

## Effect of the application of CaCO<sub>3</sub>-based sunburn suppressants on apple fruit quality

## Efecto de la aplicación de protectores solares a base de CaCO<sub>3</sub> en la calidad de frutos de manzana

Jocou, A.<sup>1</sup>; Muñoz Pérez, M.<sup>1</sup>; Vita, L.<sup>1-2\*</sup>; Colavita, G.<sup>1-2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional del Comahue. Cinco Saltos, Río Negro, Argentina.

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones en Toxicología Ambiental y Agrobiotecnología del Comahue (CITAAC), Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional del Comahue. Cinco Saltos, Río Negro, Argentina.

\*Autor de correspondencia: laura.vita@faca.uncoma.edu.ar

Recibido: 09/08/2021

Aceptado: 01/11/2021

### ABSTRACT

Jocou, A.; Muñoz Pérez, M.; Vita, L.; Colavita, G. 2022. Effect of the application of CaCO<sub>3</sub>-based sunburn suppressants on apple fruit quality. Horticultura Argentina 41 (104): 19-34. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/dh8u211bd>

High solar radiation promotes stress conditions in apple plants [*Malus domestica* (Suckow) Borkh.], which can be attenuated using sunburn suppressants products. Generally, the effect of sun protection agents has been analyzed using univariate techniques. The aim of the present study was to characterize, through multivariate statistical analysis, the effect of CaCO<sub>3</sub>-based sunburn suppressants on quality variables of 'Braeburn' apples. The experiment was conducted under a completely randomized design with three treatments (T=control, A=CaCO<sub>3</sub>, B=CaCO<sub>3</sub>+ZnO) and four replicates. Each treatment was sprayed four times: A, 2% w v<sup>-1</sup>; B, 5% w v<sup>-1</sup> for the first application and 2.5% w v<sup>-1</sup> for the three remaining ones. At

harvest, sunburn degree and, in non-affected fruit, size and maturity indices were determined. Three groups (G) were distinguished. G1 consisted of T fruit and was characterized by lower fruit weight, more severe sun damage proportion of fruits, and an advanced maturity. G2 encompassed A and T fruit and showed intermediate characteristics between G1 and G3. G3 consisted of B fruit and showed higher weight, less severe sun damage, and lower maturity. Multivariate analysis allowed visualizing the effect of CaCO<sub>3</sub>-based formulations on fruit several quality variables simultaneously. We conclude that application of CaCO<sub>3</sub> decreased severe sunburn, increased fruit weight, and delayed fruit maturity at harvest. Further research is needed to elucidate the physiological, biochemical and oxidative mechanisms mediating the effects of foliar CaCO<sub>3</sub> applications on apple fruit.

**Additional keywords:** multivariate analysis, abiotic stress, pome fruit trees, solar radiation.

## RESUMEN

Jocou, A.; Muñoz Pérez, M.; Vita, L.; Colavita, G. 2022. Efecto de la aplicación de protectores solares a base de CaCO<sub>3</sub> en la calidad de frutos de manzana. Horticultura Argentina 41 (104): 19-34. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/dh8u211bd>

La elevada radiación solar promueve condiciones estresantes en plantas de manzana [*Malus domestica* (Suckow) Borkh.] que pueden ser atenuadas con el uso de protectores solares. Generalmente, su efecto se ha analizado mediante técnicas univariadas. El objetivo del presente estudio fue caracterizar, a través de un análisis estadístico multivariado, el efecto de protectores solares a base de CaCO<sub>3</sub> en variables de calidad de manzanas 'Braeburn'. El experimento se estableció bajo un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos (T=testigo, A=CaCO<sub>3</sub>, B=CaCO<sub>3</sub>+Zn) y cuatro repeticiones. Se aplicaron cuatro pulverizaciones: A, 2% p v<sup>-1</sup>; B, primera al 5% p v<sup>-1</sup> y restantes al

2,5% p v<sup>-1</sup>. A cosecha se determinó grado de asoleado y, en frutos sanos, tamaño e índices de madurez. Se diferenciaron tres grupos (G). G1 constituido por individuos T, caracterizado por frutos de menor peso, mayor proporción de asoleado grave y madurez avanzada. G2 formado por individuos A y parte de T, con características intermedias entre G1 y G3. G3 formado por individuos B, con frutos de mayor peso, menor asoleado grave y menor madurez. El análisis multivariado permitió visualizar el efecto del CaCO<sub>3</sub> sobre diversas variables de calidad simultáneamente. La aplicación de CaCO<sub>3</sub> disminuyó el asoleado grave, aumentó el peso de los frutos y retrasó la madurez a cosecha. Es necesario profundizar en los mecanismos fisiológicos, bioquímicos y oxidativos involucrados en los efectos de las aplicaciones foliares de CaCO<sub>3</sub> en frutos de manzana.

**Palabras claves adicionales:** análisis multivariado, estrés abiótico, pomáceas, radiación solar.

## 1. Introducción

El asoleado o el daño por sol (*sunburn*) es un desorden fisiológico causado por la alta intensidad de la radiación solar y elevadas temperaturas durante el desarrollo de los frutos en diversas especies, entre ellas el manzano [*Malus domestica* (Suckow) Borkh.] (Racsko & Schrader, 2012). El calentamiento excesivo y la alta radiación en la cara de los frutos expuestos al sol pueden superar el límite de tolerancia generando un exceso de energía de excitación en las biomoléculas promoviendo estrés oxidativo. Estos procesos oxidativos afectan a la cutícula y epidermis del fruto pudiendo alcanzar la necrosis de los tejidos (Liu *et al.*, 2019). La intensidad y combinación de elevada temperatura y radiación solar que reciban los tejidos determinará el grado de daño por sol. Se describen al menos tres tipos de daño por sol en frutos de manzana: el que presenta tejidos necróticos, el que avanza en diferentes niveles de bronceado y el fotooxidativo, característico de frutos que son repentinamente expuesto a radiación solar (Racsko & Schrader, 2012). El daño por sol se registra en la mayoría de las regiones productoras de manzana y provoca grandes pérdidas económicas (Lal & Sahu, 2017).

