

Influencia de factores ambientales, agronómicos, genéticos y fisiológicos en el contenido de carotenoides en frutas y hortalizas

Gloria Saavedra^{1,*}, Eliana Maldonado¹

¹Centro de Tecnología Agroindustrial, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia

*gloriasa7@yahoo.es

Resumen

Los carotenoides son compuestos especiales, si bien es común referirse a ellos como pigmentos, lo cierto es que son de gran versatilidad e importancia en la naturaleza. Más específicamente, son de gran utilidad en agroalimentación y salud, debido en gran parte a que muchos estudios de distinta naturaleza indican que pueden proporcionar beneficios para la sanidad, por tanto su interés en la alimentación funcional es indudable. Se considera que los alimentos que se consumen comúnmente en la dieta proporcionan más de 40 carotenoides diferentes. No obstante, el contenido en los mismos varía considerablemente tanto en términos cualitativos como cuantitativos como consecuencia de factores de distinta naturaleza, como el genotipo, las condiciones climáticas de la zona de producción y factores agronómicos entre otros.

Palabras clave: Carotenoides, Frutas, Hortalizas.

Introducción

La percepción de calidad en la industria de frutas y hortalizas comprende tanto atributos perceptibles por los sentidos como color, apariencia, sabor, textura, y como otros que no lo son (Bruhn, 2007).

La determinación de la calidad en frutas y hortalizas ha ido evolucionando según las exigencias del mercado, por lo que en muchas ocasiones se prefieren las mediciones instrumentales sobre las evaluaciones sensoriales utilizadas antes, ya que las primeras reducen la variabilidad entre los individuos y son más precisas. No obstante, los análisis sensoriales son insustituibles para algunos fines. En la etapa de precosecha se inicia la preservación de la calidad de frutas y hortalizas, desde la selección de semillas, pasando por las prácticas de cultivo y de riego, para finalmente llegar con éxito a la etapa de cosecha. Sin embargo, las investigaciones que se han realizado sobre la influencia de los factores precosecha en la calidad poscosecha de las distintas frutas y hortalizas son muy escasas (Crisosto y Mitchell, 2007).

En general, la composición y el contenido de carotenoides en plantas es un tema muy complejo. En un mismo fruto u hortaliza los niveles de carotenoides dependen de diversos factores externos interrelacionados entre sí. Entre ellos se encuentran los *ambientales*, como la temperatura, la luz, las precipitaciones, el viento, la naturaleza del suelo (acidez, salinidad, etc.) y contenido de dióxido de carbono en el ambiente entre otros; *factores de cultivo*, donde intervienen principalmente la fertilización, el

riego, la poda y el tratamiento fitosanitario; *factores genéticos* que dependen sobre todo de la especie y variedad y, finalmente *factores fisiológicos* como el grado de madurez en la etapa de la recolección y el almacenamiento poscosecha (Romojaro *et al.*, 2006).

Factores ambientales

Suelen tener un gran efecto en la calidad y el valor nutricional de la mayoría de los productos agrarios, sin embargo son los más difíciles de controlar. Especialmente la temperatura y la intensidad de luz tienen una fuerte influencia sobre la calidad nutricional de las frutas y hortalizas (Kader, 2007).

Clima

Es uno de los factores medioambientales que juega un papel muy importante en la agricultura. Por ejemplo, el clima tiene que ver con las precipitaciones, que al caer sobre el suelo permiten la absorción de los nutrientes disueltos en el agua por parte de las plantas. Las precipitaciones están a su vez influidas por el viento o corrientes de aire, que llevan las nubes cargadas de agua de un lugar a otro.

La temperatura es otro factor climático de gran importancia que interviene directamente en los procesos físicos, fisiológicos y/o bioquímicos. Si son elevadas y están asociadas a una radiación solar intensa, pueden causar muchas variaciones, sobre todo en la calidad del fruto, más aún si esto sucede en la etapa de precosecha. En este sentido pueden causar alteraciones de color y dañar en muchos casos las membranas

celulares, las proteínas y los ácidos nucleicos, pudiendo producir además la inhibición de la síntesis de pigmentos o degradación de los ya existentes cuando el tiempo de exposición es largo. Por otro lado, la exposición a bajas temperaturas puede causar daño en el aparato fotosintético, inhibir la síntesis o degradación de proteínas, dañar la membrana tilacoide y reducir la capacidad de transferencia de electrones de la planta (Cseke *et al.*, 2006; Lefsrud *et al.*, 2005).

