
LOS FRUTOS Y SU FOTOSÍNTESIS

FRUITS AND PHOTOSYNTHESIS

DEAQUIZ-OYOLA, Yuli Alexandra¹

RESUMEN

El crecimiento y desarrollo de los frutos están condicionados por factores ambientales, tales como: radiación solar, temperatura, humedad relativa y precipitación, que afectan su fenología y procesos metabólicos, que se reflejan en su calidad y tamaño. Además la variedad, la edad de la especie vegetal, las prácticas culturales, la cantidad de CO₂, los reguladores de crecimiento y la nutrición también influyen en este proceso de maduración. Por otra parte, el proceso fotosintético en frutos inmaduros se da de igual manera que en las hojas, no obstante, cuando comienza el proceso de maduración esto cambia debido a que la clorofila se degrada e intervienen otros pigmentos como los carotenoides, α -carotenos y β -carotenos, que contienen sustancias antioxidantes buenas para la salud del ser humano.

¹Ingeniera Agrónoma, M. Sc.
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia
Grupo de Investigaciones en
Abonos Orgánicos Fermentados
(AOF)

*Correspondencia:
yulideaquiz@gmail.com

Recibido: 1/03/2014

Aceptado: 26/05/2014

Palabras clave: *carotenoides, clorofila, pigmentos, radiación solar, temperatura.*

ABSTRACT

Growth and fruit development are conditioned by environmental factors such as solar radiation, temperature, relative humidity and rainfall, affecting phenology and metabolic processes, which are reflected in its quality and

size. Besides the variety, the age of the plant species, cultural practices, the amount of CO₂, plant growth regulators and nutrition also influence this process of maturation. Moreover, the photosynthetic process occurs in immature fruits same manner as in the leaves, however, when the ripening process starts it changes because chlorophyll is degraded and other pigments intervene such as carotenoids, α -carotene and β -carotene, which contain antioxidants good for human health.

Key words: *carotenoids, chlorophyll, pigments, solar radiation, temperature.*

INTRODUCCIÓN

Dentro del metabolismo primario de las plantas, la fotosíntesis es un proceso de suma importancia porque convierte la energía lumínica en energía química (Kraub, 2003), que es aprovechada para su crecimiento y desarrollo (división, elongación, floración y fructificación). Es así, que una reducción de intensidad lumínica afecta estos procesos, sobre todo la inducción floral, su diferenciación, el cuajado, el tamaño, el color y la calidad de los frutos y en menor grado el crecimiento (Dussi, 2007).

El proceso de fotosíntesis en frutos está ligado a factores bióticos y abióticos que influyen en la calidad y la producción de estos productos agrícolas, de tal manera, que la radiación solar óptima favorece el color de estos, al permitir una mayor

síntesis de pigmentos, mejorando sus características químicas y organolépticas (sabor y olor), aumentando el contenido de materia seca y la capacidad antioxidante de algunas de estas especies vegetales.

Dussi (2007) describe que existe una relación lineal entre la acumulación de antocianinas y la intensidad lumínica, en la cual los carbohidratos juegan un papel clave debido a que proveen el sustrato para la biosíntesis de flavonoides e inducen la expresión de genes implicados en la biosíntesis de antocianinas (Ubi, 2004). Por lo anterior, este artículo quiere dar una mirada a los factores que intervienen en el proceso de fotosíntesis de frutos y su proceso de crecimiento y maduración.

Influencia de la radiación solar

La fotosíntesis es un proceso donde los órganos fotosintéticos utilizan la energía solar para la síntesis de compuestos orgánicos que no pueden formarse sin este aporte de energía (Taiz & Zeiger, 2006), es aquí donde los diferentes pigmentos fotosintéticos absorben esta energía en longitudes de onda determinadas, donde son detectadas y absorbidas por

los cloroplastos, comenzando así las reacciones lumínicas (en los tilacoides), en las cuales dependiendo del estado de madurez del fruto interviene la clorofila o los carotenoides, estos últimos absorben la luz azul-verde y reflejan la luz amarilla, naranja y roja, colores característicos de la mayoría de frutos. De igual manera, la intensidad lumínica afecta la calidad y tamaño poscosecha de los frutos.

