



LA IMPORTANCIA DE LOS PIGMENTOS EN LA TOLERANCIA A BAJAS TEMPERATURAS DE LOS FRUTOS CÍTRICOS

Joanna Lado¹, María Jesús Rodrigo², Lorenzo Zacarías²

¹Programa Nacional de Producción Citrícola

²Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC)

INTRODUCCIÓN

Los frutos cítricos son sensibles a las bajas temperaturas. Dependiendo de la intensidad y el tiempo de exposición a esta condición, ya sea en condiciones de campo o durante el almacenamiento, los frutos desarrollan distintos tipos de daños en la piel. Los síntomas más comunes se caracterizan por un ennegrecimiento, picados y/o hendiduras que afectan únicamente a la cáscara (Figura 1) y que deterioran la calidad cosmética (Lafuente y Zacarías, 2006), provocando rechazos en los diferentes destinos comerciales.

La sensibilidad y el tipo de síntoma son diferentes según especies y variedades cítricas, siendo los pomelos y limones las especies más susceptibles. Otro aspecto muy relacionado con la calidad de los frutos cítricos es

el color externo. Los carotenoides son los pigmentos responsables de la coloración de los frutos cítricos. El color característico de las naranjas y mandarinas se debe a la acumulación de xantofilas (carotenoides que contienen oxígeno en su molécula), responsables del color naranja intenso de estas frutas (Rodrigo *et al.*, 2013).

Los carotenoides desempeñan importantes funciones vinculadas a sus propiedades físicas y químicas, tanto en las plantas como tras su ingesta por los animales. Entre ellas destaca su función como pigmentos de fotoprotección durante la fotosíntesis (Telfer, 2005) y su importante actividad antioxidante frente a especies reactivas del oxígeno (ROS; Britton, 1995).

Estas ROS se generan como respuesta a diferentes tipos de estrés en las plantas y pueden provocar daños importantes en las células, lo cual se conoce como daño oxidativo, llevando en casos extremos a la muerte celular (Gill y Tuteja, 2010). El daño oxidativo se manifiesta cuando la concentración de ROS excede a la capacidad de la célula de metabolizarlas a través de su sistema antioxidante, del cual forman parte los carotenoides (Krinsky, 1989; Hossain *et al.*, 2012).

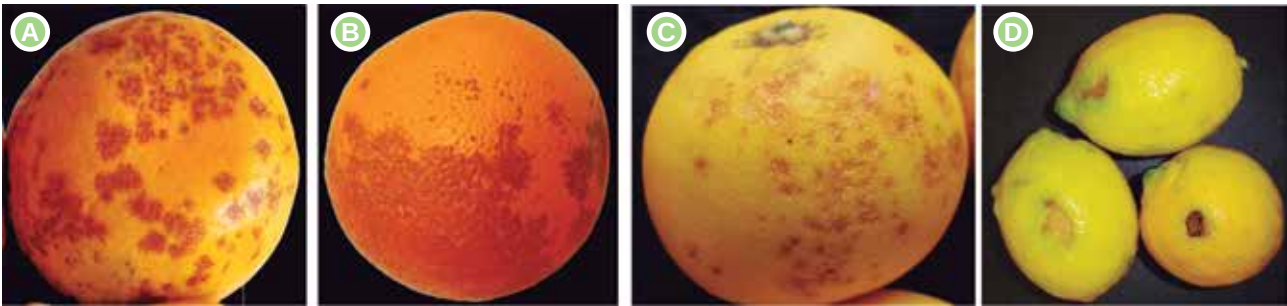


Figura 1 - Síntomas de daño por frío en diferentes especies cítricas: A, mandarina satsuma; B, naranja Navel; C, pomelo blanco Marsh; D, limón Lisbon.