La maduración también se ve afectada por la temperatura que puede inhibirla o acelerarla, así como incrementar la desecación por pérdida acelerada de agua, originando alteraciones tanto en el exterior como en el interior del fruto (Romojaro *et al.*, 2006; Sams, 1999). El proceso de degradación de clorofilas y la acumulación de carotenoides en cítricos está relacionado con los cambios de temperatura. Así, por ejemplo, el color de la piel de los cítricos cultivados en regiones tropicales o subtropicales es más verde o pobremente coloreado en comparación con regiones donde ocurren cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche (Dhuique-Mayer *et al.* 2009).

Por otra parte, parece ser que el color del tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) se desarrolla mejor entre los 12 y 21°C, ya que temperaturas menores a 10°C o mayores a 30°C pueden inhibir el proceso de maduración y por consiguiente el desarrollo de licopeno. Las variaciones bruscas de temperatura entre el día y la noche disminuyen el contenido de licopeno pero no de β -caroteno (Krumbein *et al.*, 2006).

En las hojas de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) y col rizada (*Brassica oleracea* L. var. sabellica) se ha observado que la concentración de luteína y β -caroteno aumenta con el incremento de la temperatura de 15 a 30 °C (Lefsrud *et al.*, 2005).

La luz puede ser un factor de gran estrés en plantas, y puede causar fotoinhibición y fotoxidación en los tejidos fotosintéticos. Asimismo es también uno de los principales factores en la regulación de la biosíntesis de carotenoides. Es bien conocido que existe una correlación clara entre la disipación del exceso de energía de excitación y la formación de zeaxantina a partir de violaxantina en los complejos recolectores de luz de plantas, mediante el proceso conocido como ciclo de las xantófilas. En condiciones de luz débil, violaxantina es un pigmento accesorio eficiente (absorbe energía que la clorofila es incapaz de absorber); mientras que bajo condiciones de luz fuerte,

zeaxantina es un eficiente fotoprotector (Othman *et al.*, 2014).

Estudios del efecto de la luz solar en el contenido de carotenoides en uvas (*Vitis vinifera*) demostraron que los niveles de este pigmento fueron mayores en las protegidas de la exposición a la luz solar directa en comparación con aquellas expuestas directamente a la radiación solar; sin embargo, esta diferencia fue menos evidente durante la **última** etapa de maduración. Mientras que en cultivos de manzanas (*Malus doméstica* B.), se observó el efecto contrario ya que la exposición de los frutos a la radiación solar favorece la síntesis de carotenoides (Oliveira *et al.*, 2004; Merzlyak y Chivkunova, 2000).

Suelo

Como principal medio de producción del sector agropecuario, el suelo presenta una serie de particularidades. Al ser la capa cultivable que constituye el soporte natural donde las plantas desarrollan sus raíces, almacenan los nutrientes y el agua que necesitan para su desarrollo, está sujeto a una serie de procesos de degradación y amenazas: entre ellas se encuentran la erosión, pérdida de materia orgánica, contaminación local y difusa, sellado, compactación, reducción de la diversidad biológica, salinización, inundaciones y deslizamientos de tierras.

Otras de sus características son la diferencia en calidad, rendimiento y ubicación geográfica, las cuales ejercen una gran influencia sobre los resultados de producción. La fertilidad del suelo depende de la cantidad de elementos nutrientes que posee, de la humedad, de la estructura del suelo, la topografía y la edad. Aunque no existen muchos datos sobre la influencia directa de tipos de suelos en el contenido de carotenoides en frutas y hortalizas, estudios realizados en el aceite de oliva indican diferencias evidentes en la composición de los pigmentos fotosintéticos del aceite en función de la zona de origen. En los aceites griegos la relación luteína/ β -caroteno y pigmentos clorofílicos/pigmentos fotosintéticos es inferior a la unidad mientras que la relación luteína/ β -caroteno oscila entre 2 y 11 (Psomiadou y Tsimidou, 2001). En los aceites españoles el rango varía entre 1.3 y 5.1 para la relación luteína/ β -caroteno y se mantiene próxima a la unidad en la relación de pigmentos clorofílicos/pigmentos carotenoides (Gandul y Mínguez Mosquera, 1996). En relación con estos estudios es importante tener en cuenta que el contenido de carotenoides depende de