No obstante, la exposición prolongada a una intensidad de luz mayor al punto de saturación de la fotosíntesis, puede aumentar la temperatura de los frutos produciendo daños a estos (Sams, 1999), tales como el “asoleamiento” o “golpe de sol”. Pérez *et al.*, (2009) señala que los frutos de mamón que tuvieron mayor peso y dimensiones físicas fueron los ubicados en la parte superior del árbol, atribuyendo este resultado a la mayor incidencia de luz solar en estos. Lemus (1993) señala que el mayor desarrollo de frutos en la parte alta y en la periferia de las plantas se debe a que estas zonas están más expuestas a la radiación solar.

Según Plana *et al.*, (2008) las altas intensidades de luz afectan los frutos de tomate causando manchados y laceraciones, pero esto también depende de la susceptibilidad del material a la radiación solar. De igual forma, los licopenos se ven afectados por el exceso de luz, disminuyendo la intensidad del color rojo en los frutos. Así mismo, según Herrmann (2001) el contenido de azúcares en los frutos es altamente dependiente de la intensidad luminosa, por tanto, los tomates cultivados en campo abierto presentan mayores contenidos en sólidos solubles que aquellos que crecen bajo condiciones de invernadero (Casierra-Posada & Cardozo, 2009).

Del mismo modo, Hiseada & Nishina (2007), encontraron que los rendimientos de tomate por semana, bajo condiciones de invernadero se podrían predecir a partir de la radiación solar acumulada durante un periodo de 1 a 8 semanas antes de la cosecha. Por otro lado, los bajos niveles de luz, causados por sombra, reducen la actividad fotosintética, el cuajado

y el rendimiento del fruto en tomate (Cockshull *et al.*, 1992; Wada *et al.*, 2006). La cantidad de radiación solar antes de la floración es un factor importante para la predicción del rendimiento de frutos de tomate bajo invernadero (Tadahisa-Higashide, 2009).

Estudios realizados en dos materiales de lulo afirman que las condiciones de luz influyen en la cantidad de proteína total y actividad de las enzimas Rubisco y de PEP-carboxilasa, donde en condiciones de sombrero la actividad enzimática aumenta (Medina *et al.*, 2006). De igual forma, Olarte-Ortiz *et al.*, (2001), encontraron que en árboles de naranja en etapa de fructificación su tasa fotosintética es alta, debido a que la presencia de frutos estimula la fotosíntesis.

Influencia de la temperatura

Los factores ambientales afectan el desarrollo óptimo de los frutos, en este caso, la temperatura incide en procesos como la fotosíntesis, la respiración y la maduración, donde se habla de valores máximos, mínimos, críticos y óptimos en diferentes especies vegetales, correlacionándose con la exposición directa del fruto a la radiación solar y que está estrechamente relacionada con el proceso de evapotranspiración como mecanismo de regulación de la temperatura en los tejidos de las plantas.

De igual forma, las temperaturas que se presentan en los frutos son superiores a las de las hojas y el tallo, debido a que la tasa de respiración es más alta, lo que conlleva una maduración más rápida, pero que depende de cada especie vegetal, dado a la condición climática o

no climatérica del fruto. Según Adams & Valdés (2002), las altas temperaturas antes de la cosecha aceleran la maduración del fruto de tomate. No obstante, Steven *et al.*, (2011), encontraron menor contenido de sólidos solubles totales en frutos de fresa a temperatura de 22 °C.

Zen-Hong *et al.*, (2001), observaron que en frutos de manzana a temperatura de 20°C presentaron mayor contenido de sólidos solubles y antocianinas, además de un aumento en diámetro, en comparación a temperaturas inferiores. Según Valden *et al.*, (2008) en frutos de arándano las temperaturas mínimas diarias (15-16 °C) favorecen la floración, el cuajado y el crecimiento de los frutos.

