer el consumo recomendado para la población (2) y el rubro no es ajeno al proceso de falta de sostenibilidad de las producciones intensivas del sur del Uruguay (3). Habiéndose registrado una reducción del 41 % del número de productores entre 2005 y 2016, la mayoría de ellos menores a 10 ha (2).

La manzana es el tercer rubro de exportación frutícola de Uruguay y es la especie de mayor importancia dentro de la fruticultura de hoja caduca (4), con calidad reconocida en el mercado internacional (5, 6) por sus características organolépticas (7), aunque han sido citados problemas de calidad asociados a la falta de sobrecoloración y el desarrollo de algunos desórdenes fisiológicos como ser: daños de sol, lenticelosis y bitter pit (8, 9).

La calidad de la fruta es un rasgo complejo que se encuentra vinculado a las condiciones de crecimiento del fruto y, por tanto, determina la adaptación ecofisiológica de un cultivo. Los problemas de calidad asociados a estreses abióticos (desórdenes fisiológicos) están presentes en todas las zonas productoras y solo en referencia a los daños por sol se han reportado pérdidas que van desde el 10 al 50 % de la producción (10, 11).

La capacidad de adaptación del manzano, a través del desarrollo de estrategias morfológicas, bioquímicas y moleculares que generan mecanismos de evitación y tolerancia (12) permiten el cultivo incluso en climas tropicales (13). El clima de la región del estudio es clasificado como templado cálido o neotropical (14) presentando factores que se consideran limitantes para la adaptación del cultivo como falta de frío invernal, ocurrencia de heladas, exceso de agua en el suelo, sequía, granizo y daño por sol son (15); situaciones que podrían incrementarse debido a un aumento muy generalizado de la variabilidad (16).

El conocimiento de factores de pre cosecha como exposición excesiva a la luz solar, la alta temperatura (17) y estrés hídrico en los tejidos del fruto (18; 19), que pueden determinar trastornos fisiológicos que condicionen el almacenamiento es importante en la obtención de fruta de calidad (20).

El abordaje más tradicional de los desórdenes fisiológicos de la piel de manzana está centrado en que frutos con excesiva exposición a la radiación solar y altas temperaturas, experimentan condiciones de estrés fotooxidativo e incrementos en la temperatura de su superficie (21, 22, 23). También se ha reportado la expresión de desórdenes fisiológicos inducidos por condiciones de estrés hídrico en los tejidos del fruto y vinculados a los equilibrios nutricionales (24, 25). La detección visual del daño y la comprensión de las condiciones ambientales que se dan en el momento o inmediatamente antes de los síntomas visuales no revelan necesariamente el factor o factores subyacentes que inician los procesos metabólicos o degenerativos que conducen al daño (17).

Con el objetivo de reducir los daños por desórdenes fisiológicos, han sido propuestos manejos del microclima en lo referente a los factores cantidad y calidad de luz, temperatura y estatus hídrico. Entre los más estudiados y utilizados en forma comercial se encuentran: la colocación de mallas sombra, el riego evaporativo, el uso de protectores solares y el manejo del vigor de los árboles (26, 27). La ubicación del cultivo y la orientación de las filas afectan la incidencia de luz sobre él, por lo que deben tenerse en cuenta al momento de la plantación. No obstante, en general son otros los

aspectos jerarquizados para la toma de estas decisiones.

Aplicaciones de ácido ascórbico, tocoferoles y ABA han sido probadas con variada efectividad y altos costos (28). Otro manejo que reduce el quemado de sol es el embolsado individual de la fruta, manejo que puede justificarse en casos de variedades como Fuji, destinadas a mercados de muy alto precio, debido a su mayor costo de producción (29).

Cuando la aparición de desórdenes no puede ser manejada, se deben detectar y eliminar los frutos dañados previo al almacenaje (30). El uso de espectroradiometría ha sido planteado como promisorio para la predicción de desórdenes fisiológicos en campo y en poscosecha (31, 30, 23). Otra herramienta de diagnóstico propuesta en trabajos que relacionan el daño por sol debido a la radiación solar y temperatura excesivas, así como con los déficits hídricos, es la fluorescencia de la clorofila (17). Más recientemente, se ha propuesto el uso de imágenes hiperespectrales, aunque su desarrollo es aún incipiente (32).

