

ESTADO OXIDATIVO Y CALIDAD DE FRUTOS DE PERA VARIEDAD BEURRÉ D'ANJOU CON "BLUSH"

OXIDATIVE STATE AND QUALITY OF PEAR FRUITS VARIETY BEURRÉ D'ANJOU WITH A "BLUSH"

Nazarena Spera^{1a*}, Laura Inés Vita^{1b}, Pedro Marcos Civello² y Graciela María Colavita^{1c}

^{1a} Centro de Investigaciones en Toxicología Ambiental y Agrobiotecnología del Comahue CITAAC (CONICET-UNCo). Buenos Aires 1400, Neuquén (CP8300), Argentina
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue. Km 12,5 Ruta 151, Cinco Saltos (CP8303), Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-4491-6136>

^{1b} Centro de Investigaciones en Toxicología Ambiental y Agrobiotecnología del Comahue CITAAC (CONICET-UNCo). Buenos Aires 1400, Neuquén (CP8300), Argentina
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue. Km 12,5 Ruta 151, Cinco Saltos (CP8303), Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-2198-5964>

^{1c} Centro de Investigaciones en Toxicología Ambiental y Agrobiotecnología del Comahue CITAAC (CONICET-UNCo). Buenos Aires 1400, Neuquén (CP8300), Argentina
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue. Km 12,5 Ruta 151, Cinco Saltos (CP8303), Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-1531-6828>

² Instituto de Fisiología Vegetal INFIVE (CONICET-UNLP). Diagonal 113 N° 495, La Plata (CPB1900), Argentina
Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. Calle 115 s/n, La Plata (CPB1900), Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-0688-6397>

* Autora para correspondencia: nspera396@gmail.com

RESUMEN

Las peras var. Beurré D'Anjou son frutos de piel verde, pero frecuentemente presentan una mejilla rojiza o 'blush' debido a la exposición solar. Estos frutos son aptos comercialmente y reciben un manejo post-cosecha similar a los de color verde. El objetivo del presente trabajo fue comparar el metabolismo oxidativo y cambios en parámetros de calidad en pera var. Beurré D'Anjou con un sector de piel con 'blush' respecto a frutos con piel completamente verde. A cosecha se evaluaron parámetros de calidad de los sectores verde y con blush de frutos expuestos al sol. Sobre la piel se determinó color superficial, contenido de clorofila, antocianinas y estado oxidativo. El sector blush presentó mayor firmeza (67,7 N), contenido de sólidos solubles (13,4 °Brix) y degradación de almidón (38%) y reducción de acidez málica (0,25%) en comparación con el sector verde con 61,9

N, 12,0 °Brix, 26% y 0,47% para cada parámetro, respectivamente. El ángulo HUE° fue 73,9 en el sector blush y 123,9 en el sector verde. Este menor ángulo HUE° expresa el tono rojizo asociado a un marcado incremento del contenido de antocianinas. En el sector blush se determinó un incremento de 59,7% de la peroxidación lipídica y de 55,2% de la capacidad antioxidante respecto al sector verde. Se determinaron diferencias evidentes en los parámetros de calidad y el estado oxidativo del sector con blush en comparación al verde, independientemente de que ambos se hayan desarrollado en similar condición de exposición solar.

Palabras clave: *Pyrus communis*, antocianina, calidad, estado oxidativo.

ABSTRACT

Beurré D'Anjou pears have green skin, sometimes with a reddish patch or 'blush' due to sun exposure. Fruits with a blush are commercially suitable and submitted to similar post-harvest handling procedures than those whose skin colour is completely green. The aim of this work was to compare the oxidative metabolism and changes in quality parameters of pears var. Beurré D'Anjou with a 'blush' to those with completely green skin. At harvest, quality parameters of green and blush areas of sun-exposed fruit were evaluated. Superficial colour, chlorophyll content, anthocyanins and oxidative status were determined on the skin. The blush area presented higher firmness (67.7 N), soluble solids content (13.4 °Brix), starch degradation (38%) and malic acidity reduction (0.25%) compared to the green area, with values of 61.9 N, 12.0 °Brix, 26% and 0.47% for each parameter, respectively. The HUE° angle was 73.9 in the blush area and 123.9 in the green area. This smaller HUE° angle expresses the reddish colour associated with an increase in anthocyanin content. Compared to the green area, the blush area recorded an increase of 59.7% in lipid peroxidation and 55.2% in antioxidant capacity. Significant differences were found between the fruits with a blush and those with completely green skin in terms of quality parameters and oxidative state, regardless of the fact that both of them developed under similar sun exposure conditions.

Keywords: *Pyrus communis*, anthocyanin, quality, oxidative state.

INTRODUCCIÓN

El color, el sabor y la textura de los frutos son los principales atributos de calidad que determinan la elección del consumidor (Shewfelt, 2014). En frutos de pera, la presencia del color rojo ha aumentado el atractivo para el comprador, como también la rentabilidad del cultivo (Thomson et al., 2018; Peavey et al., 2022), ganando un creciente interés en los mercados frente a las tradicionales variedades verde-amarillas.

En el Alto Valle del Río Negro y Neuquén (Patagonia Norte, Argentina), se cultivan distintas variedades de peras (*Pyrus communis* L.) verdes, destacándose en superficie y producción las variedades Williams Bon Chrétien (Bartlett), Packham's Triumph y Beurré D'Anjou. Esta última es una pera de piel verde que resulta más atractiva para los consumidores, cuando presenta una mejilla de color rojizo (Ngo, 2007). Por lo tanto, esta coloración en un sector de la piel no resta valor comercial a los frutos lo que permite su comercialización dentro de categorías superiores. Esta zona de color rojizo se denomina ruborizado o blush y es el resultado de un incremento de biosíntesis

y acumulación de antocianinas en la piel, que depende de factores ambientales, siendo la luz y la temperatura los más importantes (Zhang et al., 2016).