Además, los efectos de la temperatura sobre la fotosíntesis de arándanos no son claros, y las altas temperaturas han demostrado tener bajo efecto perjudicial sobre el intercambio de carbono (Kumudini, 2004; Vanden & Davenport, 2005). Por otro lado, el manejo de temperaturas bajas en el almacenamiento de frutos, disminuye los procesos metabólicos generados por la presencia de etileno, como la tasa respiratoria, la degradación de pigmentos y la pared celular, entre otros, mediante su influencia sobre la actividad enzimática, lo que retarda el proceso de maduración (Osterloh, 1996).

Influencia de los carotenoides y reguladores de crecimiento

Los carotenoides son pigmentos fotosintéticos responsables de la mayoría de los colores amarillos, naranjas y rojos de los frutos. En estos pigmentos naturales se encuentran tres elementos importantes

C, H y O. El oxígeno puede estar presente como grupo hidroxilo, metoxilo, carboxilo o carbonilo. Además, los carotenoides se pueden clasificar en dos grupos los carotenos, que son hidrocarburos, y las xantofilas, que poseen oxígeno en su molécula (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004). Al medir la producción de oxígeno como una función de la longitud de onda, se describe el espectro de acción para la fotosíntesis, esto es, una representación de la eficacia de diferentes longitudes de onda de la luz en la promoción de la fotosíntesis (Nabors, 2006).

De otra forma, en la mayoría de los frutos, el proceso de maduración involucra la pérdida de clorofila y la síntesis o desenmascaramiento de otros pigmentos que se han formado durante el desarrollo del fruto (Aked, 2000; Ferrer *et al.*, 2005). Los datos obtenidos en papaya maradol, indicaron que los primeros cambios del color se dieron como resultado de un incremento del color amarillo dado por procesos enzimáticos (Santamaria *et al.* 2009).

En el cultivo de olivo se encontró que después del cuajado, el fruto muestra un intenso color verde y una elevada capacidad fotosintética, hasta 20 días después de plena floración, a partir de ese momento, la fotosíntesis desciende durante unos 60 días hasta que desaparece la totalidad de la clorofila (Barranco *et al.*, 2008), esto se debe a que la clorofila comienza a un proceso de degradación y el fruto comienza a absorber longitudes de onda diferentes donde intervienen otros pigmentos, además de que la tasa respiratoria aumenta, conllevando que la fotosíntesis disminuya.

De igual forma, Fouche *et al.*, (2010),

encontraron en frutos de manzana verde variedad Granny Smith, que la síntesis de clorofila y el máximo de color verde oscuro requieren un dosel abierto durante la primera mitad del desarrollo del fruto, mientras que el sombreado es necesario durante la segunda mitad del desarrollo del fruto para evitar la ocurrencia de quemaduras de sol y la destrucción fototérmica de la clorofila. Esto explica que diferentes especies vegetales requieren distintas cantidades de luz lumínica y longitudes de onda, para fotosintetizar los azúcares y evitar daños fisiológicos que deterioren la calidad de los frutos.

Según Álvarez-Herrera *et al.*, (2009), los cambios de coloración del fruto de champa se deben a la degradación de la clorofila, por la actividad de enzimas del tipo clorofilasa y clorofila oxidasa (Valpuesta *et al.*, 1996), que hacen desenmascarar los colores amarillos (carotenoides) a medida que el fruto madura (Kays, 1997). Esta coloración amarilla en algunos casos se presenta con el fin de evitar la fotoinhibición (Matile *et al.*, 1999). La degradación de la clorofila comienza con la disociación del residuo de fitol y del anillo de porfirina de la molécula de clorofila, reacción que es catalizada por la enzima clorofilasa (Kariola *et al.*, 2005).