Varios factores contribuyen junto a la temperatura y la radiación solar al desarrollo del daño por asoleado, como el cultivar y el portainjerto, la orientación de hileras, la estructura del árbol y las prácticas culturales (Morales-Quintana *et al.*, 2020). Los cultivares 'Granny Smith' y

‘Jonagold’ son muy susceptibles, ‘Fuji’, ‘Golden Delicious’, ‘Braeburn’, ‘Boskoop’ y ‘Red Delicious’ son moderadamente sensibles, mientras que ‘Cripp’s Pink’, ‘Idared’ y ‘Topaz’ son menos susceptibles (Racsko & Schrader, 2012). Plantaciones de alta densidad con árboles más pequeños son más susceptibles al daño por sol debido a una mayor exposición a la fruta que en las plantaciones tradicionales. Los portainjertos enanizantes, que promueven un menor vigor vegetativo, aumentan la penetración de la luz en la planta, lo cual incrementa su susceptibilidad al asoleado. La orientación de las filas norte-sur tiene una mayor incidencia en el lado oeste, mientras que las orientaciones este-oeste tienen una mayor incidencia en el lado norte de los árboles. La nutrición mineral también puede tener efectos sobre el desarrollo de esta fisiopatía (Morales-Quintana *et al.*, 2020). Una adecuada fertilización con nitrógeno provee a la planta de mayor follaje lo que podría generar mejor protección de los frutos de la excesiva radiación solar (Racsko & Schrader, 2012).

A nivel comercial, el daño por sol se puede clasificar en tres categorías: sin daño, leve y grave. Los frutos con daño leve suelen ubicarse como segunda calidad mientras que aquellos con daño grave se descartan (Raffo *et al.*, 2015). Además, cuantitativamente se han registrado variaciones en la firmeza de pulpa, la materia seca, la concentración de sólidos solubles totales y la acidez titulable. Consecuentemente, el estrés por elevada radiación solar afecta el proceso de maduración de los frutos y promueve el desarrollo de otros desórdenes (Racsko & Schrader, 2012).

En Argentina, el 90% de la fruta de pepita se produce en los valles irrigados de la Patagonia Norte. La producción de manzanas en la zona se estima alrededor de las 950 mil toneladas anuales, de las cuales el 59% se destina a consumo en fresco (MHyFP, 2016). La potencialidad de la fruta en el mercado para consumo en fresco se relaciona directamente con su calidad, por lo tanto, cualquier daño, incluido el asoleado, puede afectar económicamente la producción (Raffo *et al.*, 2015).

El Alto Valle del Río Negro y Neuquén es una región categorizada por Thornthwaite, como zona árida a semiárida, mesotermal, con precipitación media anual de 197,7 mm y marcada amplitud térmica. En enero, la temperatura máxima media es de 31,1°C con máximas cercanas a los 40°C. El mes más frío es julio con una temperatura mínima media de -0,7°C. La región se caracteriza por tener altos valores de radiación global (1260 W.m<sup>-2</sup>) y de insolación. El fotoperíodo tiene su valor máximo en diciembre con 15,9 horas y disminuye paulatinamente hasta junio, con un valor de 10,4 horas (Rodríguez & Muñoz, 2006).

Las condiciones de intensa radiación solar y las altas temperaturas combinan condiciones climáticas predisponentes para la ocurrencia de asoleado en frutos en la región del Alto Valle. Las prácticas culturales que pueden implementarse para limitar el daño producido por el sol durante el desarrollo de los frutos incluyen el *cooling* evaporativo, mallas antigranizo y protectores solares como caolín y CaCO<sub>3</sub> (Racsko & Schrader, 2012; Raffo *et al.*, 2015). Los protectores solares a base de CaCO<sub>3</sub> han demostrado la eficacia para reducir este daño en diversos cultivos como vid, granada, *berries* y manzana (Lal & Sahu, 2017) aunque su efecto sobre otras variables de calidad como el tamaño de los frutos, la firmeza de pulpa, el contenido de sólidos solubles totales y la acidez titulable no han sido aún consistentes (Guerra *et al.*, 2011; Zaman *et al.*, 2019). Por otra parte, estas estrategias no son completamente efectivas y pueden tener consecuencias negativas o costos significativos asociados con estas prácticas, las que limitan su adopción o la efectividad de las mismas (Morales-Quintana *et al.*, 2020).

Generalmente, el análisis del efecto de los métodos de atenuación del asoleado sobre frutos se ha realizado con técnicas univariadas (Colavita *et al.*, 2011; Sharma *et al.*, 2018; Abd El-Naby *et al.*, 2020; Gabardo *et al.*, 2020). Sin embargo, a diferencia de las anteriores, el análisis multivariado es considerado de gran utilidad para obtener una evaluación integral de las variables en su conjunto (Moreno *et al.*, 2014).

Una técnica estadística multivariada es el Análisis de Componentes Principales, el cual permite extraer la información más importante de un conjunto de variables que pueden estar correlacionadas entre sí, comprimir datos manteniendo sólo la información que se considere importante y simplificar la descripción de un conjunto de datos (Abdi & Williams, 2010). El Análisis de Conglomerados se utiliza para la formación de grupos con características similares y está compuesto por el cálculo de los índices de similitud o de disimilitud y la aplicación de un método de aglomeración adecuado. Los índices de disimilitud son conocidos como distancias. La distancia más básica es la euclídea y se basa en el teorema de Pitágoras (Núñez Colín & Escobedo López, 2011).

El objetivo del presente estudio fue caracterizar, a través del análisis estadístico multivariado, el efecto de protectores solares a base de CaCO<sub>3</sub> en diversas variables de calidad de fruto en manzanas 'Braeburn'.

## 2. Materiales y métodos

El experimento se estableció durante la temporada 2014-2015 en una parcela de manzanos [*Malus domestica* (Suckow) Borkh.] cultivar 'Braeburn' sobre portainjerto EM7, situado en un establecimiento comercial de Cinco Saltos (38° 49' 31" S, 68° 3' 42" O), en el Alto Valle de Río Negro (Argentina). Este cultivo fue implantado en el año 1995 y conducido en sistema de espaldera en sentido este-oeste. El marco de plantación fue de 4 m × 2 m entre filas y entre plantas, respectivamente, con 4,5 m de altura y 1,5 m de ancho de planta. Al momento del estudio las plantas presentaban buena condición sanitaria y un adecuado manejo cultural representativo de la zona. La fecha de plena floración para el cultivar 'Braeburn' en la parcela del estudio fue el 26 de septiembre de 2014. En la Tabla 1 se muestra las temperaturas media, máxima y mínima y la radiación registrada en la localidad de Cinco Saltos durante los meses de crecimiento del fruto hasta cosecha.

**Table 1:** Meteorological data during 'Braeburn' apple fruit growth until harvest in Cinco Saltos, Argentina, 2014–2015.

**Tabla 1:** Datos meteorológicos durante el crecimiento de frutos de manzana 'Braeburn' hasta cosecha en Cinco Saltos, Argentina 2014-2015.