Particularmente, la radiación solar puede favorecer la síntesis o degradación de las antocianinas, dependiendo tanto de la cantidad y calidad de luz recibida como de la temperatura que se genera en la superficie del fruto (Li et al., 2014; Zoratti et al., 2014). El desarrollo de antocianinas en las peras alcanza su máximo en etapas tempranas e intermedias del desarrollo del fruto, disminuyendo gradualmente con la maduración (Peavey et al., 2020). La síntesis de antocianinas en peras verdes se estimula con luz y temperaturas hasta 25 °C, superando las tasas de degradación y favoreciendo la formación de tonos rojizos al aumentar la concentración de este pigmento en la piel. Por otro lado, temperaturas altas, superiores a 30 °C, restringen a nivel transcripcional la síntesis de antocianinas e incrementan la síntesis de peroxidasas enzimas que favorecen la degradación de estos pigmentos, contribuyendo a la pérdida de color rojo (Liu et al., 2018; Steyn et al., 2009; Wu et al., 2019). El calentamiento radiante contribuye a la degradación de las antocianinas al aumentar

la temperatura superficial de los frutos, pero sin incidencia de luz no hay formación de antocianinas (Zhang et al., 2016). De esta forma, el color rojizo en la superficie de los frutos responde a procesos de síntesis y degradación de antocianinas resultado del balance entre la radiación recibida en la superficie del fruto y las temperaturas que éste alcanza (Wand et al., 2004).

Por otra parte, la incidencia de factores ambientales como la radiación solar pueden afectar fuertemente la calidad externa e interna de la fruta (Musacchi y Serra, 2018; Vita, 2018; Colavita, 2022). La variabilidad de calidad en los frutos en relación con la luz solar ha sido descrita por Zhang et al. (2016), reportando una reducción en la firmeza de pulpa y del contenido de ácido málico, asociado a un incremento en la concentración de sólidos solubles en frutos al aumentar la exposición a la luz durante su desarrollo. Estas diferencias al momento de la cosecha se mantienen durante la conservación frigorífica. Asimismo, Zhao et al. (2016) indicaron cambios en el estado oxidativo de los frutos desarrollados bajo distintas intensidades de luz, observando incrementos en el contenido de antioxidantes y actividad de enzimas antioxidantes en frutos con blush. Estas variaciones del estado oxidativo afectan la susceptibilidad a fisiopatías como el escaldado por sol a lo largo del almacenamiento (Severino et al., 2021; Torres y Mogollon, 2022). Por otro lado, Serra et al. (2018) profundizaron en la influencia de la incidencia de la luz según la posición de los frutos en el árbol sobre el metabolismo y la composición de la piel en pera. Los autores determinaron una alta variabilidad en la calidad de los frutos provenientes de un mismo árbol, sugiriendo que debería ser tenida en cuenta para un adecuado almacenamiento y manejo post-cosecha del producto.

Si bien la apariencia de los frutos es el primer rasgo que impulsa la compra, la calidad interna del fruto determina que el consumidor vuelva a elegir el producto. En el proceso de embalaje, frutos de pera var. Beurré D'Anjou con piel totalmente verde y frutos con blush se colocan juntos en categorías superiores, con destino de larga conservación y hacia mercados de ultramar. No existe información consistente sobre si estos dos tipos de frutos presentan características metabólicas y madurativas similares, o si es adecuado su manejo conjunto.

En este sentido, el objetivo de este trabajo fue comparar el metabolismo oxidativo y cambios en parámetros de calidad en pera var. Beurré D'Anjou con un sector de piel con 'blush' respecto a frutos con piel completamente verde.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Frutos de pera var. Beurré D'Anjou fueron recolectados de un monte con manejo convencional localizado en el Alto Valle de Río Negro, Patagonia Norte, Argentina (38°57'35.45"S; 67°57'44.69"O), durante la cosecha comercial con una edad de frutos de 138 días después de plena floración ocurrida el 22 de septiembre. La variedad está desarrollada sobre un portainjerto franco, con un marco de plantación 4 x 2 m, en sistema de conducción en espaldera y riego gravitatorio por manto. Se seleccionaron plantas del mismo porte y carga frutal. Se trabajó con 5 repeticiones de tres plantas cada una. En cada planta se recolectaron frutos de la cara norte, con similar exposición solar y ubicados a una altura entre 0,80 a 1,50 respecto del suelo. En cada fruto se identificó la cara expuesta al sol tanto en frutos completamente verdes como en aquellos que presentaban blush (10 a 25% de superficie del fruto con tono rojizo). Se trabajó con muestras compuestas de 20 frutos de tamaño uniforme en cada categoría.

En forma previa a los análisis, los frutos se limpiaron y desinfectaron con detergente neutro 5% y alcohol etílico 70% v/v y se enjuagaron con agua destilada. Todas las determinaciones se realizaron dentro de las 12 h posteriores a la cosecha, sobre el área identificada como expuesta al sol de cada fruto: sector verde y sector blush. Todas las mediciones espectrofotométricas se realizaron en un espectrofotómetro UV-Vis DU 800 (Beckman Coulter, Alemania).

Color de piel

El color de la piel se midió sobre el área de estudio, realizando tres lecturas por sector en cada fruto. Se utilizó un colorímetro (CR-300, Minolta, Japón) para medir las coordenadas CIELAB (L^* - valor o luminosidad-, a^* y b^*), a partir de las cuales se calcularon los valores: ángulo de matriz o tono (HUE), saturación (CROMA) y luminosidad (L) (Mesa Juliani, 2015).

Parámetros de calidad

La firmeza de pulpa se determinó a través de un penetrómetro (Effegi FT 327, Alfonsine, Italia) equipado con una punta de 8 mm. Se retiró la piel y se realizó una medición por fruto sobre el sector expuesto al sol (Mitcham et al., 1996). Se midió la fuerza necesaria para penetrar la pulpa una distancia de 5 mm, y se expresaron los resultados en N.

Los frutos fueron cortados en el eje ecuatorial y sumergidos en una solución de Lugol (0,33% I_2 ; 0,66% p/p KI) por 1 min. Las tinciones fueron

comparadas con los valores de la carta de test de almidón de INTA de la variedad, donde 0% indica un tenor máximo de almidón y 100% indica ausencia del mismo (Candan y Calvo, 2015).