Entre los factores que contribuyen significativamente al incremento en volumen de los frutos se encuentran los reguladores de crecimiento como las giberelinas, responsables de la expansión celular (García-Matínez & Hedden, 1997). De igual forma, Kojima (2005) encontró altas concentraciones de ácido giberélico en todos los constituyentes

de los frutos de tomate durante la fase de expansión celular, lo que justifica la importancia de las giberelinas en la expansión celular en los frutos. De igual manera, se debe hablar del etileno como el compuesto más simple de las olefinas, que interviene en el proceso de maduración, que se libera fácilmente de los tejidos y se difunde en forma de gas a través de los espacios intercelulares y fuera de los tejidos (Taiz & Zeiger, 2006).

Todos los frutos que maduran en respuesta al etileno exhiben un incremento respiratorio característico antes de la fase de maduración llamado climaterio. Estos frutos también muestran un aumento de la producción de etileno antes, simultáneamente, o después del incremento en la respiración, manzanas, bananos, aguacates y tomates son ejemplos de los frutos climatéricos (Kays, 2004; Taiz & Zeiger, 2006). Por el contrario, frutos como los cítricos, fresas y las uvas presentan baja producción de etileno y con ello su tasa respiratoria disminuye o es constante los cuales se clasifican como frutos no climatéricos (Kays, 2004; Bapat *et al.*, 2010).

Graham y Smit (2010), investigaron un método para aumentar el color precosecha de la corteza en cítricos utilizando un inhibidor de crecimiento, prohexadiona de calcio (Proca; Regalis®), que inhibe la biosíntesis de las giberelinas, el cual aumentó significativamente el color de cáscara de mandarina “Clementina de Nules” y naranja “Navelina Navel” directamente después de la cosecha y después de la desverdización de etileno por la disminución de la clorofila y el aumento de las concentraciones de carotenoides en el flavedo de la fruta.

Esto se debió a las altas cantidades de giberelinas que presentaron los cítricos, la cuales regulan la presencia de clorofila y la disminución del etileno, obteniendo un tiempo poscosecha más largo; no obstante, en otras especies vegetales como la manzana se hacen aplicaciones de giberelinas para inducir el cuajado de frutos y el aumento de la producción en caña de azúcar (Taiz & Zeiger, 2006), ya que lo que se busca es mejorar la producción y calidad del producto.

Por otra parte, Mattheis y Rudell (2005), investigaron el metabolismo de los componentes de la cáscara de dos variedades de manzanas “Delicious” y “Golden Delicious”, donde se hicieron

aplicaciones de 1-metilciclopropeno (1-MCP) en una atmósfera controlada de almacenamiento, para limitar la actividad de etileno durante y después del almacenamiento a 1°C, observando que la aplicación del 1-MCP inhibe la degradación de los compuestos responsables del color rojo de la piel, así como otros flavonoides, el contenido de β -caroteno y luteína. Por tal razón, se puede afirmar que los reguladores de crecimiento cumplen un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de la planta, además responden a estímulos fisiológicos que conllevan procesos de inhibición o desarrollo de órganos dentro de la planta.

CONCLUSIONES

La fotosíntesis es un proceso que no solo ocurre en los órganos fuente (hojas, tallo y raíces) sino que también se puede dar en órganos vertederos como es el caso de frutos, donde intervienen pigmentos fotosintéticos diferentes de acuerdo con la especie vegetal y es controlado por factores hormonales y

ambientales que determinan la calidad y tamaño del fruto.

Es importante seguir investigando este proceso fotosintético en frutos, ya que sería relevante y significativo en procesos poscosecha de productos agrícolas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, S. & VALDÉS, V. 2002. The effect of periods of high temperature and manipulat in g fruit load on the pattern of tomato yields. *J. Hort. Scien. Biotechnol* 77: 461-466.

AKED, J. 2000. Fruits and vegetables. In: Kilcast, D. y Subramaniam, P. (eds.). *The stability and shelf-life of food*. CRC Press. Woudhead Publising Limited, 249-278.

ÁLVAREZ-HERRERA, J., GALVIS, J. & BALAGUERA-LÓPEZ, H. 2009. Determinación de cambios físicos y químicos durante la maduración de frutos de champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.). *Agronomía Colombiana* 27 (2): 253-259.

