

---

## **CARACTERIZACIÓN METABÓLICA DEL DAÑO POR SOL EN MANZANAS**

**ÁLVARO IVÁN SEPÚLVEDA LEÓN**  
**MAGISTER EN HORTICULTURA**

### **RESUMEN**

El daño por sol constituye uno de los principales descartes de las manzanas de exportación chilenas, que en cultivares sensibles como Fuji puede afectar al 40% de la producción. Es causado por exposición del fruto en el huerto a alta radiación solar directa y alta temperatura. La energía solar excedente que incide sobre el tejido desencadena una proliferación de las especies reactivas de oxígeno (estrés foto-oxidativo). Estas pueden reaccionar con componentes celulares, causando muerte del tejido. La planta las enfrenta mediante diversos mecanismos, por un lado a través de la neutralización de las especies reactivas mediante el ciclo de óxido-reducción del ascorbato-glutación, y por otro, a través de acumulación de compuestos, principalmente fenólicos, que absorben el exceso de radiación. Cambios en los metabolitos, enzimas y demás compuestos involucrados en los sistemas defensivos frente a condiciones de elevada radiación y temperatura, ofrecerían una mejor relación en cuanto al desarrollo del daño, sensibilidad varietal, así como a mejorar su control. Para caracterizar estos cambios, se marcaron frutos de los cultivares Royal Gala y Red Fuji en la temporada 2010/11, en un huerto comercial ubicado en el sector de San Clemente, Chile. Periódicamente, a partir de los 66 días después de plena flor, se recolectó piel con diferente exposición solar directa: expuesto y no expuesto; y diferente nivel de daño por sol: leve, moderado y severo (necrótico). En estas muestras de piel se determinaron los niveles de ascorbato y glutación, actividad y expresión de las enzimas del ciclo ascorbato-glutación. Además, se cuantificaron fenoles totales y específicos, clorofilas, carotenos y azúcares específicos. El 44% de los frutos de Gala llegaron con algún nivel de daño por sol a cosecha, y sólo el 2% mostró daño severo. En Fuji, el 75% registró daño por sol a cosecha y el 50% de los frutos tenía daño severo. El contenido de ascorbato total resultó muy variable en ambos cultivares, a través de la temporada. Piel expuesta sin daño de Gala mostró una disminución del contenido de ascorbato total con el crecimiento del fruto, y fue la

que registró mayor actividad de las enzimas ascorbato peroxidasa y glutatión reductasa. En general, las secciones con daño por sol mostraron baja actividad enzimática y los transcritos de las enzimas antioxidantes resultaron mayores en la piel expuesta al sol (sin daño por sol) que en la no expuesta, dando cuenta de la aclimatación y posterior sobrepaso de ROS y daño oxidativo. El nivel de fenoles totales fue mayor en el tejido con daño por sol y en la piel expuesta sin daño que en aquella no expuesta al sol. Los azúcares específicos mostraron una propensión a mayor contenido en piel con daño por sol. Las clorofilas no mostraron una tendencia en relación a la exposición solar de la piel, pero sí a disminuir con el crecimiento del fruto. En Royal Gala se registró un mayor contenido de carotenos en piel con daño por sol en comparación a piel sin daño. Por otro lado, durante la misma temporada, en dos ocasiones (81 y 114 días después de plena flor), se realizó una exposición repentina a radiación solar directa de frutos del interior del árbol, sin ambientación a condiciones de alta luminosidad. Se midieron los cambios en los mecanismos de protección periódicamente hasta diez días después de la exposición repentina. En Gala, la piel del fruto expuesta repentinamente a estrés foto-oxidativo mostró un aumento del contenido de ascorbato total, luego de la exposición y hasta una semana después. Las clorofilas, en ambos cultivares, registraron una caída en piel expuesta repentinamente. En menor medida, los carotenos. El contenido de las quercetinas glicosiladas aumentó con la exposición repentina. Sin embargo, este aumento fue más alto en la primera fecha de exposición. Ello también se registró con el contenido de ácido clorogénico, catequina y epicatequina. El sistema antioxidante ascorbato-glutatión constituiría una respuesta inmediata a la proliferación de las especies reactivas de oxígeno, que perdería su eficacia con la persistencia de esta carga energética por tiempo prolongado. La acumulación de fenoles, principalmente quercetinas, y carotenos constituirían un mecanismo de protección en el largo plazo o ambientación. Una menor acumulación de fenoles podría potenciar el riesgo por desarrollar daño por sol, a medida que los frutos crecen en la temporada.

## ABSTRACT

Sunburn is a major fruit defect decreasing exportable chilean apples. In several cultivars, such as Fuji, may affect up to 40% of total production. Sunburn is caused by high solar irradiance and elevated temperature environments. The excess energy in the exposed sections of the fruit causes a proliferation of reactive oxygen species (ROS) or photo-oxidative stress. Those can react with cellular component causing cell death. Plant responses with different anti stress mechanisms in order to neutralize ROS: the ascorbate-glutathione cycle and accumulation of phenolic compounds and pigments. Changes in compounds and enzymes of antioxidant mechanisms when fruit are exposed to high solar radiation and high temperature environment will offers a better understood of sunburn development, varietal sensitive, and its control. To characterize changes in different antioxidant systems, Royal Gala and Red Fuji apples were labeled during 2010/11 growing season, in a commercial orchard (San Clemente, Chile) exposed to sun radiation but without sunburn, no exposed to sunlight; and with different sunburn intensity: mild, moderate and severe sun damage (necrotic peel). Every 10-15 days since 66 days after bloom, fruit peels with different sun exposure were collected. Ascorbate and glutathione as well as, expression and activity of ascorbate-glutathione cycle enzymes, total and specific phenolic compounds, chlorophylls, carotenoids, as well as, specific carbohydrate compounds were determined in peel extracts. Sunburn incidence in Gala was 44%, with only 2% in severe category, and in Fuji, 75% with 50% of total fruits being severe intensity. Ascorbate content was variable for both cultivars throughout the growing season. Total ascorbate on sun exposed peel decreased during the growing season, and ascorbate peroxidase and glutathione reductase activities were the higher in sun exposed sections. The sunburned sections of the fruit recorded low enzymatic activities. The enzyme transcripts were higher in sun exposed peel without sun damage than unexposed peel. Total phenolic compounds were higher in exposed peel with and without sunburn than unexposed peels. Specific carbohydrates showed an increase as sunburn appeared. Chlorophylls content decreased as the fruit grown, but did not vary

among sun exposure. Royal Gala recorded the highest carotenoid level in sunburned peel. On the other hand, in two times during 2010/11 growing season: 81 and 114 days after bloom, a sudden solar exposure of unexposed fruit was carried out. Every 2-3 days until day 10 after sudden exposure, changes in antioxidants mechanisms were evaluated in peel samples from sections with different sun exposure. Gala peel showed an increase of total ascorbate content after sudden exposure. Chlorophylls and carotenoid content decreased in both cultivars. In contrast, quercetins, chlorogenic acid, catechin and epicatechin content increased after sudden exposure on sun exposed peel. Ascorbate-glutathione antioxidant system appears to be a short term response mechanism against photo-oxidative stress. On the other hand, phenolic compounds accumulation, lead by quercetins and carotenoids, appears to be a long term protection or key for long term acclimation.