Para la determinación de sólidos solubles y acidez titulable se extrajo de cada fruto un trozo de pulpa de 5 mm de espesor bajo el sector de estudio, excluyendo la piel. Con el material obtenido se realizó la extracción de jugo con una juguera (PE-EJ306, Peabody, China). La concentración de sólidos solubles se midió usando un refractómetro digital autocompensado (Atago 0-32%, Japón). Los resultados se expresaron en °Brix.

Para determinar la acidez titulable se realizó una dilución 1/10 del jugo con agua destilada. A partir de la misma se determinó la acidez titulable, mediante titulación con NaOH 0,1 N

hasta pH 8,20 controlando con pHmetro digital (PHS-3E, Arcano, China). Los resultados se expresaron como % ácido málico equivalente (Mitcham et al., 1996).

Pigmentos de la piel

El contenido de clorofilas totales en la piel de los frutos se midió siguiendo el protocolo descrito por Lichtenthaler y Buschmann (2001) con modificaciones. Se colocó 0,1 g de piel obtenida del sector de estudio, con 2 ml de etanol 95% v/v. Se calentó en baño termostático durante 2 h a 65 °C, y se enfrió en cama de hielo durante 15 min. Las muestras se centrifugaron 10 min a 5 °C a 500x g. Durante todo el procedimiento, las muestras se mantuvieron en oscuridad. Se midió la absorbancia a 648,6 y 664,1 nm. Los resultados se expresaron como mg de clorofila total g⁻¹ de peso fresco (PF). Las fórmulas utilizadas fueron:

$$\text{Clorofila Total } (\mu\text{g ml}^{-1}) = (13,36 \times A_{664,1} - 5,19 \times A_{648,6}) + (27,43 \times A_{648,6} - 8,12 \times A_{664,1})$$

$$\text{Clorofila Total } (\text{mg g}^{-1}) = \frac{X(\mu\text{g ml}^{-1}) \times \text{VE} \times \text{FD}}{1.000 \times \text{PF}}$$

VE (ml): volumen de extracción.

FD: factor de dilución

PF (g): peso fresco de la muestra.

Para determinar el contenido de antocianinas monoméricas totales, primero se obtuvo un extracto metanólico ácido. Se homogeneizó 0,35 g de piel del sector expuesto al sol con 2 ml de metanol-HCl 32% v/v-agua bi-destilada (159:1:40). Se agitó a 150 rpm por 2 h a temperatura ambiente. Se centrifugó a 15.000x g por 20 min. El sobrenadante se trasvasó y se guardó a -20 °C hasta su uso. La determinación de las antocianinas monoméricas totales se hizo por el método de pH diferencial (Gorriti et al., 2009). Se realizaron en paralelo dos reacciones variando el medio de reacción (solución de KCl 0,025 M, llevada a pH 1 con HCl y buffer de acetato de sodio 0,4 M pH 4,5). La relación extracto metanólico ácido-buffer fue 1:3. El sistema se dejó en reposo por 15 min y se centrifugó 15 min a 15 °C a 15.000x g. Se midió la absorbancia de todas las muestras a 510 nm y 700 nm. Cada determinación se realizó por duplicado. El contenido de antocianinas monoméricas totales se expresó como mg de cianidina-3-glucósido (cyn-3-gluc) en 100 g PF. El coeficiente de extinción empleado fue 26.900 M⁻¹ cm⁻¹.

Metabolismo oxidativo

Las variables medidas para determinar el estado oxidativo de los tejidos fueron peroxidación de lípidos y capacidad antioxidante.

Para la determinación de peroxidación de lípidos se midió el contenido de malondialdehído (MDA) en la piel, midiendo el contenido de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARs) a través de la reacción con el ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) (Hodges et al., 1999). Se homogeneizó 0,25 g de piel del sector de estudio con 2 ml de ácido tricloroacético (TCA) 0,1% p/v, y se centrifugó a 10.000x g por 5 min. Una alícuota (0,5 ml) del sobrenadante se colocó en un tubo de ensayo con 2 ml de una solución - TBA (20,0% p/v TCA), y otra con 2 ml de una solución +TBA (20,0% p/v TCA; 0,1% p/v TBA). Las muestras se calentaron a 95°C por 30 min e inmediatamente fueron enfriadas en un baño de hielo, y centrifugadas a 10.000x g por 10 min. En las muestras +TBA se determinó la absorbancia a 532, 600 y 440 nm. Para eliminar la interferencia de otros compuestos se midió la absorbancia a 532 y 600 nm en las muestras -TBA. La concentración de MDA fue calculada por la fórmula:

$$\text{MDA } (\text{nmol ml}^{-1}) = \left[\frac{(A_{+TBA532} - A_{+TBA600}) - (A_{-TBA532} - A_{-TBA600}) - (A_{+TBA400} - A_{+TBA600}) \times e}{C} \right] \times 10^6$$

C: coeficiente de extinción a 532 nm (157.000 mM⁻¹ cm⁻¹).

e: absorción molar de azúcares a 532 nm/absorción molar de azúcares a 440 nm (0,057142857).

Los resultados se expresaron como nmol MDA g⁻¹ PF.

Para determinar la capacidad antioxidante de la piel de pera se utilizó el extracto metanólico ácido empleado en la determinación del contenido de antocianinas monoméricas totales. Se utilizó el método del 2,2-difenil-2-picril-hidracilo (DPPH) (Brand-Williams et al., 1995) con modificaciones. La solución de DPPH se preparó mezclando 4,1 mg DPPH con 100 ml de metanol, obteniendo una absorbancia de 1,1 a 515 nm. Una alícuota de 40 µl del extracto metanólico ácido fue diluida con 120 µl de agua bi-destilada. A continuación, 20 µl de esta disolución se mezcló con 780 µl de DPPH metanólico. El blanco de reacción se compuso de 20 µl de agua bi-destilada con 780 µl de DPPH metanólico. Las muestras y el blanco se incubaron por 30 min en oscuridad a 4 °C. La absorbancia se determinó a 515 nm. Los resultados se expresaron como el porcentaje de inhibición de la oxidación del DPPH, el cual se calculó por la fórmula:

$$\% \text{ de inhibición de DPPH} = [(A_A - A_B)/A_A] \times 100$$

A_A: absorbancia medida en el blanco.