COLOR EXTERNO, CAROTENOIDES Y SENSIBILIDAD A BAJAS TEMPERATURAS

A partir de experimentos realizados a nivel de campo y durante la postcosecha se han observado diferencias en el daño por frío en función de la coloración de la piel, sugiriendo que los frutos más verdes o más pálidos parecen ser más susceptibles (Cronje *et al.*, 2011; Cronje *et al.*, 2013). Para confirmar esta hipótesis se utilizó como modelo de estudio el pomelo rojo (*Citrus paradisi*) var. Star Ruby, el cual presenta una elevada susceptibilidad a las bajas temperaturas y a su vez, desarrolla en la cáscara zonas de color contrastantes; una zona amarilla y una zona roja. Se evaluó entonces la sensibilidad de ambas zonas de color del fruto al estrés por frío.

A su vez, se estimuló el desarrollo de color rojo en la totalidad del fruto para evaluar la susceptibilidad de estos frutos rojos al daño por frío. Los frutos de pomelo que crecen en oscuridad o incluso cubiertos por el follaje desarrollan una coloración roja intensa (Figura 2) y acumulan al menos 50 veces más licopeno que los frutos expuestos (Lado *et al.*, 2015).

Este fenómeno natural fue utilizado para inducir acumulación de licopeno en pomelo rojo var. Star Ruby. Los frutos fueron cubiertos de su exposición a la luz en estado verde inmaduro, permaneciendo en oscuridad durante todo el proceso de cambio de color. Los frutos que se desarrollaron en la oscuridad pre-

sentaron una coloración rojiza y un contenido cuatro veces mayor de carotenoides totales, pero principalmente más licopeno que los frutos expuestos a la luz (Cuadro 1), que presentaron una coloración amarilla (Figura 3).

Ambos tipos de frutos, rojos y amarillos, fueron almacenados durante 58 días a 2°C.

Los primeros síntomas de daño por frío en la piel aparecieron tras 20 días de almacenamiento y los mismos se incrementaron en la medida en que aumentó el tiempo de permanencia a bajas temperaturas.

Existieron diferencias importantes entre frutos amarillos y frutos rojos; los amarillos desarrollaron síntomas de daño en toda la superficie del fruto, mientras que esos síntomas estuvieron prácticamente ausentes tanto en las zonas rojas como en los frutos rojos.

El daño por frío alcanzó al 93% de los frutos amarillos con una severidad importante, mientras que sólo un 33% de los frutos rojos presentaron daños; muchos de ellos casi imperceptibles (Figura 3).

La evaluación de la capacidad antioxidante en ambos tipos de fruto reveló un valor entre dos y tres veces mayor en la piel de los frutos tolerantes a las bajas temperaturas (Cuadro 2), las cuales serían más eficientes para inactivar esta especie reactiva.

Cuadro 1 - Contenido (µg/g Peso Fresco) de los principales carotenoides en la piel de frutos de pomelo rojo Star Ruby en cosecha.

Carotenoide	Frutos amarillos	Frutos rojos
Fitoeno	21,9b	55,8a
Fitoflueno	2,18b	14,3a
Licopeno	0,04b	42,4a
β-caroteno	0,44b	3,51a
Violaxantina	1,26a	0,57a
Carotenoides totales	26,8b	117a

Medias seguidas de igual letra entre filas no difieren significativamente (prueba T, p≤0,05)

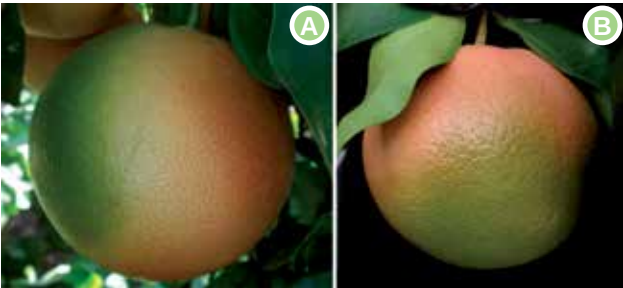


Figura 2 - Detalle de coloración en frutos de pomelo rojo Star Ruby: A, cara interna (rojiza) y externa expuesta (verde) y B, la cobertura de las hojas determina una coloración rojiza en la piel del fruto.



Figura 3 - Color de los frutos en cosecha y desarrollo de síntomas de daño por frío tras 28 y 58 días a 2°C.