BAPAT, V. A., TRIVEDI P.K., GHOSH A., SANE V. A., GANAPATHI T. R. & NATH, P. 2010. Ripening of fleshy

- fruit: Molecular insight and the role of ethylene, *Biotechnology Advances* 28: 94-107.
- BARRANCO, D., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. & RALLO, L. 2008. El cultivo del olivo. Mundi prensa 6a ed., Madrid, p. 172.
- CASIERRA-POSADA, F. & CARDOZO, M. C. 2009. Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill, cv. "Quindío") cultivados a campo abierto. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín* 62 (1): 4815-4822.
- COCKSHULL, K. E, GRAVES, C. J. & CUEVA, C. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* 67: 11-24.
- DUSSI, M. C. 2007. Intercepción y distribución lumínica en agroecosistemas frutícolas. En: SOZZI, G. O. (ed.). 2007. Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 200-241.
- FERRER, A., REMÓN, S., NEGUERUELA, A. & ORIA, R. 2005. Changes during ripening of the very late season spanish peach cultivar calanda feasibility of using CIELAB coordinates as maturity indices. *Scientia Horticulturae* 105: 435-446.
- FOUCHE, J. R., ROBERTS, S. C., MIDGLEY, S. J. E. & STEYN, W. J. 2010. Peel color and blemishes in "Granny Smith" apples in relation to canopy light environment. *HortScience* 45 (6): 899-905.
- GARCÍA-MARTÍNEZ, J. L. & P. HEDDEN. 1997. Gibberellins and fruit development. In: Tomas-Barberan, F.A. & R.J. Robins. (eds.). *Phytochemistry of fruit and vegetables*. Oxford Sci. Publications, Heidelberg, 263-285.
- GRAHAM, H. & SMIT, R. 2010. Preharvest foliar sprays of Prohexadione-calcium, a Gibberellin-biosynthesis Inhibitor, Induce Chlorophyll Degradation and Carotenoid Synthesis in Citrus Rinds *HortScience* 45: 242-247.
- HERRMANN, K. 2001. Inhaltsstoffe von Obst und Gemüse. Ulmer Verlag. Stuttgart, 73-89.
- HISAEDA, K. & NISHINA, H. 2007. Studies on improvement of tomato productivity in a large-scale greenhouse-Prediction of tomato yield based on integrated solar radiation. *J. Sci. High Technol. Agr.* 19: 11-18.
- KRAUB, N. 2003. Mechanisms for photosystems I y II. *Current Opinion in Chemical Biology* 7: 540-550.
- KARIOLA, T., G., BRADER, J. LI & PALVA, T. 2005. Chlorophyllase 1, a damage control enzyme, affects the balance between defense pathways in Plants. *Plant Cell* 17: 282-294.
- KAYS, S. 1997. Postharvest physiology of perishable plant products. Exon Press. Athens, GA., 263-278.
- KAYS, S. 2004. Postharvest biology. Exon Press (Athens, Georgia), 568pp.
- KOJIMA, K. 2005. Phytohormones in shoots and fruits of tomato; Apoplast solution and seedless fruit. *JARQ* 39(2): 77-81.