A_B: absorbancia medida en la muestra.

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa Infostat versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018). La evaluación estadística de los datos se realizó mediante un análisis de varianza, donde las comparaciones múltiples entre medias se hicieron a partir de pruebas Tukey. Las diferencias de medias fueron consideradas significativas al nivel p≤0,05.

RESULTADOS

Determinación del color de la piel

Las variables que caracterizan el color de piel presentaron diferencias significativas entre los

sectores expuestos al sol verde y blush: HUE (p<0,0001); CROMA (p<0,0001) y Luminosidad (p=0,0001) (Tabla 1).

La piel con blush presentó una notoria reducción del ángulo HUE (40% respecto de la piel verde), indicando tonos en la gama de los rojos. El sector verde mostró una mayor saturación de color, con un valor promedio de 46,9%, mientras el valor promedio de la piel con blush fue 29,5%. La luminosidad del color se vio reducida en un 18% en el sector con blush respecto del sector verde. Los valores obtenidos en estas variables representan en la piel verde de la cara expuesta de los frutos un color verde claro semi-saturado, mientras el sector con blush se diferencia notablemente por presentar tono rojo, opaco y débilmente saturado.

Caracterización de la calidad de los frutos

En la Tabla 2 se exponen los resultados obtenidos en los parámetros de calidad medidos en los sectores con blush y verde de los frutos.

La firmeza de pulpa en el sector con blush fue significativamente mayor que en el verde. La pulpa debajo del sector con blush superó en 5,8 N el valor medido en el sector verde.

El contenido de sólidos solubles fue significativamente inferior en el sector verde (p<0,0001). Los valores cuantificados fueron de 12,0 °Brix y 13,4 °Brix para el sector verde y con blush, respectivamente. Asimismo, la acidez titulable fue superior en el sector verde respecto del sector con blush.

La degradación de almidón del sector con blush presentó un incremento significativo de 46% respecto del sector verde.

Cuantificación de pigmentos en la piel

En la Fig. 1, se observa el contenido de clorofila total y antocianinas monoméricas totales en la piel verde y con blush. El contenido de clorofila total fue menor en el sector con blush, sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (p=0,1149). La piel verde tenía un contenido de clorofila total de 200 mg g⁻¹ PF y el sector con blush de 187,9 mg g⁻¹ PF (Fig. 1-A).

Tabla 1. Parámetros de color en el sector con blush y verde en piel de pera var. Beurré D'Anjou al momento de cosecha.

Table 1. Colour parameters in the blush and green areas on the skin of pear var. Beurré D'Anjou at harvest time.

Tejido	HUE°	CROMA	Luminosidad
Verde	123,9 ± 0,7 b	46,9 ± 0,6 b	73,2 ± 1,2 b
Blush	73,9 ± 8,2 a	29,5 ± 2,7 a	60,3 ± 4,0 a

Los valores son la media ± el desvío estándar (n= 5). Letras distintas para los valores de una misma columna indican diferencias significativas (Tukey; p≤0,05).

Tabla 2. Parámetros de calidad en el sector con blush y verde en pera var. Beurré D'Anjou al momento de cosecha.

Table 2. Quality parameters in the blush and green areas on the skin of pear var. Beurré D'Anjou at harvest time.

Tejido	Firmeza (N)	Sólidos Solubles (°Brix)	Acidez titulable (%)	Degradación de almidón (%)
Verde	61,9 ± 1,6 a	12,0 ± 0,3 a	0,47 ± 0,01 b	26,0 ± 9,0 a
Blush	67,7 ± 2,0 b	13,4 ± 0,2 b	0,24 ± 0,03 a	38,0 ± 4,0 b

Los valores son la media ± el desvío estándar (n= 5). Letras distintas para los valores de una misma columna indican diferencias significativas (Tukey; $p \leq 0,05$).

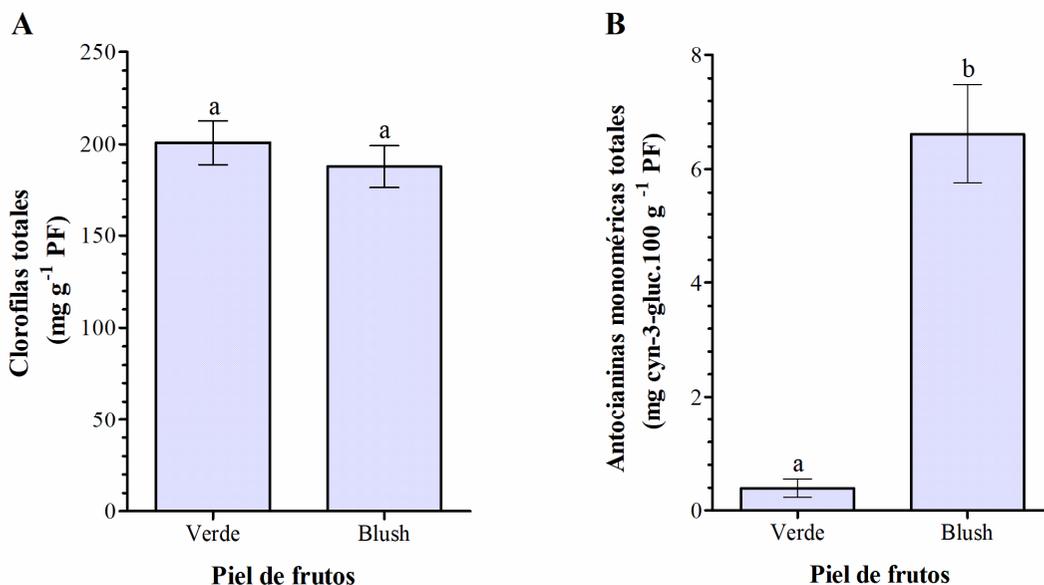


Fig. 1. Diferencias en el contenido de pigmentos entre sector con blush y verde en piel de pera var. Beurré D'Anjou al momento de cosecha. A- Contenido de clorofilas totales; B- Contenido de antocianinas monoméricas totales (Cyn-3-gluc: cianidina-3-glucósido). Los valores son la media ± el desvío estándar (n= 5). Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey; $p \leq 0,05$).