muchos otros factores y que, en el caso del aceite de oliva, depende en gran medida de las técnicas empleadas para su producción.

Dióxido de carbono en el ambiente

El continuo crecimiento de la población mundial ha llevado a un incremento en la emisión de gases invernadero, especialmente CO₂, procedentes de la combustión de los combustibles fósiles, de los procesos industriales y la deforestación (Balouchi *et al.*, 2009). Los niveles de CO₂ varían en función del entorno y por tanto esta variación produce cambios en los procesos biosintéticos.

En vegetales cultivados en invernadero el suministro de CO₂ tiene un efecto positivo en la fotosíntesis y en el rendimiento del cultivo. También puede influir directamente en la calidad de la fruta. En cultivos de tomate el incremento en la concentración de CO₂ puede mitigar el efecto negativo causado por salinidad elevada sobre el rendimiento y mejorar levemente la calidad en términos de sólidos solubles, glucosa y acidez.

En cuanto al efecto sobre el contenido de carotenoides, investigaciones realizadas en dos especies de tomate cultivados en invernadero a dos niveles de CO₂ y conductividad eléctrica, reportaron que tanto el incremento en el suministro de CO₂ como la salinidad no afectaron el contenido de carotenoides (Krumbein *et al.*, 2006).

Factores agronómicos

Para el desarrollo de la planta se requiere un aporte de nutrientes adecuado y equilibrado, lo cual incidirá sobre la calidad del fruto por su característica de órgano sumidero. El contenido de un nutriente, así como el equilibrio entre dos o más pueden afectar el crecimiento y el estado fisiológico del fruto, y puede originar alteraciones tanto por deficiencia como por exceso.

Riego

La aplicación del agua de riego es otro factor que condiciona la calidad de las frutas y hortalizas en el momento de la recolección y durante la conservación poscosecha. La importancia de la disponibilidad de agua y de la humedad relativa ambiental está condicionada por los gradientes de potencial hídrico entre el tejido vegetal y el aire, ya que si la planta pierde agua se produce un flujo de la misma hacia las hojas, disminuyendo el aporte hídrico y de nutrientes al fruto.

En plantas terrestres, el estrés causado por inundación del sistema radicular en períodos variables de tiempo

reduce la disponibilidad de oxígeno en las raíces, lo que provoca atrofia de los brotes durante el crecimiento, disminución en la síntesis de clorofilas en las hojas e incremento en la producción de etileno (Cseke *et al.*, 2006).

La sequía, condiciones de hipersalinidad, bajas temperaturas y pérdida transitoria de la turgencia a medio día son los factores abióticos asociados a la deficiencia de agua. Bajo condiciones de deficiencia hídrica, las raíces producen ácido abscísico (ABA), mediador esencial en los procesos de respuesta frente a los estímulos ambientales adversos y relacionado con el metabolismo de carotenoides (Othman *et al.*, 2014).

El estudio del efecto de la aplicación de dos estrategias de riego, deficitario controlado y lineal, sobre la planta de olivo (*Olea europea* L.), mostraron que la aplicación de dosis crecientes de agua de riego, aunque no afecta a los parámetros clásicos de calidad del aceite de oliva, tiene un claro efecto sobre el contenido de pigmentos fotosintéticos y polifenoles.

Los aceites pertenecientes a los tratamientos con mayor tasa de riego mostraron un contenido de pigmentos carotenoides marcadamente inferior que los de tratamientos con mayor déficit hídrico. Las modificaciones del color de los aceites al aplicar dosis de agua crecientes al olivo mostraron una tendencia semejante a la observada en el contenido de pigmentos carotenoides y clorofílicos (Tovar de Dios, 2001).