Temperatura		Octubre 2014	Noviembre 2014	Diciembre 2014	Enero 2015	Febrero 2015	Marzo 2015
Temperatura media (°C)	Máxima	21,5	24,1	24,5	27,4	26,7	25,0
	Media	14,8	17,1	20,6	23,0	21,0	18,8
	Mínima	9,0	6,9	13,3	16,9	13,4	11,6
Temperatura máxima (°C)	Máxima	31,9	33,2	34,8	36,4	34,9	35,2
	Media	22,3	24,7	28,4	31,2	29,1	21,1
	Mínima	13,5	7,4	18,7	24,9	22,6	28,7
Temperatura mínima (°C)	Máxima	12,7	14,2	17,3	20,8	19,2	18,3
	Media	7,0	8,7	11,6	13,1	12,7	9,2
	Mínima	0,2	0,6	4,3	6,1	4,6	-0,1
Radiación global (W m <sup>-2</sup> )	Máxima	1116,0	1093,0	1230,0	1109,0	1143,0	876,0
	Media	830,4	925,2	975,4	965,6	894,9	772,5
	Mínima	70,0	145,0	285,0	902,0	809,0	673,0

Elaboración propia con datos de la estación agrometeorológica de INTA Alto Valle. Estación automática Cinco Saltos. Facultad de Ciencias Agrarias (INTA, 2016).

El experimento se estableció bajo un diseño estadístico completamente aleatorizado, con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Se utilizó una formulación en suspensión acuosa de CaCO<sub>3</sub> al 62,5% p v<sup>-1</sup> (tratamiento A) y una formulación como polvo mojable de CaCO<sub>3</sub> al 97% p p<sup>-1</sup> y ZnO al 3% p p<sup>-1</sup> (tratamiento B), ambos de uso comercial. Se dejaron plantas sin aplicación de protector solar como testigo (T).

Las repeticiones en cada tratamiento fueron una planta completa y la cantidad de aplicaciones, concentraciones y dosis se establecieron según recomendación de marbete de los productos comerciales (Tabla 2).

Las aplicaciones se efectuaron con una mochila a explosión, con motor de dos tiempos de 62 cm<sup>3</sup>, con 18 L de capacidad de tanque. A partir del marco de plantación y altura del monte se estableció un TRV (*Tree Row Volume*) de 1600 L ha<sup>-1</sup>. Se aplicó un volumen de 2,5 L planta<sup>-1</sup> de suspensión acuosa.

**Table 2:** Time of application in days after full bloom (dAFB) in cv. 'Braeburn', application concentration of commercial formulation and CaCO<sub>3</sub> concentration (in parentheses), in the aqueous suspension for each treatment. Concentrations are expressed as % w v<sup>-1</sup>. Cinco Saltos, Argentine, 2014–2015.

**Tabla 2:** Momento de aplicación en días después de plena floración (ddpf) del cultivar 'Braeburn', concentración de aplicación del formulado comercial y de CaCO<sub>3</sub> (entre paréntesis) en la suspensión acuosa correspondiente a cada tratamiento. Las concentraciones se expresan en % p v<sup>-1</sup>. Cinco Saltos, Argentina, 2014-2015.

Momento de aplicación (ddpf)	Concentración según tratamientos		
	Testigo	Tratamiento A	Tratamiento B
82	-	2,0 (1,25)	5,0 (4,85)
94	-	2,0 (1,25)	2,5 (2,42)
119	-	2,0 (1,25)	2,5 (2,42)
144	-	2,0 (1,25)	2,5 (2,42)

El 9 de marzo de 2015, al inicio de la cosecha comercial del cultivar, se recolectó el total de frutos de todos los tratamientos y se determinó visualmente la cantidad de frutos con diferente nivel de daño según Colavita (2011) y Racsko & Schrader (2012). Se consideraron frutos sanos aquellos sin signos de daño o deterioro. Frutos con daño leve, aquellos con una ligera coloración amarillenta; y con daño grave, cuando presentaban una coloración bronceada o necrótica de la zona afectada (Figura 1).

Para evaluar el efecto de la aplicación CaCO<sub>3</sub> sobre el tamaño de frutos y los índices de madurez, se tomó una muestra al azar de 10 frutos sanos de cada repetición; 40 en total para cada tratamiento.

Los frutos se pesaron con una balanza Ohaus CS2000 (2000 g +/- 1 g). Su diámetro ecuatorial fue medido a través de un calibre electrónico marca Güss (Güss, Stand, Sudáfrica). A partir de

estos datos se determinó la relación peso/diámetro a través del cálculo del cociente del peso y diámetro individual de cada fruto.

La firmeza de pulpa se determinó a través de un presiómetro Effegi modelo 327 (Alfonsine, Italia) con émbolo de 11,1 mm. Se retiró cuidadosamente la epidermis y se tomaron dos lecturas en la zona ecuatorial hendiendo el émbolo en la pulpa de cada fruto (Mitcham *et al.*, 1996). Los resultados fueron expresados en lb pulg<sup>-2</sup>.



**Figure 1:** Sun damage levels (healthy, mild, and severe) in 'Braeburn' apples. Cinco Saltos, Argentina, 2014–2015.

**Figura 1:** Niveles de daño por sol (sano, leve y grave) en manzanas 'Braeburn'. Cinco Saltos, Argentina, 2014-2015.

Para la determinación de la concentración de sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable se extrajo de cada fruto una muestra de 3 cm de ancho, que incluyera la epidermis hasta el interior del endocarpio, y se realizó la extracción de jugo con una juguera Philips HR-1855-00. Los sólidos solubles se cuantificaron utilizando un refractómetro digital autocompensado Atago 0-32% (Tokio, Japón) y los resultados se expresaron en °Brix. (1%=1°Brix). Para determinar la acidez titulable se realizó una dilución de 5 mL de jugo con agua destilada llegando a 100 mL de solución. A partir de la misma, mediante titulación con NaOH 0,1N hasta pH 8,2 medido con un peachímetro Arcano PHS-3E, se obtuvo la acidez titulable la cual se expresó como g L<sup>-1</sup> de ácido málico (Mitcham *et al.*, 1996).

La cuantificación del índice de degradación del almidón se obtuvo a través de la prueba con reactivo de Lugol (0,33% de yodo + 0,66% de yoduro de potasio). Los frutos fueron cortados en la región ecuatorial y la mitad que contenía el pedúnculo fue inmersa en la solución de Lugol durante 1 minuto. Luego de retirarlos de la solución, fueron comparados con los valores de la carta de test de almidón de INTA, donde 0% indica el tenor máximo de almidón y 100% indica ausencia del mismo (Candan & Calvo, 2015).

Los resultados obtenidos para número de frutos sanos (%) y con daño por sol leve y grave (%), peso (g), diámetro (mm), relación peso/diámetro (g mm<sup>-1</sup>), firmeza de pulpa (lb pulg<sup>-2</sup>), concentración de SST (°Brix), acidez titulable (g L<sup>-1</sup>) e índice de degradación de almidón (%), se sometieron a un análisis de la varianza, aplicando la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para la separación de medias. Los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad se probaron utilizando las pruebas de Levene y de Shapiro Wilk, respectivamente. Los resultados expresados en porcentaje fueron transformados previamente a arcoseno para el cumplimiento de los supuestos.