El presente trabajo aborda la adaptación del cultivo del manzano centrada en los problemas de calidad de fruta vinculados a factores abióticos, siendo el primer estudio realizado en condiciones de clima neotropical.

2. Principales características del ensayo y resultados.

2.1 Características del ensayo. - El ensayo fue conducido durante los ciclos de cultivo 2012-2013 a 2015-2016 (en adelante ciclos 1 a 4), en una plantación de manzana ubicada en el departamento de San José, al sur de Uruguay (34°38'18" S; 56°40'06" W), implantada en 2003 con dirección N-S y un marco de plantación de 4 m x 1,5 m para el cultivar Granny Smith/M7, y 4 m x 1 m para los cultivares Brasil Gala y Cripps Pink. El cultivo cuenta con riego por goteo con una cinta de riego por fila y góteros distanciados a 1 m, con una capacidad máxima de riego diaria de 4,5 mm.

Los tratamientos realizados sobre la plantación de Granny Smith consistieron en la colocación de mallas y aplicación de protectores solares. Las mallas utilizadas fueron en todos los casos mallas monofilamento con las siguientes características: malla blanca translúcida 20% (MB); malla negra 35% (MN35); malla negra 50% (MN50). Los protectores solares (PRO) fueron caolina (Surround WP®, 50 K/ha) y CaCO₃ (Purshade®, 30 l/ha), aplicados en 4 y 5 ocasiones para las temporadas 1 y 2, respectivamente. Todos los tratamientos se instalaron en cada temporada a mediados del mes de diciembre, entre la semana 6 y 9 después de plena floración (SDPF) y se mantuvieron hasta la cosecha. Los tratamientos de protectores fueron reiterados cada vez que fue necesario, en función de las precipitaciones (luego de la acumulación de 10 mm) y/o el nivel de cubrimiento de los frutos. Las mallas fueron evaluadas durante las 4 temporadas mientras que los protectores solares fueron aplicados en las temporadas 1 y 2.

El diseño experimental a campo fue bloques completos al azar con 3 repeticiones por tratamiento. Las parcelas bajo malla fueron de una superficie de 600m² (12 x 50 m) cubriendo fila y entrefila. Las parcelas testigo (TES) y de aplicaciones de protectores fueron de 15 m de largo y una fila. Las mediciones fueron realizadas en los tres árboles centrales.

En cada repetición se marcaron frutos a una altura entre 1,5 y 2m en las siguientes condiciones: a) expuesto y sin daño de sol visible (FEV); b) expuesto y con coloración roja (FER); c) expuesto y con daño incipiente de sol (FEQ) (bronceado, de acuerdo a Racsko and Schrader (28)); d) interno sin daño de sol visible (FIV) (**Figura 1**). Los frutos fueron marcados y se definió la cara expuesta hacia la entrefila de la plantación, con exposición directa a la radiación solar y la cara interna orientada hacia el tronco, sin exposición directa a la radiación solar. En la temporada 4, para cada condición de fruto de los tres cultivares se muestrearon frutos para la determinación de potencial

hídrico del tejido Ψ_F , en ambas caras (externa Ψ_{FE} e interna Ψ_{FI}). A cosecha la fruta fue clasificada de acuerdo al grado de quemado de sol como: sin daños visibles (FS); con quemado leve, coloraciones blancas o amarillas menor al 25% del fruto (QL); con quemado moderado, entre 25 y 50% de la superficie (QM); y frutos con más del 50% de quemado o con necrosis (QS). En las temporadas 1 y 2 fue evaluado el comportamiento poscosecha en un experimento factorial de tres factores, tratamiento de campo (5 niveles), condición del fruto en cosecha, FS y QL (2 niveles) y aplicación de antiescaldante (2 niveles). Luego de la conservación la fruta fue clasificada según el grado de escaldado como: fruta sana (FS), fruta con escaldado de color amarillo o amarronamiento suave y superficie menor al 25% (FEL), fruta con escaldado color amarillo o amarronamiento suave y superficie cercana al 50% (FEM) y fruta con escaldado de color marrón intenso y/o superficie afectada mayor a 75% (FES). La unidad experimental consistió en una caja con un promedio de 78 frutos y contó con 3 repeticiones. Cada repetición fue paletizada y conservada en cámara frigorífica comercial a temperatura de 0 - 1°C y 95% HR. El tratamiento antiescaldante varió en las temporadas, siendo Difenilamina (DPA) en la temporada 1 y 1-Metilciclopropeno (1-MCP) en la temporada 2. (Figura I).