En diferentes variedades de tomate se observó que la escasez de agua podría producir un aumento en el contenido de carotenoides (Pernice *et al.*, 2010; Dumas *et al.*, 2003). Asimismo, al ser sometidas a tratamientos con aguas salinizadas mostraron un incremento gradual en las concentraciones de carotenoides totales y licopeno desde los niveles más bajos de conductividad eléctrica 0.5 dS/m hasta 4.4 dS/m; mientras que por encima de este valor su concentración disminuye (Goykovic Cortés y Saavedra del Real, 2007).

En la lechuga romana (*Lactuca sativa* L.), el riego prolongado con aguas salinizadas de baja concentración da como resultado un incremento en el contenido de carotenoides sin afectar el balance entre rendimiento y calidad visual (Kim *et al.*, 2008).

Fertilización

La influencia de los factores nutricionales de un cultivo no siempre se da de la misma forma. Eso se debe a que el comportamiento de las concentraciones de nutrientes

en la planta no es lineal, ni responde a un solo factor, sino que varía en función de los distintos nutrientes, así como de variables de manejo del cultivo y ambientales.

Al aportar un nutriente que se encuentra en un rango deficiente en la planta, se obtendrá una respuesta distinta de la que se obtiene si ese mismo elemento se encuentra por encima del rango adecuado. Sin embargo, concentraciones muy altas pueden ser perjudiciales y causar una disminución en la producción. Por lo tanto, es importante mantener un equilibrio entre los distintos nutrientes de la planta.

De lo contrario se pueden manifestar antagonismos que consisten en que el aumento de uno de ellos por sobre cierto nivel de concentración reduce la absorción del otro. En consecuencia, para disminuir posibles efectos negativos en la fertilización se deben considerar los nutrientes en su conjunto, para así evitar desequilibrios fisiológicos nutricionales (Bonomelli y Sallato, 2014; Goykovic Cortés y Saavedra del Real, 2007).

Aunque se ha estudiado la incidencia de numerosos macro y micro elementos sobre la calidad, los principales y los que han despertado un mayor interés han sido nitrógeno, calcio y fósforo, al participar de forma activa en numerosos procesos metabólicos.

El contenido de nitrógeno está directamente relacionado con la síntesis de proteínas y carotenoides, y puede afectar a la coloración del fruto, tanto a nivel de la piel como de la pulpa. Un exceso del mismo provoca una disminución de la coloración de la pulpa en melocotón (*Prunus pérsica*) y nectarinas (*Prunus pérsica var. nucipersica*), mientras que una deficiencia induce en la pera (*Pyrus communis*) la aparición de manchas (Romojaro *et al.*, 2006).

El equilibrio entre uno o más nutrientes afecta al crecimiento y estado fisiológico del fruto y llega a originar desordenes fisiológicos, tanto por deficiencia como por una dosis excesiva (Soares-Gomes *et al.*, 2005). En general, se considera que un contenido excesivo de nitrógeno se traduce en una mayor producción foliar a costa de una menor calidad del fruto; asimismo, su deficiencia es también adversa, ya que provoca frutas con menor tamaño, sabor pobre, árboles con bajo rendimiento y, en poscosecha, la pérdida de agua durante el almacenamiento.

En las hortalizas, los niveles excesivos de nitrógeno inducen retraso en la madurez e incrementan la incidencia de varias fisiopatías que disminuyen su calidad poscosecha; así, la pared grisácea o el

obscurecimiento interno en el tomate, el tallo hueco del brócoli (*Brassica oleraceae*), la baja concentración de sólidos solubles en la papa o patata (*Solanum tuberosum*), los lunares en los pimientos (*Capsicum annuum*) o la pudrición suave en tomates se ha asociado con altos niveles de nitrógeno (Crisosto y Mitchell, 2007). Concentraciones altas de fertilizantes nitrogenados parecen afectar negativamente la concentración de vitamina C en frutas y verduras, entre ellos los tomates y cítricos (Lee y Kader, 2000).