Para caracterizar las relaciones entre las variables de calidad, los datos se procesaron mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando el paquete FactoMineR (Lê *et al.*, 2008) a partir de los datos estandarizados. Para la interpretación del ACP se observaron las variables con un valor absoluto de correlación >0,55 en cada dimensión.

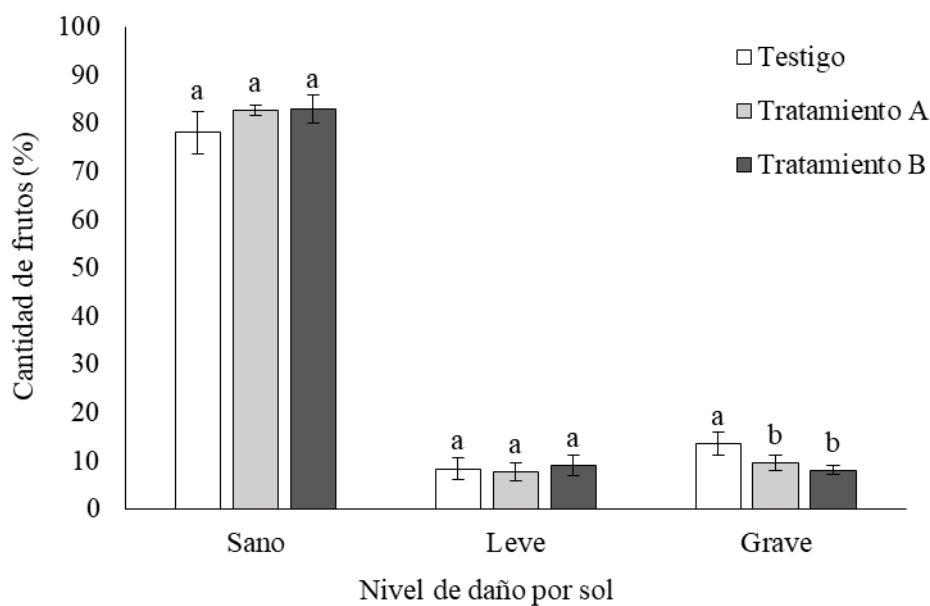
Se realizó un análisis de conglomerados (AC) a partir de la matriz de distancia euclídea y el método de enlace completo.

El análisis estadístico se procesó a través de la interfaz R-Commander (Fox, 2005) en el programa estadístico de código abierto y libre distribución R versión 3.5.1 para Windows (R Core Team, 2013).

### 3. Resultados y discusión

Los tratamientos con CaCO<sub>3</sub> como protector solar durante el desarrollo de los frutos produjeron a cosecha una menor cantidad de frutos con daño grave en el tratamiento A (9,6%) y el tratamiento B (8,1%) respecto al testigo (13,6%) (Figura 2). Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas en el porcentaje de frutos sanos o con daño leve. Abd El Rhman *et al.* (2020) indicaron en manzana cultivar 'Anna' similares resultados, en la aplicación de CaCO<sub>3</sub> como protector solar. Tanto los protectores solares formulados con caolín como con CaCO<sub>3</sub> son capaces de reflejar parte de la radiación solar, especialmente las longitudes de onda ultravioleta e infrarroja, lo que reduce la temperatura de la superficie de la fruta y disminuye el daño por sol (Alvarez *et al.*, 2015; Lal & Sahu, 2017; Munné Bosch & Vincent, 2019).

Algunas investigaciones postulan enfoques diferentes del modo de reducción del daño por sol en frutos de manzana, como cambios en la composición bioquímica de la epidermis después de la aplicación foliar de Ca (Lötze *et al.*, 2017). Sin embargo, los mecanismos por los cuales podría ingresar CaCO<sub>3</sub> en la epidermis y pulpa de los frutos de manzana no están aún dilucidados.



**Figure 2:** Number of healthy fruits and with mild and severe sunburn at harvest in 'Braeburn' apples. Cinco Saltos, Argentine, 2014–2015.

Different letters within each sunburn level indicate significant differences according to Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ). Vertical bars represent  $\pm$  S.D.

**Figura 2:** Número de frutos sanos y con daño por sol leve y grave a cosecha en manzanas 'Braeburn'. Cinco Saltos, Argentina, 2014-2015.

Letras diferentes dentro de cada nivel de daño por sol indican diferencias significativas según prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Las barras verticales representan  $\pm$  D.E.

El síntoma de daño por sol en los frutos se manifiesta cuando la intensa irradiación solar y elevada temperatura exceden la capacidad fotosintética y se forman especies reactivas de oxígeno en exceso que no pueden ser neutralizadas por los mecanismos antioxidantes (Morales-Quintana *et al.*, 2020). En este sentido Lötze *et al.* (2017) indicaron que la reducción del daño por sol en tratamientos con Ca podría relacionarse con sus propiedades antioxidantes, entre ellas su papel en la señalización y regulación de la concentración de clorofilas, antocianinas y glicósidos de quercetina, las cuales participan en la defensa de la piel de los frutos frente al daño por sol. Mwije *et al.* (2020) propusieron que, aunque no encontraron cambios significativos en la peroxidación de lípidos de membranas, los tratamientos con boro más calcio pueden tener efecto positivo sobre los pigmentos fotosintéticos de la cáscara de manzana. Los protectores solares previenen la degradación de la clorofila e incrementan la concentración de carotenoides en situaciones de estrés y por lo tanto la protección del aparato fotosintético (Brito *et al.*, 2019).

En el presente estudio, el tratamiento A incrementó el peso medio de fruto 4,7% y el tratamiento B 7,3% respecto al testigo (Tabla 3); sin embargo, el diámetro medio del fruto no fue afectado por las aplicaciones de CaCO<sub>3</sub>. A partir de estas variables se calculó la relación peso/diámetro de frutos indicando un incremento de dicha relación de 3,4% en el tratamiento A y 6,5% en el B respecto al testigo. El efecto de la aplicación de protectores solares sobre el tamaño de frutos y el rendimiento no ha sido claro aún en investigaciones previas (Brito *et al.*, 2019). El uso de películas reflectantes en manzanas ‘Royal Gala’ y ‘Cripp’s Pink’ no presentó incrementos del tamaño de los frutos (Gindaba & Wand, 2005), mientras que en manzanas ‘Anna’ se registraron incrementos en el peso de los frutos en comparación con el control (Abd El Rhman *et al.*, 2020).

**Table 3:** Fruit diameter (mm), fruit weight (g) and weight/diameter ratio (g mm<sup>-1</sup>) at harvest in ‘Braeburn’ apples. Cinco Saltos, Argentine, 2014–2015. Data are means ± S.D. Different letters in each column indicate significant differences according to Tukey's test (p≤0.05).