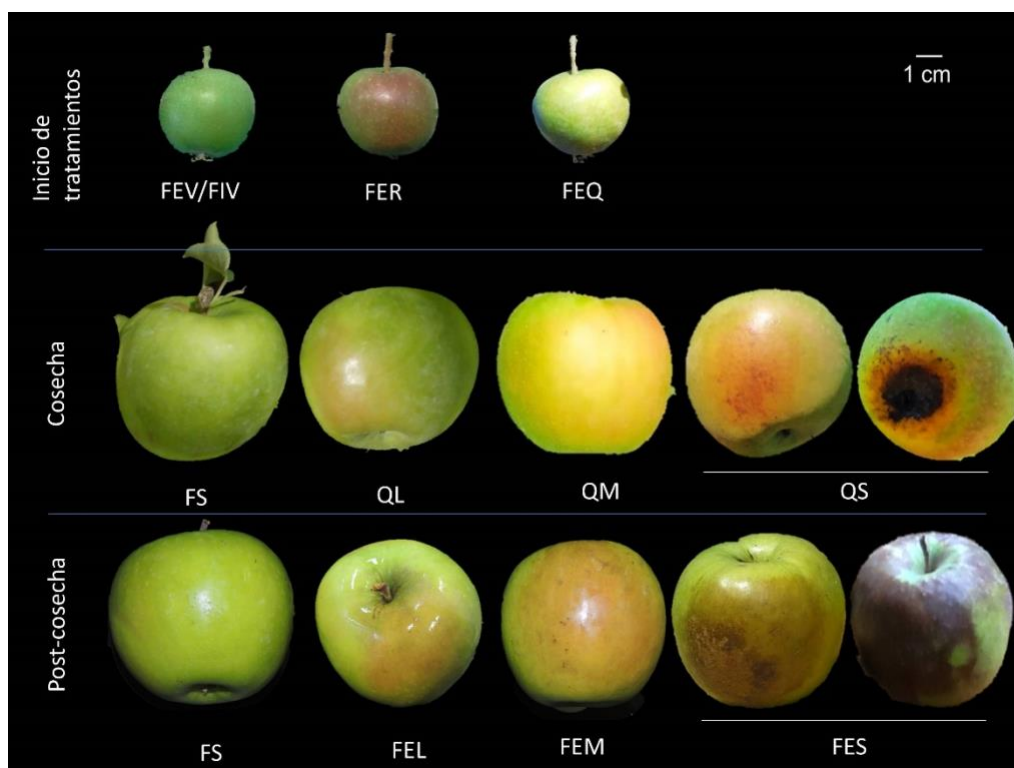


Figura I. Ejemplos de categorías de frutos. Al inicio de los tratamientos (6 semanas después de la plena floración) FEV =fruto externo verde; FIV=fruto interno verde, FER=Fruto externo rojo, FEQ=fruto externo quemado.

En la cosecha FS=fruto sano, QL=fruto ligeramente quemado por el sol, QM=fruto moderadamente quemado por el sol, QS=fruto severamente quemado por el sol

En la poscosecha FS=fruto sano, FEL=fruto ligeramente escaldado, FEM=fruto moderadamente escaldado, FES=fruto severamente escaldado.

2.2 Principales resultados y discusión. - La variabilidad reportada en el daño concuerda con la variabilidad climática descrita por Tiscornia et al. (34) y puede explicarse por el análisis de las variables climáticas de cada año en particular (33).