Fig. 1. Differences in pigment content between the blush and green areas on the skin of pear var. Beurré D'Anjou at harvest time. A- Total chlorophylls content of; B- Total monomeric anthocyanins content (Cyn-3-gluc: cyanidin-3-glucoside). Values are mean ± standard deviation (n= 5). Different letters indicate significant differences (Tukey; $p \leq 0,05$).

En relación con el contenido de antocianinas monoméricas totales (Fig. 1-B), los dos sectores evaluados mostraron notorias diferencias ($p < 0,0001$). El contenido de antocianinas en el sector blush superó 1597% el contenido del sector verde. Los valores promedios de antocianinas monoméricas totales fueron de 0,39 mg cyn-3-gluc 100 g⁻¹ PF en la piel verde y 6,62 mg cyn-3-gluc 100 g⁻¹ PF en la piel con blush.

Estado del metabolismo oxidativo

La peroxidación de lípidos de membranas celulares fue significativamente mayor en piel con blush (Fig. 2), con un incremento promedio del 60%, respecto del sector verde (6,7 nmol g⁻¹ PF).

Por otro lado, se comparó la capacidad antioxidante entre estos dos tipos de tejidos, y se observó un mayor contenido de antioxidantes en la piel con blush (Fig. 3). El sector verde mostró un porcentaje de capacidad antioxidante promedio de 22,8%, mientras en sector con blush este valor ascendió a 35,4%.

DISCUSIÓN

Los parámetros de calidad como el color, firmeza, contenido de sólidos solubles y acidez titulable son utilizados para señalar el momento óptimo de cosecha, y cruciales para determinar el manejo de conservación y destino de la fruta,

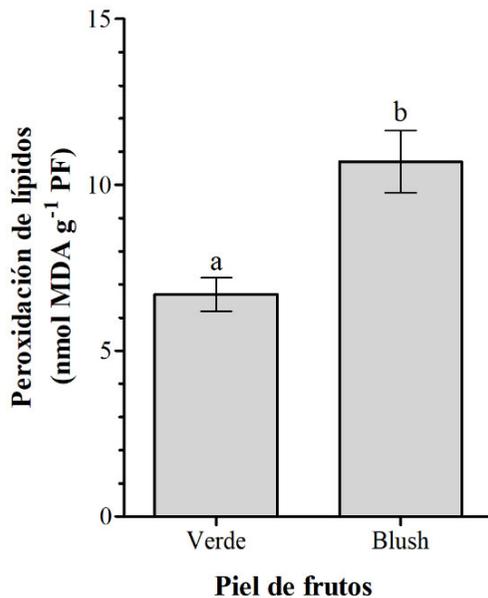


Fig. 2. Peroxidación de lípidos en el sector con blush y verde expuesto de piel de pera var. Beurré D'Anjou al momento de cosecha. Los valores son la media \pm el desvío estándar (n=5). Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey; $p \leq 0,05$).

Fig. 2. Lipid peroxidation in the blush and green areas on the skin of pear var. Beurré D'Anjou at harvest time. Values are mean \pm standard deviation (n=5). Different letters indicate significant differences (Tukey; $p \leq 0.05$).

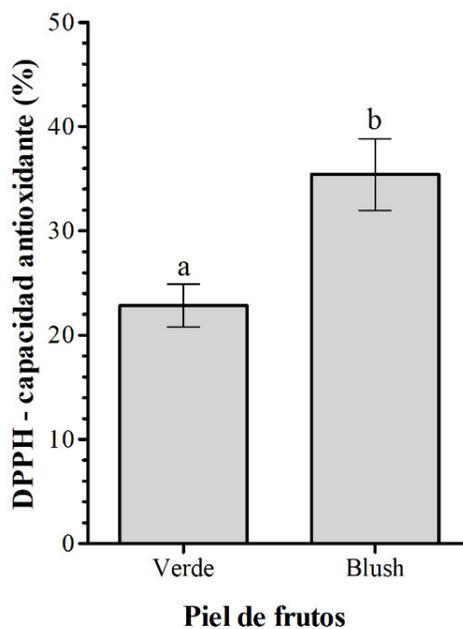


Fig. 3. Capacidad antioxidante en el sector con blush y verde expuesto de piel de pera var. Beurré D'Anjou al momento de cosecha. Los valores son la media \pm el desvío estándar (n= 5). Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey; $p \leq 0,05$).

Fig. 3. Antioxidant capacity in the blush and green areas on the skin of pear var. Beurré D'Anjou at harvest time. Values are mean \pm standard deviation (n= 5). Different letters indicate significant differences (Tukey; $p \leq 0.05$).

asegurando una buena calidad final del producto (Mesa Juliani, 2015).

El descenso en los valores de los tres parámetros del color detectado en el sector con blush de los frutos, respecto al sector verde expuesto de los frutos, expresa las diferencias observadas visualmente y caracteriza a los frutos con blush en la gama de los rojos, opacos y débilmente saturados (Tabla 1). En este sentido, en manzana var. Granny Smith y pera var. Barttler, Felicetti y Schrader (2009) y Raffo et al. (2011) también observaron reducción en los valores de tono, saturación y luminosidad en la piel con blush respecto a la piel verde.

Estas diferencias en el color de piel de los frutos son una respuesta de los tejidos a la exposición directa al sol (Serra et al. 2018). Tanto Peavey et al. (2022) como Visscher et al. (2021) trabajaron con sombreado artificial con mallas en variedades de pera que pueden presentar blush y evaluaron la formación de color rojo en la piel. Los frutos bajo las mallas presentaron tonos en la gama de los verdes y mayor saturación de color respecto a frutos sin mallas, los cuales presentaron valores de tono entre 40 a 50 ° (colores rojizos) y saturación alrededor de 35%.