**Tabla 3:** Diámetro de fruto (mm), peso de fruto (g) y relación peso/diámetro (g mm<sup>-1</sup>) a cosecha en manzanas ‘Braeburn’. Cinco Saltos, Argentina, 2014-2015. Los valores presentados corresponden a la media ± D.E. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según prueba de Tukey (p≤0,05).

Tratamientos	Diámetro de fruto (mm)	Peso de fruto (g)	Relación peso/diámetro (g mm <sup>-1</sup> )
Testigo	71,8 ± 0,56 a	167,8 ± 2,19 a	2,33 ± 0,01 a
Tratamiento A	72,5 ± 0,70 a	175,6 ± 1,40 b	2,42 ± 0,02 b
Tratamiento B	72,3 ± 0,63 a	180,1 ± 2,69 c	2,49 ± 0,04 c

El aumento en el peso de los frutos registrado en el presente estudio podría corresponder con un incremento de la fotosíntesis. Según Brito *et al.* (2019), la aplicación de protectores solares reflectantes disminuye la temperatura en la superficie de los frutos, reduce la pérdida de agua por transpiración y mantiene una conductancia estomática relativamente alta con lo cual mejora la actividad fotosintética de toda la planta. Por otra parte, Alvarez *et al.* (2015) determinaron en plantas de manzano ‘Royal Gala’ tratadas con CaCO<sub>3</sub> que a valores de radiación fotosintéticamente activa (PAR) menores a 700 μmoles m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, se produce una reducción de la tasa fotosintética. Por lo tanto, las diferencias en la efectividad de los protectores solares reflectantes en la atenuación de los efectos adversos de la elevada radiación solar e incremento del tamaño de los frutos y rendimiento, podrían depender en gran medida de las condiciones ambientales particulares.



En este estudio se utilizaron frutos sanos para determinar los índices de madurez debido a que los tejidos vegetales de frutos de manzana afectados por daño por sol presentan modificaciones estructurales y bioquímicas que alteran dichos índices (Racsko & Schrader, 2012). Los tratamientos A y B presentaron a cosecha una mayor acidez titulable de 11,3% respecto al testigo; sin embargo, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en los demás índices de madurez evaluados (Tabla 4).

**Table 4:** Maturity indices: firmness (lb inch<sup>-2</sup>), TSS content (°Brix), titratable acidity (malic acid g L<sup>-1</sup>) and starch index (%) at harvest in 'Braeburn' apples. Cinco Saltos, Argentine, 2014–2015. Data are means ± S.D.

Different letters in each column indicate significant differences according to Tukey's test (p≤0.05).

**Tabla 4:** Índices de madurez: firmeza de pulpa (lb pulg<sup>-2</sup>), concentración de SST (°Brix), acidez titulable (ácido málico g L<sup>-1</sup>) e índice de degradación de almidón (%) a cosecha en manzanas 'Braeburn'. Cinco Saltos, Argentina, 2014-2015. Los valores presentados corresponden a la media ± D.E.

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según prueba de Tukey (p≤0,05).

Tratamientos	Firmeza de pulpa (lb pulg <sup>-2</sup> )	Concentración de SST (°Brix)	Acidez titulable (ácido málico g L <sup>-1</sup> )	Degradación de almidón (%)
Testigo	20,6 ± 0,82 a	12,4 ± 0,78 a	5,3 ± 0,22 a	44,0 ± 2,68 a
Tratamiento A	20,5 ± 0,54 a	11,7 ± 0,24 a	5,9 ± 0,37 b	45,5 ± 2,86 a
Tratamiento B	21,2 ± 0,44 a	11,6 ± 0,62 a	5,9 ± 0,30 b	39,4 ± 4,33 a

Para evaluar en forma conjunta el efecto de los tratamientos sobre las diversas variables evaluadas se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP). A partir del ACP, las 10 variables evaluadas se redujeron a seis componente principales, donde los primeros dos explicaron el 67,5% de la variabilidad (Tabla 5).

**Table 5:** Eigenvalues, percent variance, and cumulative variance for the six Principal Component Analysis components. Cinco Saltos, Argentine, 2014–2015.

**Tabla 5:** Autovalores, porcentajes de varianza y varianza acumulada para los seis componentes del Análisis de Componentes Principales. Cinco Saltos, Argentina, 2014-2015.

Componentes	Autovalor	% varianza	% varianza acumulada
C1	2,953	49,21	49,21
C2	1,097	18,29	67,50
C3	0,892	14,87	82,37
C4	0,550	9,16	91,53
C5	0,306	5,09	96,62
C6	0,202	3,37	100,00

La mayor parte de la variabilidad es explicada por el componente 1 (49,21%), relacionada positivamente con la relación peso/diámetro y la acidez titulable; pero negativamente con el número de frutos con daño grave y la concentración de SST (Tabla 6). El componente 2 explica el 18,29% de la variabilidad y se relaciona positivamente con la firmeza de pulpa; pero

negativamente con la degradación de almidón. Se observa también una relación positiva de la variable concentración de SST en este componente, aún sin alcanzar el valor absoluto de correlación pautado (>0,55) para la inclusión dentro del análisis del ACP (Tabla 6).

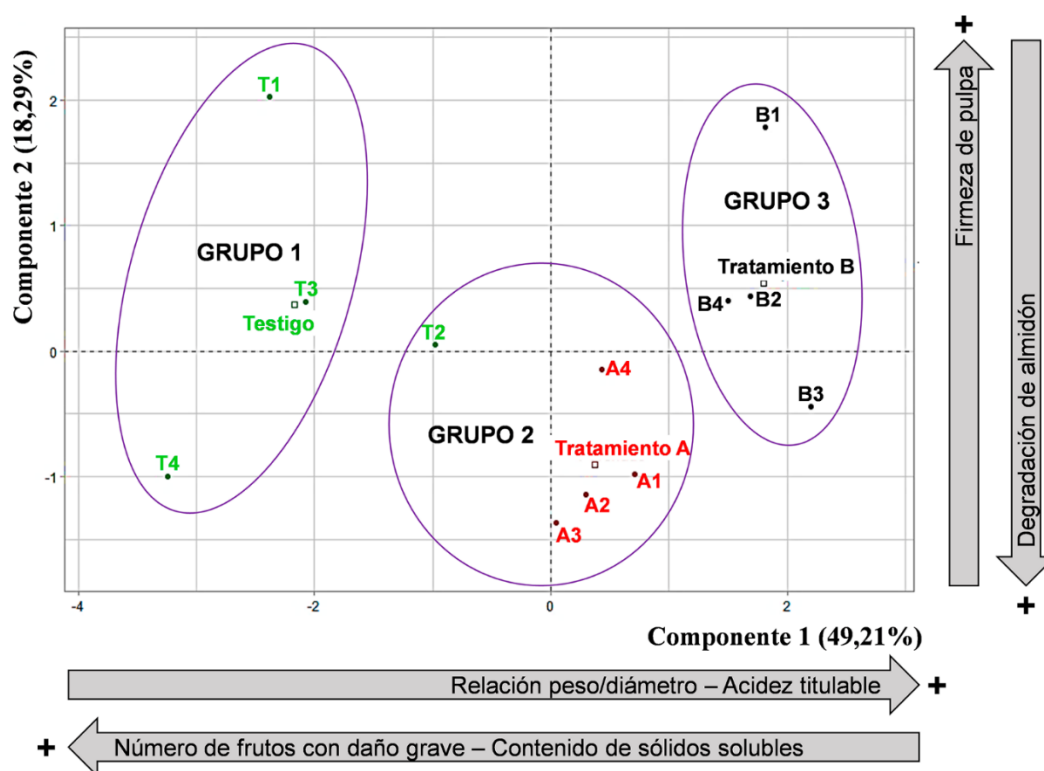
**Table 6:** Contribution of each study variable to the Principal Component Analysis components (Comp.). Cinco Saltos, Argentine, 2014–2015.