En el presente estudio las temperaturas de aire fueron variables entre años y modificadas por los tratamientos de mallas mientras que las temperaturas de superficie de fruto presentaron diferencias significativas en relación con el tratamiento y al tipo de fruto (FEQ, FER, FEV o FIV). Los tratamientos PRO y TES presentaron las temperaturas de fruta más altas, con un 35 y 43% de valores sobre 46°C (umbral de TSF para el desarrollo de quemado), el tratamiento MN35 14% y los tratamientos MB y MN50 no presentaron temperaturas por encima de dicho umbral. Los frutos FEQ mostraron mayores medias de TSF (43°C) y la mayor dispersión, mientras que los frutos FEV presentaron la menor dispersión y una media de 39°C, menor a FEQ e igual a FER y FIV (11).

Los tratamientos MN50 y MB también modificaron la radiación incidente sobre el cultivo, en función de la transmitancia. En el rango PAR de longitudes de onda, ésta fue de 0,40 (\pm 0,03) y 0,70 (\pm 0,03) respectivamente. En el IR cercano (entre 700 y 800 nm) la transmitancia de MB aumenta hasta valores cercanos al 100% mientras que en el caso de MN50 disminuye a valores en el entorno de 0,35 (11).

En el año en que fue evaluado, el potencial hídrico de xilema de Granny Smith mostró diferencias entre los distintos manejos realizados. Los valores más negativos son presentados por MB (0,825 MPa), alcanzando diferencias significativas con PRO y MN50, pero no con TES. El tratamiento MN50 fue el que presentó los valores más cercanos a cero que difieren del tratamiento control y de los otros dos tratamientos (-0,54 MPa) (35).

Los coeficientes de correlación de Pearson calculados para las distintas variables evaluadas alcanzaron un máximo de 0,75 entre Ψ_{FE} y [prolina]. La [clorofila] (CHL) medida en laboratorio presentó correlaciones negativas de 0,42 con Ψ_F y de 0,57 con [prolina]. La relación entre Ψ_{FE} y [prolina], CHLa y Ψ_{FE} , tuvieron el mejor ajuste con una regresión polinómica de 2° grado y un r^2 máximo de 0,60 (33).

El Ψ de frutos sanos evaluado para cada una de las condiciones (fruto y cultivar) no presentó diferencias entre ambas caras en ninguna de las fechas de evaluación. Para Cripps Pink las diferencias entre las caras se presentaron en FEQ en las evaluaciones de mitad y fin de ciclo, con una media de la diferencia de 0,5 MPa, mientras que FER no presentaron diferencia entre Ψ_{FE} y Ψ_{FI} . Granny Smith mostró un potencial hídrico menor en la cara externa en las dos últimas fechas en FEQ y FER, siendo el promedio de las diferencias entre caras de 0,45 MPa y 0,27 MPa, respectivamente. Brasil Gala no presentó diferencias entre caras en ninguna condición (35).

La evolución del quemado de sol varió entre estaciones, condiciones de fruto y tratamientos aplicados. En los frutos caracterizados como FIV el porcentaje de quemado nunca superó el 20%, mientras que en los frutos FEQ presentaron porcentajes de quemado final entre 50 y 100% en todas las temporadas estudiadas y bajo todos los tratamientos. Valores intermedios se registraron en los frutos FER y FEV con mayores variaciones entre tratamientos y estaciones. Para FER los valores máximos de quemado bajo malla (MN35, MN50, MB) fueron de 75%. En el tratamiento PRO y el TES de la estación 2 alcanzaron valores cercanos al 100%. Los FEV presentaron daños de quemado de sol superiores al 50% en los tratamientos TES y PRO y menores a dicho valor para los tratamientos bajo malla (MB, MN35 y MN50) (33).

Los productos antiescaldado variaron en las temporadas (DPA y 1-MCP), no obstante, en ambas

temporadas el modelo fue significativo para los tratamientos de campo (TES, PRO, BN35, BN50 y MB), el estado de la fruta al entrar en cámara frigorífica (FS o QL), el tiempo de almacenamiento y el tratamiento poscosecha, así como sus interacciones. Las evaluaciones sucesivas de todas las condiciones registraron aumento de los daños, tanto en incidencia como en severidad. Los frutos sin evidencia de quemadura solar (FS) antes del almacenamiento en frío presentaron mayores proporciones de frutos sin escaldadura (FS) durante el almacenamiento. Ambos antiescaldantes tuvieron efectos similares aumentando la proporción de FS y reduciendo los frutos con escaldado moderado y severo (FEM y FES) (11).