La característica de algunos frutos de pera de presentar un sector con blush determina no sólo un rasgo distintivo visual, sino que también afecta los parámetros de calidad de los tejidos que se encuentran bajo su piel. Los resultados obtenidos indican variaciones en los parámetros de calidad de los frutos de la var. Beurré D'Anjou en el sector con blush respecto al sector verde expuesto de frutos (Tabla 2). Peavey et al. (2022) no observaron diferencias en la firmeza de pulpa de frutos con blush comparado con frutos desarrollados bajo las mallas de sombra y sin blush, sí registraron incrementos de sólidos solubles en los frutos con mayor exposición a la luz solar, pudiéndose deber el contraste en los resultados al determinar estos parámetros con mediciones en ambas caras de los frutos (expuesta y no expuesta). En coincidencia con los resultados expuestos en nuestro trabajo, Serra et al. (2018) registraron incrementos en firmeza y sólidos solubles y reducción de acidez titulable en los frutos de pera que se desarrollaron en la zona exterior de los árboles, sugiriendo que estos frutos presentaban un estado de madurez distinto en comparación a los frutos que se desarrollaron en el interior de los árboles. A su vez, Raffo et al. (2011) reportaron en frutos de peras Bartlett expuestos al sol no sólo un incremento de la firmeza al momento de la cosecha, sino el mantenimiento de esta diferencia luego de su permanencia a 20 °C por 13 días, respecto de frutos desarrollados dentro de la canopia. Contrariamente, Zhang et al. (2016)

observaron en los frutos que se desarrollaron en el exterior del árbol, valores de firmeza inferiores a los frutos sombreados, indicando que estos frutos presentan un estado madurativo más avanzado asociado al incremento de los sólidos solubles y la reducción de acidez málica. La variación de resultados encontrada puede estar relacionada al nivel de exposición de los frutos y a las diferentes condiciones ambientales locales en las cuales se desarrollaron los frutos evaluados.

Cuando la exposición a la luz solar supera el umbral de tolerancia de los frutos se producen daños en los tejidos. En este sentido, trabajos de distintos autores han reportado incremento de firmeza, sólidos solubles y degradación de almidón junto a caída de la acidez málica en tejidos dañados por el sol, aumentando estas diferencias con la intensidad del daño (Rudell et al., 2017; Schrader et al., 2009; Vita et al., 2019).

El contenido de pigmentos (Fig. 1) obtenido en nuestro estudio, tanto en el sector con blush como en el sector verde expuesto de los frutos, coincide con los publicados por Zhao et al. (2016) para la misma variedad. Galvis et al. (2003) no detectaron antocianinas en frutos verdes de esta variedad, mientras en piel de Red D'Anjou registraron valores promedios de 12 mg 100 g⁻¹ PF, el doble de los observados en este trabajo en el sector con blush. La reducción del tono del color observado en el sector con blush se relacionaría directamente con el incremento de antocianinas en la piel, como lo sugiere Raffo et al. (2011) en peras Bartlett expuestas al sol.

El contenido de pigmentos en la piel de los frutos se asocia directamente a las condiciones de luz en las cuales se desarrollan (Merzlyak et al., 2002). Las diferencias observadas en este estudio en el contenido de clorofila y antocianinas entre el sector verde y con blush de frutos expuestos al sol indica que los frutos presentaron respuestas diferenciales frente a la exposición de luz.

Por otro lado, si bien se observó una reducción del contenido de clorofila total en sector con blush, esta diferencia no fue significativa respecto al sector verde expuesto. Esto pudo deberse a la acción foto-protectora de las antocianinas (Thomson et al., 2018). La degradación de los pigmentos fotosintéticos como la clorofila es una respuesta típica frente a la exposición excesiva de radiación solar (Racsko y Schrader, 2012). En tejidos con daño por sol leve, el contenido de antocianinas fue menor a los observados en el sector con blush y la disminución del contenido de clorofila fue significativo respecto al tejido verde (datos no mostrados). Estos resultados promueven la idea del rol protector de las antocianinas sobre los cloroplastos y la degradación de la clorofila por altas temperaturas planteada por Li y Cheng

(2009). McClymont et al. (2016) sugirieron que la concentración de antocianinas podría retrasar o enmascarar los síntomas de daño por sol en variedades rojas de pera. Esto sugeriría que, la presencia de blush en variedades verdes sería favorable al promover la protección de pigmentos fotosintéticos, pero podría ocultar fisiopatías que afectan la calidad de los frutos.

La exposición a la luz solar y los cambios de color en la epidermis de los frutos implica también modificaciones en otros procesos metabólicos, entre ellos, el estado oxidativo de su piel. En el presente trabajo las diferencias observadas en la peroxidación de lípidos entre el sector con blush, respecto al tejido verde expuesto, evidencia un daño oxidativo en los tejidos con tonos rojos (Fig. 2), posiblemente por la mayor exposición de radiación solar recibida. Zhao et al. (2016) observaron en frutos expuestos al sol incrementos en la actividad de distintas enzimas antioxidantes junto con un aumento de la capacidad antioxidante en la zona con blush de los frutos. La mayor capacidad antioxidante en el sector con blush detectada en nuestro trabajo sugiere la activación de mecanismos de defensa como respuesta metabólica al efecto de una exposición de luz solar diferencial entre ambos sectores analizados. Resultados similares se han reportado en frutos con daño por sol leve, con incremento de metabolitos y enzimas antioxidantes y daño en las membranas lipídicas (Torres et al., 2013; Zupan et al., 2014; Munné-Bosch y Vincent, 2019; Colavita, 2022), señalando que el blush podría estar enmascarando síntomas leves de daño por sol.

Los resultados presentados en este trabajo permiten identificar claras diferencias entre los sectores con blush y verdes de frutos expuestos al sol en cuanto a la calidad exterior e interior al momento de cosecha. Los cambios observados en el sector con blush sugieren que además de la alteración de pigmentos, se produce una respuesta metabólica diferencial, que modifica la calidad y el estado oxidativo de la cara expuesta de los frutos. El comportamiento observado en estos frutos presenta características similares a las descritas en frutos con daño por sol leve, los cuales reciben un manejo post-cosecha diferente. Asimismo, ha sido reportado que el comportamiento en almacenamiento, la tasa de maduración y la calidad final de las peras se ve afectada por la exposición a la luz, replanteando la necesidad de una adecuada clasificación de los frutos en relación con su posición en el árbol (Zhang et al., 2016; Serra et al., 2018). Esto sugiere la necesidad de avanzar en estudios de post-cosecha y calidad de consumo que permitan determinar si el manejo que se realiza actualmente en la var.