**Tabla 6:** Aporte de cada variable de estudio en cada componente (Comp.) del Análisis de Componentes Principales. Cinco Saltos, Argentina, 2014-2015.

VARIABLES (estandarizadas)	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5
Acidez titulable	0,731	-0,179	0,146	0,638	0,019
Degradación de almidón	-0,291	-0,568	0,761	-0,117	-0,023
Concentración de SST	-0,717	0,510	0,243	0,265	-0,226
Firmeza de pulpa	0,490	0,677	0,472	-0,114	0,243
Relación peso/diámetro	0,914	-0,109	-0,029	-0,103	0,080
Número de frutos con daño por sol grave	-0,863	-0,115	-0,097	0,186	0,434

En el gráfico del ACP (Figura 3) se pueden diferenciar tres grupos. El grupo 1 formado por los individuos T1, T3 y T4, los cuales presentan frutos con baja relación peso/diámetro y baja acidez titulable, alto número de frutos con daño grave por sol y elevada concentración de SST, mientras que la firmeza de pulpa y el porcentaje de degradación de almidón muestran resultados variables. El grupo 2 incluye a los individuos T2, A1, A2, A3, A4, presenta frutos con relación peso/diámetro, acidez titulable, número de frutos con daño grave por sol y concentración de SST intermedios; baja firmeza de pulpa y alta degradación de almidón. El grupo 3 corresponde a los individuos B1, B2, B3, B4 y presenta frutos con alta relación peso/diámetro y elevada acidez titulable, bajo número de frutos con daño grave por sol y baja concentración de SST; con tendencia a una mayor firmeza de pulpa y menor degradación de almidón respecto al grupo 2.

A través del ACP se puede identificar que los frutos del tratamiento B se caracterizan por un retraso en el avance de los índices de madurez. Esta condición posibilita el atraso del inicio de la cosecha, lo cual permite que los frutos continúen su crecimiento con su consecuente incremento del tamaño y una mejor organización de la logística de recolección. Según Flores Córdova *et al.* (2018), los frutos con menor contenido de Ca presentan una mayor tasa respiratoria y aceleración del proceso de maduración con la consecuente disminución de la acidez titulable, el aumento de sólidos solubles y de la degradación del almidón. Asimismo, el Ca está involucrado en la constitución de la laminilla media y, por lo tanto, con la firmeza de los tejidos vegetales. Diversos estudios muestran efectos positivos de las aplicaciones foliares de Ca en el aumento de la firmeza de pulpa, reducción de fisiopatías e incremento de la vida postcosecha. No obstante, la mayoría de la información corresponde a su aplicación como nitrato o cloruro, siendo escasa la investigación de los efectos de su aplicación como carbonato (Yamane, 2014). Según Val *et al.* (2008), el Ca presenta dificultades en la penetración a través de la epidermis del fruto, siendo necesarias varias aplicaciones para promover un aumento de la concentración en la epidermis. En este caso particular, sería interesante determinar el contenido de Ca o de las pectinas en los diferentes tratamientos en futuros trabajos, así como la medición del grado de penetración de este catión en el fruto.



**Figure 3:** Principal Component Analysis scatter plot of the first two components and gradients of the studied variables where treatments evaluated groups are indicated. Cinco Saltos, Argentina, 2014–2015.

**Figura 3 :** Gráfico de dispersión del Análisis de Componentes Principales con los primeros dos componentes y gradientes de las variables en estudio donde se indican los agrupamientos según los tratamientos evaluados. Cinco Saltos, Argentina, 2014-2015.

Los datos utilizados para el ACP fueron también sometidos a otra herramienta disponible dentro de la estadística multivariada, el Análisis de Conglomerados (AC), el cual permite corroborar los grupos formados a través del ACP.

En la Tabla 7 se indica la matriz de distancia euclídea con las comparaciones de a pares entre las repeticiones de cada tratamiento (T1-4, A1-4, B1-4). Las mayores distancias (>5) se dan entre testigo y el tratamiento B, mientras que las menores distancias (<2) se presentan principalmente entre testigos y tratamiento A, y entre individuos de tratamiento A.

Uno de los métodos jerárquicos de aglomeración dentro del AC, que permite la construcción de un árbol de clasificación, es el dendrograma. De forma similar a lo expuesto en el ACP, el dendrograma resultante (Figura 4) del AC muestra la formación de dos grandes grupos (G1 y G2) en el corte más estable cerca de 5. El G1 se compone de tres individuos testigo (T1, T3, T4) y el G2 de todos los individuos de los tratamientos A y B y T2, con una distancia mayor a 5 entre ellos. Dentro del G2 se pueden diferenciar dos subgrupos en un corte a 3,5 (SgA y SgB), con una distancia cercana a 4 entre ellos. El SgA se compone de los individuos del tratamiento A y el T2 mientras que el SgB se compone únicamente de individuos del tratamiento B.