- KUMUDINI, S. 2004. Effects of radiation and temperature on cranberry photosynthesis and characterization of diurnal variation in photosynthesis. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129: 106-111.
- LEMUS, G. 1993. El duraznero en Chile. Editorial Los Andes. Santiago 332 p.
- MATILE, P., S. HÖRTENSTEINER & H. HOMAS. 1999. Chlorophyll degradation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol* 50: 67-95.
- MATTHEIS, J. & RUDELL, D. 2005. Metabolism of apple Peel constituents during ripening is differently regulated by Ethylene. *HortScience* 40: 1005-1006.
- MEDINA, C., MARTÍNEZ, E., LOBO, M., LÓPEZ, J. & RIAÑO, N. 2006. Comportamiento bioquímico y del intercambio gaseoso del lulo (*Solanum quitoense* lam.) a plena exposición solar en el bosque húmedo montano bajo del oriente antioqueño colombiano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín* 59 (1): 3123-3146.
- MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J., VICARIO, I. & HEREDIA, F. 2004. Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *ALAN* 54 (2): 209-215.
- NABORS, M.W. 2006. Introducción a la botánica. Pearson Educación S.A: Madrid, 205-206.
- OLARTE, O., ALMAGUER, G. & ESPINOZA, J. 2001. Efecto de la fertilización foliar en el estado nutricional, la fotosíntesis, la concentración de carbohidratos y el rendimiento de naranjo "valencia late". *TERRA Latinoamericana* 18(4): 339-347.
- OSTERLOH, A. 1996. Lagerfaktoren. In: OSTERLOH, A.; G. EBERT; W.H. HELD; H. SCHULZ & E. URBAN (eds.). *Lagerung von Obst und Südfrüchten*. Editorial Ulmer, Stuttgart, 91-112.
- PÉREZ, C., HILDA C., GÓMEZ, P. & VILA, J. 2009. Características físicas de frutos de mamón (*Melicoccus bijugatus* Jacq.) según su ubicación en el árbol y el almacenamiento. *Bioagro* 21 (3): 189-194.
- PLANA, D., ÁLVAREZ, M., DUEÑAS, F., LARA, R. M., MOYA, C., FLORIDO, M. & RODRÍGUEZ, J. L. 2008. Efecto de la radiación solar en la intensidad y severidad de la mancha solar en frutos de tomate. *Cultivos Tropicales* 29 (4): 85-90.
- SAMS, C.E. 1999. Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology* 15: 249-254.
- SANTAMARÍA, F., DÍAZ, R., SAURI, E., ESPADAS, F., SANTAMARÍA, J. M., LARQUÉ-SAAVEDRA, A. 2009. Características de calidad de frutos de papaya Maradol en la madurez de consumo. *Agricultura Técnica en México* 35 (3): 347-353.
- STEVEN, J., MACKENZIE, C., CHANDLER, K., HASING, T. & WHITAKER, V. 2011. The Role of Temperature in the Late-season Decline in Soluble Solids Content of Strawberry Fruit in a Subtropical Production System. *HortScience* 46: 1562-1566.
- TADAHISA, H. 2009. Prediction of tomato yield on the basis of solar radiation before anthesis under warm greenhouse conditions. *HortScience* 44: 1874-1878.

- TAIZ L. & E. ZEIGER. 2006. Plant physiology. 4th ed. Sinauer Associates, Inc, Publishers. Sunderland. MA. 315-350.
- UBI, B. B. 2004. External stimulation of anthocyanin biosynthesis in apple fruit. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 2(2): 65-70.
- VANDEN HEUVEL, J.E. & DAVENPORT, J. R. 2005. Effects of light, temperature, defoliation, and fruiting on carbon assimilation and partitioning in potted cranberry. *HortScience* 40: 1699-1704.
- VALDEN-HEUVEL, J. & WESLEY, R. 2008. Early-season air temperature affects phenolic production in "Early black" Cranberry Fruit. *HortScience* 43:1737-1741.
- VALPUESTA, V., QUESADA M. A. & REID, M. S. 1996. Senescencia y abscisión. En: Azcón-Bieto, J. & M. Talón (eds.). *Fisiología y bioquímica vegetal*. Interamericana McGraw-Hill, Bogotá, 479-492.
- WADA, T., IKEDA, H., MATSUSHITA, K., KAMBARA, A., HIRAI, H., ABE, K. 2006. Effects of shade in summer on yield and quality of tomatoes grown on as in g-le-truss system. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 75: 51-58.
- ZEN-HONG, S., CHENG-CHUNG, C., LEE-JUAN, H. & CHING-SHUNG, S. 2001. Light, Temperature, and sucrose affect color, diameter, and soluble solids of disks of wax apple fruit skin. *HortScience* 36: 279-281.