3. Conclusiones. - El presente trabajo fue propuesto con el objetivo de contribuir a la comprensión de la adaptación del cultivo de manzana a las condiciones de clima neotropical y analizar estrategias de manejo que permitan superar las principales limitantes impuestas sobre la calidad de fruta en términos de desórdenes fisiológicos. Para ello, basamos el estudio en las siguientes hipótesis: que existen condiciones de estrés abiótico que determinan la aparición de desórdenes fisiológicos; que existe correlación entre estos desórdenes y una serie de parámetros fisiológicos como potencial hídrico de tejido, concentración de sustancias reactivas al oxígeno, pigmentos y prolina; que es posible la caracterización de los frutos mediante espectroradiometría durante el período de crecimiento y que esta caracterización puede constituir una herramienta de predicción de daños y que existen estrategias de manejo capaces de reducir la pérdida de calidad por desórdenes fisiológicos.

Respecto de las condiciones predisponentes para el quemado, durante el período de estudio se registró una alta variabilidad. Se presentaron condiciones favorables a la ocurrencia de daños tanto en los aspectos referidos a temperaturas máximas como a déficits hídricos. Las temperaturas máximas alcanzaron los máximos históricos (39 °C) y los balances hídricos (con riego) presentaron valores de hasta -150 mm.

De la relación de los factores analizados y la expresión de daños se puede concluir que la disponibilidad de agua en el suelo fue la condición más relacionada con el daño por sol.

El estudio de la evolución de los daños de sol juntamente con el análisis de indicadores fisiológicos destructivos y no destructivos permitió contribuir a la definición de estrategias tendientes a elaborar métodos de predicción de daños. Los abordajes no destructivos están aún en desarrollo y los resultados obtenidos al respecto en este trabajo no permitieron seleccionar ni generar un índice espectroradiométrico que cumpla dicho objetivo. El índice de espectroradiometría PSRI480 fue el de mayor capacidad de discriminación entre frutos sanos y frutos dañados, pero no pudo establecerse un índice capaz de anticipar el desarrollo de desórdenes fisiológicos en campo mediante espectroradiometría. Entre los abordajes destructivos, el potencial hídrico de fruto y la concentración de prolina en los tejidos del fruto presentaron la mayor capacidad de discriminar entre frutos sanos y dañados.

Los avances en la discriminación entre frutos dañados y sanos no implican la capacidad de predecir daños; sin embargo, los métodos de predicción podrían continuar desarrollándose basados en la determinación de condiciones de fruta dañada cuando el daño tiene aún posibilidades de reversión. En este sentido, y considerando los indicadores evaluados en este trabajo, las diferencias de potencial hídrico entre las caras del fruto y la concentración de prolina (como indicadores destructivos) y el índice de espectroradiometría PSRI480 (como indicador no destructivo) presentan las mejores características.

La importancia de la predicción de desórdenes fisiológicos radica en el hecho de que la mayoría de ellos se manifiestan luego del almacenamiento refrigerado. Dicha condición determina que más allá de las posibles pérdidas directas en cosecha o procesamiento de fruta inmediatamente luego de esta, el sector productivo presente pérdidas luego de haber adicionado a los costos de producción de campo los costos asociados al almacenamiento. Esta pérdida de rendimiento comercial luego de incurridos los costos de producción y de almacenamiento reducen la sostenibilidad económica de la producción.

El desarrollo de métodos de predicción, fundamentalmente de aquellos desórdenes fisiológicos que se manifiestan luego de la conservación frigorífica (bitter pit y escaldado por sol), podría constituir una herramienta de gran valor para reducir las pérdidas de fruta y mejorar las perspectivas del sector productivo.