Beurré D'Anjou es adecuado para garantizar la calidad de los productos o es necesario proponer un manejo diferencial según la presencia de blush en los frutos de pera.

CONCLUSIONES

Los frutos con blush presentan una coloración distintiva que le agrega valor frente a las demandas estéticas de los consumidores. Sin embargo, el sector de la fruta que desarrolla una tonalidad rojiza presenta diferencias evidentes en los parámetros de calidad y el estado oxidativo en comparación con frutos completamente verdes, independiente de que ambos se hayan desarrollados en similar condición de exposición al sol. Estas diferencias en el metabolismo de los tejidos podrían condicionar su comportamiento durante el almacenaje y vida útil como sucede con los frutos con daño por sol, siendo de interés profundizar en el comportamiento postcosecha de frutos con blush para desarrollar estrategias adecuadas en el manejo y conservación.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por el Proyecto de Investigación 04/A131 de la Universidad Nacional del Comahue, Argentina. Se agradece el apoyo del Centro de Investigación en Toxicología Ambiental y Agrobiotecnología del Comahue (CITAAC, UNCo-CONICET) y del Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE CONICET-UNLP).

LITERATURA CITADA

- Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier, and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* 28(1):25-30. doi: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5
- Candan, A.P. y G. Calvo. 2015. Test de degradación de almidón. Disponible en: <https://inta.gov.ar/documentos/test-de-degradacion-de-almidon> (Consulta 7 septiembre 2018).
- Colavita, G.M. 2022. Respuesta antioxidante y hormonal al estrés por alta radiación solar en frutos de manzana. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias y forestales, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina. doi: 10.35537/10915/133599
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, L. Gonzalez, M. Tablada, y C.W. Robledo. 2018. InfoStat. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar> (Consulta 20 mayo 2020).

- Felicetti, D.A., and L.E. Schrader. 2009. Changes in pigment concentrations associated with sunburn browning of five apple cultivars. I. Chlorophylls and carotenoids. *Plant Science* 176(1):78-83. doi: 10.1016/j.plantsci.2008.09.013
- Galvis, A.C., A. Gil-Izquierdo, and M.I. Gil. 2003. Comparative study of six pear cultivars in terms of their phenolic and vitamin C contents and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83(10):995-1003. doi: 10.1002/jsfa.1436
- Gorriti G. A., F.J. Quispe, A.J.L. Arroyo, A.R. Córdova, B.T. Jurado, I.A. Santiago, et al. 2009. Extracción de antocianinas de las corontas de *Zea mays* L. 'Maíz morado'. *Ciencia e Investigación* 12(2): 64-74. doi: 10.15381/ci.v12i2.3395
- Hodges, M.D., J.M. Delong, C.F. Forney, and R.K. Prange. 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta* 207:604-611.
- Li, P., and L. Cheng. 2009. The elevated anthocyanin level in the shaded peel of 'Anjou' pear enhances its tolerance to high temperature under high light. *Plant Science* 177(5): 418-426. doi: 10.1016/j.plantsci.2009.07.005
- Li, P., Y. Zhang, T.C. Einhorn, and L. Cheng. 2014. Comparison of phenolic metabolism and primary metabolism between green 'Anjou' pear and its bud mutation, red 'Anjou'. *Physiologia Plantarum* 150(3): 339-354. doi:10.1111/ppl.12105
- Lichtenthaler, H.K., and C. Buschmann. 2001. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In: *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. F4.3.1-F4.3.8. Disponible en: <https://currentprotocols.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0471142913.faf0403s01>
- Liu, Y., Y. Tikunov, R.E. Schouten, L.F.M. Marcelis, R.G.F. Visser, A. Bovy. 2018. Anthocyanin biosynthesis and degradation mechanisms in Solanaceous vegetables: A review. *Front. Chem.* 6. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00052>
- McClymont, L., I. Goodwin, S. Turpin, and R. Darbyshire. 2016. Fruit surface temperature of red-blushed pear: threshold for sunburn damage. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 44(4): 262-273. doi: 10.1080/01140671.2016.1216867
- Merzlyak, M.N., A.E. Solovchenko, and O.B. Chivkunova. 2002. Patterns of pigment changes in apple fruits during adaptation to high sunlight and sunscald development. *Plant Physiology and Biochemistry* 40(6-8):679-684. doi: 10.1016/S0981-9428(02)01408-0
- Mesa Juliani, K.F. 2015. Starch distribution in pear tree organs in relation to training systems, rootstocks and fruit quality. Doctoral thesis. Scienze e Tecnologie Agrarie, Ambientali e Alimentari, Università di Bologna, Bologna, Italy. Available at: <http://amsdottorato.unibo.it/id/eprint/7158> (Accessed 7 May 2022)
- Mitcham, B., M. Cantwell, and A. Kader. 1996. Methods for determining quality of fresh commodities. *Perishables handling newsletter* (85):1-5. Available at: <http://ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-49.pdf> (Accessed 16 Nov 2018).
- Munné-Bosch, S., and C. Vincent. 2019. Physiological mechanisms underlying fruit sunburn. *Critical Reviews in Plant Sciences* 38(2):140-157. doi: 10.1080/07352689.2019.1613320.
- Musacchi, S., and S. Serra. 2018. Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae* 234:409-430. doi: 10.1016/j.scienta.2017.12.057
- Ngo, T.X. 2007. Understanding the principles and procedures to retain green and red pigments in thermally processed peels-on pears (*Pyrus communis* L.). Doctoral thesis. Oregon State University, Oregon, USA. Available at: https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate_thesis_or_dissertations/xs55mg053 (Accessed 12 Apr 2022).
- Peavey, M., I. Goodwin, L. McClymont, and S. Chandra. 2020. Effect of shading on red colour and fruit quality in blush pears "ANP-0118" and "ANP-0131". *Plants* 9(2):1-11. doi: 10.3390/plants9020206
- Peavey, M., L. McClymont, A. Scalisi, and I. Goodwin. 2022. Netting of different shade factors affect light penetration, fruit and vegetative growth, yield and fruit quality in an Australian blush pear. *Scientia Horticulturae* 299: 111001. doi: 10.1016/J.SCIENTA.2022.111001
- Racsko, J., and L.E. Schrader. 2012. Sunburn of apple fruit: historical background, recent advances and future perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences* 31(6):455-504. doi: 10.1080/07352689.2012.696453