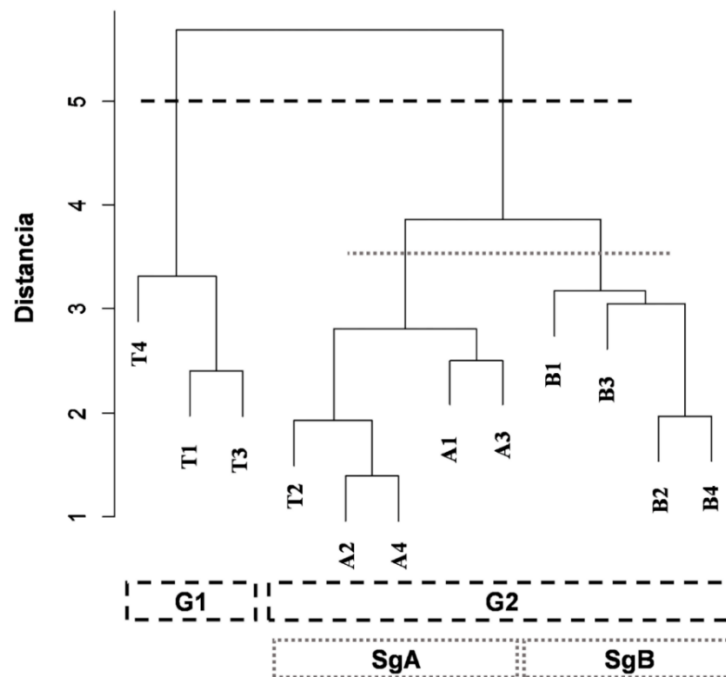
Tanto el ACP como el AC a través del dendrograma, permiten diferenciar claramente tres grandes grupos, con gran homogeneidad de individuos, en correspondencia con cada uno de los tratamientos realizados.

**Table 7:** Euclidean distance matrix between each replicates of each treatment. Cinco Saltos, Argentina, 2014–2015.

**Tabla 7:** Matriz de distancia euclídea entre cada repetición de cada tratamiento. Cinco Saltos, Argentina, 2014-2015.

	T1	T2	T3	T4	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
T1	0											
T2	2,532	0										
T3	2,403	2,025	0									
T4	3,315	3,143	2,604	0								
A1	4,518	2,814	3,579	4,306	0							
A2	4,032	1,927	3,566	3,892	2,331	0						
A3	4,486	2,649	3,033	3,454	2,508	2,504	0					
A4	3,495	1,552	3,014	4,045	1,653	1,388	2,453	0				
B1	4,370	3,757	4,412	5,695	2,999	3,853	3,869	2,732	0			
B2	4,894	3,737	4,089	5,283	3,796	3,601	2,722	3,231	3,150	0		
B3	5,099	3,523	4,574	5,613	2,580	2,466	3,505	2,277	3,169	3,042	0	
B4	4,293	2,828	4,087	4,977	3,235	2,408	2,694	2,159	2,672	1,969	2,648	0

A pesar de que ambos productos utilizados como protector solar en los tratamientos A y B fueron formulados a base de CaCO<sub>3</sub>, se produjeron diferentes efectos sobre la calidad de los frutos al momento de cosecha. Las diferencias encontradas podrían estar relacionadas con la mayor concentración de CaCO<sub>3</sub>, en la formulación del producto comercial del tratamiento B junto a la mayor concentración de aplicación respecto al tratamiento A. En evaluaciones de aplicaciones de caolín y de CaCO<sub>3</sub> como protectores solares en cultivos de manzana ‘Red Delicious’ y ‘Anna’ y peras ‘Packham’s Triumph’ y ‘Beurré D’Anjou’ se registraron reducciones significativas de la cantidad de frutos asoleados en las dosis más altas utilizadas (Colavita *et al.*, 2011; Abd El-Rhman *et al.*, 2020; Sarooghinia *et al.*, 2020). Según Alvarez *et al.* (2015) el nivel de defensa que ejercen los protectores solares a base de caolín y CaCO<sub>3</sub> depende de la capacidad de reflejar la luz solar y de la cantidad de producto que queda depositado en la superficie, pero no es directamente proporcional al número de aplicaciones de una concentración determinada.



**Figure 4:** Dendrogram of the cluster analysis for each observation, using the complete linkage method and Euclidean distance. Cophenetic correlation coefficient = 0.74. Cinco Saltos, Argentina, 2014–2015.

**Figura 4:** Dendrograma del análisis de conglomerados para cada observación, con el método de encadenamiento completo y distancia euclídea. Coeficiente de correlación cofenética = 0,74. Cinco Saltos, Argentina, 2014-2015.

#### 4. Conclusión

Los tratamientos con protectores solares a base de CaCO<sub>3</sub> permitieron mitigar los efectos adversos del estrés por elevada radiación solar en frutos de manzana con respecto al testigo. La aplicación de CaCO<sub>3</sub> disminuyó el daño grave por sol en frutos, incrementándose su efecto conforme fue mayor la concentración del producto comercial y por lo tanto de la dosis de CaCO<sub>3</sub> en la aplicación. Conjuntamente aumentó el peso de los frutos y retrasó su estado de madurez al momento de la cosecha. El análisis multivariado permitió visualizar el efecto de los protectores solares a base de CaCO<sub>3</sub> sobre diversos parámetros de los frutos en forma simultánea simplificando la estructura de los datos a través de su representación en un espacio de dos dimensiones. Asimismo, permitió el agrupamiento de los individuos según su respuesta a distintas variables de valor agronómico y productivo.

Es necesario profundizar en los mecanismos fisiológicos, bioquímicos y oxidativos involucrados en los efectos protectores de las aplicaciones foliares de Ca y otros beneficios como fuente de incorporación de Ca en los frutos de manzana.

#### 5. Bibliografía

Abd El Naby, S.K.M.; Abdelkhalek, A.; Baiea, M.H.M. & Amin, O.A. (2020). Impact Of Spraying Some Chemical

Substances On Protecting Valencia Orange Trees From Heat Stress Injuries. Plant Archives 20: 2265-2270.