Los manejos propuestos permitieron modificar los factores predisponentes y la presencia de síntomas. La temperatura de aire se redujo únicamente en el tratamiento MN50, sin embargo, la temperatura de la fruta sí fue menor en todos los tratamientos de malla. Los tratamientos TES y PRO presentaron los mayores valores de temperatura de fruto y los tratamientos MN50 y MB presentaron los menores valores. El tratamiento MN50 redujo los valores de temperatura máxima del aire en el período registrado, presentó los valores de potencial de xilema menos restrictivos y las menores temperaturas de fruto. El tratamiento MB, sin embargo, no generó condiciones favorables para la reducción del daño de quemado de sol, ni respecto de la temperatura del aire ni respecto del potencial hídrico de xilema. En ambos tratamientos de malla, el comportamiento del daño, las temperaturas de aire y de fruta, así como la condición hídrica se relacionaron con las modificaciones realizadas sobre la radiación incidente. Mallas negras y blancas redujeron en diferente magnitud pero con un perfil similar, la radiación en las distintas longitudes de onda del rango PAR mientras que las diferencias de comportamiento respecto de la transmitancia para ambos colores de malla se detectaron en el rango entre 350 y 425 nm y entre 700 y 800 nm. El incremento de radiación infrarroja (>740 nm) es de gran aporte calórico y podría estar relacionado a los aumentos de temperatura del aire registrados en el tratamiento de malla blanca. Respecto a las variables crecimiento vegetativo, crecimiento de fruto, inducción y diferenciación floral, no se vieron afectados en los rangos de modificación de la radiación de los tratamientos de malla.

Respecto de la manifestación de síntomas, los manejos instalados mostraron resultados variados. Si bien todos los tipos de malla presentaron valores de quemado menores al testigo, solo el tratamiento MN50 alcanzó diferencias significativas en los daños de quemado a cosecha. Por su parte, en la expresión de sunscald los tratamientos bajo malla y en particular el tratamiento MN50 presentaron siempre menores daños. Los tratamientos de protectores solares no presentaron mejoras en la expresión de daños en campo ni luego del almacenamiento.

La importancia social y económica del cultivo de manzana, establece la necesidad de estudiar y contribuir al desarrollo de medidas de manejo que mejoren su sustentabilidad. La evolución de las condiciones climáticas indica la presencia de una mayor ocurrencia de condiciones predisponentes para el desarrollo de desórdenes fisiológicos; por tanto, los estudios de adaptación ecofisiológica y de medidas de manejo adaptadas a las condiciones locales adquieren gran relevancia. Entre las medidas de manejo se encuentran las de mitigación de los efectos, como la colocación de mallas de sombreamiento o las de adaptación como las herramientas de predicción, ambas abordadas en el presente estudio y con resultados muy promisorios.

Desde el punto de vista de las herramientas de control, el establecimiento de las medidas de manejo para cultivares coloreados implica un desafío que debería estudiarse en futuros trabajos, fundamentalmente en el caso de Cripps pink ya que es el cultivar coloreado en el que se expresan con mayor frecuencia los desórdenes fisiológicos vinculados al daño por sol.

Desde el punto de vista de la prevención y predicción, los aspectos relativos al estatus hídrico del cultivo (estudio de potenciales hídricos y contenidos de prolina) parecen establecerse como promisorios para profundizar desde el conocimiento básico y contribuir a generar herramientas aplicadas al ámbito productivo. En este sentido parece relevante avanzar en estudios realizados en condiciones de crecimiento controlado, en donde se manejen los factores predisponentes y se permita evaluar los estados iniciales y reversibles de la expresión de daños.