- Raffo, M.D., N.M.A. Ponce, G.O. Sozzi, A.R. Vicente, and C.A. Stortz. 2011. Compositional changes in Bartlett pear (*Pyrus communis* L.) cell wall polysaccharides as affected by sunlight conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(22):12155-12162. doi: 10.1021/jf203950d
- Rudell, D.R., S. Serra, N. Sullivan, J.P. Mattheis, and S. Musacchi. 2017. Survey of 'd'Anjou' pear metabolic profile following harvest from different canopy positions and fruit tissues. *HortScience* 52(11):1501-1510. doi: 10.21273/HORTSCI12375-17
- Schrader, L.E., J. Zhang, J. Sun, J. Xu, D.C. Elfving, and C. Kahn. 2009. Postharvest changes in internal fruit quality in apples with sunburn browning. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 134(1): 148-155. doi:10.21273/jashs.134.1.148
- Serra, S., N. Sullivan, J.P. Mattheis, S. Musacchi, and D.R. Rudell. 2018. Canopy attachment position influences metabolism and peel constituency of European pear fruit. *BMC Plant Biology* 18(1): 1-20. doi: 10.1186/s12870-018-1544-6
- Severino, V., M. Arias-Sibillotte, S. Dogliotti, E. Frins, J.A. Yuri, and J. González-Talice. 2021. Pre- and Postharvest Management of Sunburn in 'Granny Smith' Apples (*Malus × domestica* Borkh.) under Neotropical Climate Conditions. *Agronomy* 11, 1618. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081618>
- Shewfelt, R.L. 2014. Measuring quality and maturity. p. 387-410. In Academic Press (ed) *Postharvest Handling* (Third Edition). doi: 10.1016/B978-0-12-408137-6.00014-4
- Steyn, W.J., S.J.E. Wand, G. Jacobs, R.C. Rosecrance, and S.C. Roberts. 2009. Evidence for a photoprotective function of low-temperature-induced anthocyanin accumulation in apple and pear peel. *Physiol. Plant.* 136, 461-472. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01246.x>
- Thomson, G.E., S. Turpin, and I. Goodwin. 2018. A review of preharvest anthocyanin development in full red and blush cultivars of European pear. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 46(2): 81-100. doi: 10.1080/01140671.2017.1351378
- Torres, C.A., A. Sepulveda, J. Gonzalez-Talice, J.A. Yuri, and I. Razmilic. 2013. Fruit water relations and osmoregulation on apples (*Malus domestica* Borkh.) with different sun exposures and sun-injury levels on the tree. *Scientia Horticulturae* 161:143-152. doi:10.1016/j.scienta.2013.06.035
- Torres, C.A., and R. Mogollon. 2022. Characterization of sun-injury and prediction of sunscald on 'Packham's Triumph' pears using Vis-NIR spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 184: 111776. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111776>
- Visscher, I., M. Peavey, L. McClymont, I. Goodwin, and S. Chandra. 2021. The effects of light exposure on colour development in the blush pear 'ANP-0534'. *Acta Horticulturae* 1303:529-536. doi: 10.17660/ACTAHORTIC.2021.1303.72
- Vita, L.I. 2018. Evolución de poliaminas y capacidad antioxidante en frutos de manzana sometidos a estrés por elevada radiación solar. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, Río Negro, Argentina.
- Vita, L.I., S.J. Maiale, N. Spera, and C.M. Colavita. 2019. Changes in polyamine levels on sunburn apple skin. *Acta Horticulturae* 1261:273-280. doi: 10.17660/actahortic.2019.1261.39
- Wand, S.J.E., W.J. Steyn, D.M. Holcroft, M.J. Mdluli, K. Van Den Dool, and G. Jacobs. 2004. Use of evaporative cooling to improve 'Rosemarie' and 'Forelle' pear fruit blush colour and quality. p. 103-111. In IX International Pear Symposium, ISHS *Acta Horticulturae* 671. doi: 10.17660/ActaHortic.2005.671.12
- Wu, M., J. Liu, L. Song, X. Li, L. Cong, R. Yue, C. Yang, Z. Liu, L. Xu, Z. Wang. 2019. Differences among the anthocyanin accumulation patterns and related gene expression levels in red pears. *Plants* 8: 100. <https://doi.org/10.3390/plants8040100>
- Zhang, J., S. Serra, R.S. Leisso, and S. Musacchi. 2016. Effect of light microclimate on the quality of 'd'Anjou' pears in mature open-centre tree architecture. *Biosystems Engineering* 141: 1-11. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2015.11.002
- Zhao, J., X. Xie, X. Shen, and Y. Wang. 2016. Effect of sunlight-exposure on antioxidants and antioxidant enzyme activities in 'd'Anjou' pear in relation to superficial scald development. *Food Chemistry* 210: 18-25. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.04.045
- Zoratti, L., K. Karppinen, A. Luengo Escobar, H. Häggman, and L. Jaakola. 2014. Light-controlled flavonoid biosynthesis in fruits. *Frontiers in Plant Science* 5(534):1-17. doi: 10.3389/fpls.2014.00534
- Zupan, A., M. Mikulic-Petkovsek, A. Slatnar, F. Stampar, and R. Veberic. 2014. Individual phenolic response and peroxidase activity in peel of differently sun-exposed apples in the period favorable for sunburn occurrence. *Journal of Plant Physiology* 171(18):1706-1712. doi: 10.1016/j.jplph.2014.08.010