- Abd El Rhman, I.E.; Diab, S.M. & Sahar, A.F. (2020). Effect of reflective particles spraying on productivity and quality of “Anna” apple *Malus domestica*. Middle East Journal of Agriculture Research 9: 871-879. doi: 10.36632/mejar/2020.9.4.68
- Abdi, H. & Williams, L.J. (2010). Principal component analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics 2: 433-459. doi: 10.1002/wics.101
- Alvarez, H.L.; Di Bella, C.M.; Colavita, G.M.; Oricchio, P. & Strachnoy, J. (2015). Comparative effects of kaolin and calcium carbonate on apple fruit surface temperature and leaf net CO<sub>2</sub> assimilation. Journal of Applied Horticulture 17: 176-180. doi:10.37855/jah.2015.v17i03.33
- Brito, C.; Dinis, L.T.; Moutinho-Pereira, J. & Correia, C. (2019). Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. Scientia Horticulturae 250: 310-316. doi: 10.1016/j.scienta.2019.02.070
- Candan, A.P. & Calvo, G. (2015). Test de degradación de almidón. EEA Alto Valle. On line:[<https://inta.gob.ar/documentos/test-de-degradacion-de-almidon>]
- Colavita, G.M.; Blackhall, V. & Valdez, S. (2011). Effect of Kaolin Particle Films on the Temperature and Solar Injury of Pear Fruits. Acta Horticulturae 909: 609-616. doi: 10.17660/ActaHortic.2011.909.73
- Flores Córdova, M.A.; Soto Parra, J.M.; Salas Salazar, N.A.; Sánchez Chávez, E. & Piña Ramírez, F.J. (2018). Efecto del subproducto industrial CaCO<sub>3</sub> en los atributos de calidad, contenido fenólico y capacidad antioxidante de manzanas cvs Golden Delicious y Top Red. Nova Scientia 10: 64-82. doi: 10.21640/ns.v10i20.1190
- Fox, J. (2005). The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. Journal of Statistical Software 14(9): 1-42. doi: 10.18637/jss.v014.i09
- Gabardo, G.C.; dos Santos, K.C.; Fenili, C.L.; Petri, J.L.; Schweitzer, B. & Parizotto, B.S. (2020). Strategies to increase red color and reduce the incidence of sunburns on apples. Scientia Agraria Paranaensis 19: 339-346.
- Gindaba, J. & Wand, S. J. (2005). Comparative effects of evaporative cooling, kaolin particle film, and shade net on sunburn and fruit quality in apples. HortScience 40: 592-596. doi: 10.21273/Hortsci.40.3.592
- Guerra, M.; Marcelo, V.; Valenciano, J.B. & Casquero, P.A. (2011). Effect of organic treatments with calcium carbonate and bio-activator on quality of ‘Reinette’ apple cultivars. Scientia Horticulturae 129: 171-175. doi: 10.1016/j.scienta.2011.03.013
- INTA – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2016). Informe anual de la red de estaciones agrometeorológicas INTA Alto Valle. Estación meteorológica automática Cinco Saltos. Facultad de Ciencias Agrarias. On line: [<http://sipan.inta.gob.ar/agrometeorologia/met/45/clima.htm>]
- Lal, N. & Sahu, N. (2017). Management strategies of sunburn in fruit crops-A Review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 6: 1126-1138. doi: 10.20546/ijcmas.2017.606.131
- Lê, S.; Josse, J. & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. Journal of Statistical Software. 25: 1-18. doi: 10.18637/jss.v025.i01
- Liu, Y.; Chen, N.; Zuo, C.; Wu, Y.; Che, F.; Chen, B.; Grandón, S.; Sanchez-Contreras, J.; Torres, C.A.; Shi, G.; Ranjan, R. & Khot, L.R. (2019). Robust image processing algorithm for computational resource limited smart apple sunburn sensing system. Acta Physiologiae Plantarum 41: 212-222. doi:10.1016/j.inpa.2019.09.007

- Lötze, E.; Daiber, S. H. & Midgley, S. J. (2017). Boron in combination with calcium reduces sunburn in apple fruit. *Boron* 2: 123-127.
- MHyFP - Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas. (2016). Informes de cadenas de valor. Frutícola - Manzana y Pera. Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo. Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas de la Nación. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/complejo\\_fruta\\_pepita.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/complejo_fruta_pepita.pdf)
- Mitcham, B.; Cantwell, M. & Kader, A. (1996). Methods for determining quality of fresh commodities. *Perishables Handling Newsletter* 85: 1-5.
- Morales Quintana, L.; Waite, J.M.; Kalcsits, L.; Torres, C.A. & Ramos, P. (2020). Sun injury on apple fruit: Physiological, biochemical and molecular advances, and future challenges. *Scientia Horticulturae* 260: 108866. doi: 10.1016/j.scienta.2019.108866
- Moreno, C.; Mancebo, I.; Tarquis, A. M. & Moreno, M. M. (2014). Univariate and multivariate analysis on processing tomato quality under different mulches. *Scientia Agricola* 71: 114-119. doi: 10.1590/S0103-90162014000200004
- Munné Bosch, S. & Vincent, C. (2019). Physiological Mechanisms Underlying Fruit Sunburn. *Critical Reviews in Plant Sciences* 38: 140-157. doi: 10.1080/07352689.2019.1613320
- Mwije, A.; Hoffman, E.W. & Lötze, E. (2020). Apple peel biochemical changes after foliar application of combined boron and calcium II. Photosynthetic pigments, total peroxides and photochemical efficiency. *American Journal of Plant Sciences* 11: 939-964. doi: 10.4236/ajps.2020.116068
- Núñez Colín, C. A. & Escobedo López, D. (2011). Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía Mesoamericana* 22: 415-427. doi: 10.15517/am.v22i2.8746
- R Core Team. (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Racsko, J. & Schrader, L. E. (2012). Sunburn of Apple Fruit: Historical Background, Recent Advances and Future Perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences* 31: 455-504. doi: 10.1080/07352689.2012.696453
- Raffo, M. D.; Cortona, A.; Curetti, M.; Menni, F. & De Angelis, V. (2015). Empleo de mallas antigranizo para el control del asoleado en manzanas (*Malus domestica* Borkh), en el Alto Valle de Río Negro. *Horticultura Argentina* 34: 20-30.
- Rodríguez A. & Muñoz A. (2006). Síntesis Agrometeorológica para el período 1990-2004 EEA Alto Valle. *Boletín Divulgación Técnica* 53: 4-45.
- Sarooghinia, F.; Khadivi, A.; Abbasifar, A. & Khaleghi, A. (2020). Foliar Application of Kaolin to Reduce Sunburn in 'Red Delicious' Apple. *Erwerbs-Obstbau* 62: 83-87. doi: 10.1007/s10341-019-00464-y
- Sharma, R. R.; Datta, S. C. & Varghese, E. (2018). Effect of Surround WP®, a kaolin-based particle film on sunburn, fruit cracking and postharvest quality of 'Kandhari' pomegranates. *Crop Protection* 114: 18-22. doi: 10.1016/j.cropro.2018.08.009
- Val, J.; Monge, E.; Risco, D. & Blanco, A. (2008). Effect of pre-harvest calcium sprays on calcium concentrations in the skin and flesh of apples. *Journal of Plant Nutrition* 31: 1889-1905. doi: 10.1080/01904160802402757
- Yamane, T. (2014). Foliar calcium applications for controlling fruit disorders and storage life in deciduous fruit trees. *Japan Agricultural Research Quarterly* 48: 29-33. doi: 10.6090/jarq.48.29

Jocou, A.; Muñoz Pérez, M.; Vita, L.; Colavita, G. - Effect of the application of CaCO<sub>3</sub>...

Zaman, L.; Shafqat, W.; Qureshi, A.; Sharif, N.; Raza, K.; ud Din, S & Kamran, M. (2019). Effect of foliar spray of zinc sulphate and calcium carbonate on fruit quality of Kinnow mandarin (*Citrus reticulata* Blanco).

Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences 7: 157-161. doi: 10.22194/JGIASS/7.875

Horticultura Argentina es licenciado bajo Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 2.5 Argentina.