Los resultados revelan que el papel de los carotenoides, principalmente del caroteno rojo licopeno, podría estar ligado a la protección de las células frente a las ROS durante la respuesta a las bajas temperaturas. Esto podría vincularse a la gran capacidad antioxidante de este pigmento, principalmente relacionada a la inactivación de las ROS (Krinsky, 1989; Martínez y Melendez-Martínez, 2015).

CONCLUSIONES

Los frutos rojos, con un mayor contenido de carotenoides totales, principalmente licopeno en la cáscara, presentaron una elevada tolerancia a las bajas temperaturas, sugiriendo un posible papel de este carotenoide en la tolerancia al frío en los cítricos.

Cabe destacar el importante papel de estos pigmentos en la calidad global de los frutos cítricos, así como también en el aporte nutricional a la dieta humana y animal, por lo que desde INIA estamos incorporando la identificación y cuantificación de los mismos en nuevas variedades cítricas de interés comercial.

Por más detalles del trabajo referirse a las siguientes publicaciones:

Lado, J., Rodrigo, M.J., Cronje, P., Zacarías, L., 2015. Involvement of lycopene in the induction of tolerance to chilling injury in grapefruit. *Postharvest Biology and Technology* 100, 176–186.

Cuadro 2 - Capacidad de la piel de los frutos de pomelo Star Ruby amarillos y rojos para secuestrar el oxígeno singlete (SOAC) en cosecha y durante la conservación a 2°C.

Momento	Valor relativo SOAC (x10 ⁻³)	
	Frutos Amarillos	Frutos Rojos
Cosecha	5,45b	8,33a
28 días	2,07b	7,30a
58 días	3,31b	9,90a

Medias seguidas de igual letra en la fila no difieren significativamente (prueba T, p≤0,05).

Lado, J., Jesús, M., López-Climent, M., Gómez-cadenas, A., Zacarías, L., 2016. Implication of the antioxidant system in chilling injury tolerance in the red peel of grapefruit. *Postharvest Biology and Technology* 111, 214–223.

REFERENCIAS

Britton, G., 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *FASEB J.* 9, 1551–1558.

Cronje, P.J.R., Barry, G.H., Huysamer, M., 2013. Canopy position affects pigment expression and accumulation of flaved carbohydrydrates of “Nules Clementine” mandarin fruit, thereby affecting rind condition. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 138, 217–224.

Cronje, P.J.R., Barry, G.H., Huysamer, M., 2011. Postharvest rind breakdown of “Nules Clementine” mandarin is influenced by ethylene application, storage temperature and storage duration. *Postharvest Biology and Technology* 60, 192–201.

Gill, S.S., Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 48, 909–930.

Hossain, Z., Nouri, M.-Z., Komatsu, S., 2012. Plant cell organelle proteomics in response to abiotic stress. *Journal of Proteome Research* 11, 37–48.

Krinsky, N.I., 1989. Antioxidant functions of carotenoids. *Free Radical Biology & Medicine* 7, 617–635.

Lado, J., Cronje, P., Alquézar, B., Page, A., Manzi, M., Gómez-Cadenas, A., Stead, A.D., Zacarías, L., Rodrigo, M.J., 2015. Fruit shading enhances peel color, carotenoids accumulation and chloroplast differentiation in red grapefruit. *Physiologia Plantarum* 154, 469–484.

Lafuente, M.T., Zacarías, L., 2006. Postharvest physiological disorders in citrus fruit. *Stewart Postharvest Review* 2, 1–9.

Martínez, A., Melendez-Martínez, A.J., 2015. Lycopene, oxidative cleavage derivatives and antiradical activity. *Computational and Theoretical Chemistry*.

Rodrigo, M.J., Alquézar, B., Alós, E., Lado, J., Zacarías, L., 2013. Biochemical bases and molecular regulation of pigmentation in the peel of Citrus fruit. *Scientia Horticulturae* 163, 42–62.

Telfer, A., 2005. Too much light? How b-carotene protects the photosystem II reaction centre. *Photochemical & Photobiological Sciences* 4, 950–956.