4. Referencias

- [1] MGAP-DIEA. (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca – Dirección de estadísticas Agropecuarias) Anuario estadístico. [en línea]. 2014. Consultado 04/03/2021, disponible en: <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Documentos%20compartidos/Anuario2014/Diea-Anuario%202014-Digital01.pdf>
- [2] Gazzano I, Achkar M, Apezteguía E, Ariza J, Gómez Perazzoli A, Pivel J. Ambiente y crisis en Uruguay. *Revista de Ciencias Sociales*. 2021.34:13–40
- [3] Dogliotti S, García MC, Peluffo S, Dieste, JP, Pedemonte AJ, Bacigalupe GF, Scarlato M, Alliaume F, Alvarez J, Chiappe M, Rossing WAH. Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. *Agricultural Systems*. 2014. 126:76–86. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.02.009>
- [4] MGAP-DIEA. (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca – Dirección de estadísticas Agropecuarias). Encuesta frutícola de hoja caduca Zafra [en línea]. 2016. Consultado 04/03/2021, disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/encuesta-fruticola-hoja-caduca-zafra-2016-nro-338>
- [5] Proexport. Frutas Frescas. Uruguay XXI Instituto de Promoción de Inversiones y Exportaciones. 2013.12p.
6. XXI Uruguay. Producción y comercio exterior frutas frescas Inteligencia competitiva. URUGUAY XXI Instituto de Promoción de Inversiones y Exportaciones. 2016.
7. Feippe A, Muller I, Echeverría G, Lamarca N, Chiesa N, Viñas I, Albín A, Teixido N. Calidad de la carne y otros distintos sistemas productivos; componente frutas, manzana y citrus. Serie técnica n.º 163 INIA, Uruguay. 2007. 58p. ISBN: 978-9974-38-231-2
8. Feippe A. Desordenes fisiológicos y problemas más comunes observados durante el almacenamiento de manzanas, peras y ciruelas en Uruguay. *Boletín de divulgación INIA n.º 55*. Uruguay. 1995. 16p. ISBN: 9974-38-048-0
9. Feippe A, Rebellato J, Fredes A, Severino V. Jornada de divulgación: mancha lenticelar. Programa de Investigación en Producción Frutícola. Serie Actividades de Difusión n.º 649. 2011. pp 1–30
10. Reig G, Donahue DJ, Jentsch P. The Efficacy of Four Sunburn Mitigation Strategies and Their Effects on Yield , Fruit Quality , and Economic Performance of Honeycrisp Cv . Apples under Eastern New York (USA) Climatic Conditions. *International Journal of Fruit Science*. 2019. 0:1–21. doi: 10.1080/15538362.2019.1605558
11. Severino V, Arias-Sibillotte M, Dogliotti S, Frins E, Yuri J A, González-Talice J. Pre- and Postharvest Management of Sunburn in ‘Granny Smith’ Apples (*Malus×domestica* Borkh) under Neotropical Climate Conditions. *Agronomy*. 2021. (11)1618. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/8/1618>
12. Tripathi DK. Plant life under changing environment responses and management, Academic. London. 2020. 520p.
13. Ramírez F, Kallarackal J. Ecophysiology of temperate fruit trees in the tropics. *Advances in Environmental Research*. 2014. 31:89–101

14. Bernardi, R.E., Holmgren, M., Arim, M., Scheffer, M., Why are forests so scarce in subtropical South America? The shaping roles of climate, fire and livestock. *For. Ecol. Manage.* 2016. (363) 212–217.
15. FAO-MGAP (Food and Agriculture Organization – Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca), Sensibilidad y capacidad adaptativa de la viticultura y la fruticultura frente al cambio climático. Volumen VI de Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Autores: Ferrer M; Camussi G; Fourment M, Varela V; Pereyra G; Taks J, Contreras S; Cruz G; Astigarraga L; Picasso V. Resultado del proyecto FAO TCP URU 3302, Montevideo. Corrección de estilo: Galván M. Diseño: Grille E. 2013. Disponible en: <http://www.fao.org/climatechange/84982/es>
16. Giménez A, Lanfranco B. Adaptación al cambio climático y la variabilidad : algunas opciones de respuesta para la producción agrícola en Uruguay. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 2012. 3:611–620
17. Glenn DM, Yuri JA. Photosynthetically active radiation (PAR)×ultraviolet radiation (UV) interact to initiate solar injury in apple. *Scientia Horticulturae.* 2013. 162:117–124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.037>
18. Torres CA, Sepúlveda A, González-Talice J, Yuri JA. Razmilic I. Fruit water relations and osmoregulation on apples (*Malus domestica* Borkh.) with different sun exposures and sun-injury levels on the tree. *Scientia Horticulturae.* 2013. 161:143–152. doi: 10.1016/j.scienta.2013.06.035
19. Mupambi G. Water relations and sunburn in apple fruit. Dissertation presented for the degree of Doctor of Philosophy (Agric) in the Faculty of AgriScience at Stellenbosch University. 2017. 256p
20. Ferguson I, Volz R, Woolf A. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. *Postharvest Biology and Technology.* 1999. 15:255–262. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00089-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00089-1)
21. Schrader L, Sun J, Zhang J, Felicetti D, JUN T. Heat and Light-Induced Apple Skin Disorders: Causes and Prevention. *Acta Horticulturae.* 2008. 51–58.
22. Lin-Wang K, Micheletti D, Palmer J, Volz R, Lozano L, Espley R, Hellens RP, Chagné D, Rowan DD, Troglio M, Iglesias I, Allan A C. High temperature reduces apple fruit colour via modulation of the anthocyanin regulatory complex. *Plant, Cell & Environment.* 2011. 34:1176–90. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02316.x>
23. Torres CA, León L, Sánchez-Contreras J. Spectral fingerprints during sun injury development on the tree in Granny Smith apples: A potential non-destructive prediction tool during the growing season. *Scientia Horticulturae.* 2016. 209:165–172. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.06.024>
24. Monge E, Val J, Sanz M, Montañés ABL. El calcio nutriente para las plantas. Bitter pit en manzano. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza).* 1994. Vol. 21, n.3: 189-201
25. Lötze E, Theron KI. Evaluating the Effectiveness of Pre-Harvest Calcium Applications for Bitter Pit Control in ‘Golden Delicious’ Apples Under South African Conditions. *Journal of Plant Nutrition.* 2007. 30:471–485. <https://doi.org/10.1080/01904160601172098>
26. Yuri JA. Daño por sol en manzanas. *Fruticultura.* 2010. 8:2–9

