

**INFLUENCIA DEL CLON Y LA LUZ DENTRO DE LA PLANTA SOBRE LA
CONCENTRACIÓN DE PIGMENTOS, FLAVONOIDES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y EL
COLOR EN MANZANAS GALA**

**JAIME RODOLFO GONZALEZ TALICE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**

RESUMEN

Los flavonoides son un importante componente de la piel de las manzanas debido a su influencia sobre el color del fruto y calidad externa, además juegan un rol de protección en el tejido de las plantas durante condiciones de estrés. Asimismo poseen capacidad antioxidante, la cual ha sido relacionada con la salud humana. Los clones derivados de un cultivar de manzana son seleccionados por su mayor coloración roja y concentración de antocianinas. En este estudio se evaluó, sobre dos clones de manzana Gala con diferente capacidad de colorearse, la concentración de flavonoides y capacidad antioxidante en la piel de frutos cosechados en distintas posiciones del árbol y sus relaciones con el ambiente lumínico dentro del mismo, durante dos temporadas de crecimiento. A su vez se establecieron relaciones entre la concentración de pigmentos, el color de la fruta, el contenido fenoles y flavonoides totales. La concentración de cianidina 3-galactosa fue más de tres veces superior en el clon Baigent que en Galaxy, en ambos años de evaluación. En la segunda temporada, la concentración de este pigmento fue tres veces superior en el lado expuesto del fruto y cuatro veces en el sombreado, respecto a la primera temporada, independientemente del clon, lo cual se relaciona a la ocurrencia de temperaturas mínimas diarias $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ previo a la cosecha. En la primera temporada, se encontró una correlación positiva entre la concentración de antocianina y la PAR (radiación fotosintéticamente activa) dentro del dosel, y no así en la segunda temporada. Las quercetinas glicosiladas mostraron altas correlaciones ($R^2 > 0,62$) con la PAR en el lado expuesto del fruto en las dos temporadas, mientras para los flavanoles no se encontró ninguna asociación. La actividad antioxidante aumentó con la PAR dentro del dosel en el lado expuesto del fruto, excepto en Baigent en la segunda temporada, debido posiblemente a la alta acumulación de cianidina 3-galactosa registrada en este clon. A su vez, se encontraron correlaciones positivas entre la actividad antioxidante y la concentración de quercetinas glicosiladas, catequinas, ácido clorogénico, floridzina y cianidina 3-galactosa. Aunque esta última mostró una fuerte variación entre temporadas. A excepción de las antocianinas y la clorofila b, no se hallaron

diferencias entre los clones en la concentración de pigmentos. En la primera temporada, la concentración de antocianinas de la cara expuesta del fruto de Baigent aumentó con la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en forma exponencial asintótica hasta niveles cercanos a $100\mu\text{g cm}^{-2}$, mientras Galaxy mostró una respuesta lineal con concentraciones $<100\mu\text{g cm}^{-2}$. La tonalidad del fruto (h) mantuvo el mismo patrón independiente de la temporada, clon y lado del fruto, mostrando una disminución exponencial h (tonos más rojos) al aumentar las antocianinas ($R^2=0,93$). De igual forma lo hizo la luminosidad (L) con un $R^2>0,80$; sin embargo, las pendientes fueron diferentes entre temporadas. La cromaticidad aumentó con las antocianinas y disminuyó con la clorofila a. La concentración de antocianinas mostró una asociación positiva ($R^2=0,45$) con la relación clorofila b clorofila a-1 (Cl b/a). La concentración de flavonoides y fenoles totales fue similar entre clones en la primera temporada, promediando 0,34 y 0,81 mg cm^{-2} , pero en la temporada siguiente Baigent alcanzó un 86 y 56 % mayor concentración que Galaxy, respectivamente. Bajo condiciones ambientales que no favorecen el desarrollo del color (relacionado a altas temperaturas mínimas), la cantidad de fenoles totales y flavonoides es explicada en más de un 50% por la PAR en el dosel; cuando las condiciones favorecen el desarrollo del color rojo, esta variable no muestra asociación.

ABSTRACT

Flavonoids are an important component of apple peels due to their antioxidant capacity, which have been linked to positive effects on human health. They also determine the quality of colored fruits and play a protective role in plant tissues during stress conditions. The strains of an apple cultivar are selected on the basis of reddish coloring and anthocyanin concentration (mainly cyaniding 3-galactoside) in the fruit peel. This study were assessed the flavonoid concentrations and antioxidant capacity in the peel of the exposed and shaded sides of fruits harvested from different positions in the canopy of two Gala apple strains (Baigent and Galaxy) with different coloring capacities, over two growing seasons. Relationships among fruit color, pigment concentration, total phenols and flavonoid content were established. The concentration of cyanidin 3-galactoside was more than three times higher in Baigent than in Galaxy in both seasons of evaluation. In the second growing season the concentration of this pigment was three times higher on the exposed side of the fruit and four times higher on the shaded side, than in the first growing season, independent of the strain, which could be explained by the occurrence of minimal daily temperatures $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ prior to harvest. A positive correlation was found in the first growing season between the cyaniding 3-galactoside concentration and PAR (photosynthetically active radiation) within the canopy, but not in the second growing season. Quercetin glycosides showed high correlations ($R^2 > 0.62$) with PAR on the exposed side of the fruit in both seasons, while no associations were found for epicatechin and procyanidin B2. Antioxidant activity increased with PAR within the canopy, on the exposed side of the fruit, except in Baigent in the second season, possibly due to the high level of accumulation of cyanidin 3-galactoside in this strain. The results indicate that both coloring and high anthocyanin concentrations do not necessarily mean a higher level of antioxidant capacity, at least in apple strains with different coloring capacities and under different environmental conditions. With the exception of anthocyanin and chlorophyll b, there were not differences between the strains in the pigment concentrations. In the first season, anthocyanin concentrations in the exposed side of the fruit of Baigent showed an exponential increase a asymptote near $100\text{ }\mu\text{g cm}^{-2}$ with the PAR; while Galaxy showed a linear response, with concentrations $< 100\text{ }\mu\text{g cm}^{-2}$. The hue of the fruit (h) maintains the same shape in both strains and growing seasons, showing an exponential decrease with the increase of anthocyanin concentrations ($R^2 = 0.93$). Similarly, lightness decreased as the anthocyanin increased ($R^2 > 0.80$), however the relationship slopes were different between seasons.

Chroma presented a positive relation with anthocyanin and inverse with chlorophyll a. The relation chlorophyll b chlorophyll a-1 was positively related with anthocyanins content. The flavonoid and total phenol concentrations were similar between clones in the first growing season, averaging 0.34 and 0.81 mg cm⁻², but Baigent reached a 86 and 56% higher concentration than Galaxy, respectively, in the following year. Under environmental conditions that did not promote the color development (related with high minimum temperatures close to the harvest), the amounts of total phenols and flavonoides were explained by more than 50% for the PAR within the canopy; under conditions that promote color development, no significant relation was found.

Palabras Clave: Radiación fotosintéticamente activa, Antocianinas, Clorofila, Carotenoides, Color, Quercetinas, Flavanoles, Flavonoles, Dihidrochalconas, Fenoles.