27. Szabó A, Tamás J, Nagy A. The influence of hail net on the water balance and leaf pigment content of apple orchards. *Scientia Horticulturae*. 2021. 283: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110112>
28. Racsco J, Schrader LE. Sunburn of Apple Fruit: Historical Background, Recent Advances and Future Perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2012. 31:455–504. <https://doi.org/10.1080/07352689.2012.696453>
29. Yuri JA, Neira A, Fuentes M, Razmilic I, Lepe V, González MF. Bagging cv. Fuji, Raku Raku Apple Fruit Affects Their Phenolic Profile and Antioxidant Capacity. *Erwerbs-Obstbau*. 2020. 62:221–229. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00475-0>
30. Tartachnyk I, Kuckenbergh J, Yuri JA, Noga G. Identifying fruit characteristics for non-invasive detection of sunburn in apple. *Scientia Horticulturae*. 2012. 134:108–113. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.009>
31. Solovchenko AE, Chivkunova OB, Gitelson AA, Merzlyak MN. Non-Destructive Estimation Pigment Content , Ripening , Quality and Damage in Apple Fruit with Spectral Reflectance in the Visible Range. *Fresh Produce*. 2010. 4:91–102
32. Solovchenko A, Dorokhov A, Shurygin B, Nikolenko A, Velichko V, Smirnov I, Khort D, Aksenov A, Kuzin A. Linking tissue damage to hyperspectral reflectance for non-invasive monitoring of apple fruit in orchards. *Plants*. 2021. 10:1–15. <https://doi.org/10.3390/plants10020310>
33. Severino V, Arias-Sibillotte M, Dogliotti S, Frins E, González-Talice J, Yuri J A. Climatic and physiological parameters related to the progress and prediction of apple sunburn damage in a neotropical climate. *Advances in Horticultural Science*. 2020. 34:431–440. <https://doi.org/10.13128/ahsc>
34. Tiscornia, G., Cal, A., Giménez, A., Análisis y caracterización de la variabilidad climática en algunas regiones de Uruguay. *RIA Rev. Investig. Agropecu*. 2016. 42, 66–71.
35. Severino, V. Estrés abiótico en clima neotropical influencia la producción de pigmentos, capacidad antioxidante y expresión de desórdenes fisiológicos en manzanas. Tesis de doctorado. Universidad de la República (Uruguay). 2022. Facultad de Agronomía. Unidad de Posgrados y Educación Permanente.

Nota contribución de los autores:

1. Concepción y diseño del estudio
2. Adquisición de datos
3. Análisis de datos
4. Discusión de los resultados
5. Redacción del manuscrito
6. Aprobación de la versión final del manuscrito

VS ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

Nota de aceptación: Este artículo fue aprobado por los editores de la revista Dr. Rafael Sotelo y Mag. Ing. Fernando A. Hernández Goberti.