Investigaciones en cuanto el efecto de la fertilización con nitrógeno en cultivos de zanahoria (*Daucus carota* L.) mostraron que la concentración de β -caroteno se elevaba directamente con el incremento de nitrógeno (Hochmuth *et al.*, 1999). Resultados similares se observaron para el perejil (*Petroselinum crispum* N.) de la variedad “verde oscuro italiano”, en el que el aumento de nitrógeno en la solución fertilizante incrementó la biomasa, la concentración de fósforo, potasio, luteína, zeaxantina, β -caroteno y clorofila (Chenard *et al.*, 2005).

La presencia de potasio y fósforo parecen estar involucrados en el aumento del contenido de licopeno en el tomate, mientras que el nitrógeno, por el contrario, parece influir de manera negativa en la concentración del mismo. Este hecho se relaciona con un mayor desarrollo foliar debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno, que permite una menor incidencia de la luz sobre el fruto (Dorais *et al.*, 2008).

Vallejo-Pérez *et al.* (2009) evaluaron la influencia de la fertilización con mezclas de nitrógeno-fósforo-potasio en cultivos de zapote mamey (*Pouteria sapota*). Los resultados de este estudio mostraron un aumento en la concentración de carotenoides en frutos, mejorando su calidad y además, la pérdida de peso por transpiración fue menor respecto a los frutos de árboles no fertilizados.

El calcio es el segundo nutriente en importancia, al estar involucrado en numerosos procesos bioquímicos y morfológicos de las plantas. Está relacionado con muchas fisiopatías de considerable importancia económica para la producción y calidad poscosecha de frutas y hortalizas. Está relacionado en especial con la textura, debido a que participa en numerosos procesos de desarrollo y mantenimiento de la estructura de la pared celular, por su capacidad para establecer enlaces iónicos con los grupos carboxilatos de las pectinas (Poovaiah *et al.*, 1988).

El desequilibrio de calcio es responsable de un elevado número de alteraciones fisiológicas o fisiopatías que se pueden manifestar durante el crecimiento del fruto en la planta o posteriormente después de la recolección. La deficiencia del mismo produce fisiopatías como el picado amargo en las manzanas, los lunares corchosos en las peras, el corazón negro en el apio (*Apium graveolens*), la pudrición en la punta estilar del tomate, el manchado de la cavidad y el agrietado en la zanahoria, así como la punta quemada de la lechuga, la vitescencia en melón (*Cucumis melo*) y podredumbre apical (*blossom end rot*) en tomate (Madrid et al., 2004).

Estas fisiopatías pueden acentuarse si los niveles de potasio o nitrógeno son altos o cuando los niveles de fósforo son bajos (Crisosto y Mitchell, 2007; Beverly et al., 1993). Ciertas fisiopatías por deficiencia de calcio, como el picado amargo de las manzanas y la pudrición de la punta estilar en tomates, pueden reducirse mediante una apropiada irrigación y manejo adecuado de fertilización.

Además, existe evidencia acumulada de que el equilibrio catiónico del suelo afecta directamente a la calidad poscosecha de varias hortalizas (Crisosto y Mitchell, 2007). Hartz et al. (1998) demostraron que los defectos del corazón blanco y la incidencia del ojo amarillo, dos defectos de color en tomate, se correlacionan con el equilibrio catiónico del suelo; el aumento en los niveles de potasio en el suelo disminuye estas fisiopatías relacionadas con el color, mientras que los niveles altos de magnesio en el suelo los acentúan.

Poda

Es uno de los tratamientos técnicos más importantes aplicado a los árboles frutales. A lo largo de la vida de éstos, la poda asegura que las ramas principales sean lo suficientemente fuertes como para soportar la fruta y que las ramas laterales tengan el ángulo correcto para permitir el paso de la luz solar necesaria para el desarrollo de flores y maduración de los frutos.

La poda no sólo mejora considerablemente el proceso de regeneración de ramas dañadas y reduce el tamaño de las copas de los árboles, sino que también reduce su altura excesiva además de mejorar la circulación de aire a través del árbol, lo que ayuda a prevenir enfermedades. La poda también influye en las propiedades internas y externas de la calidad de las frutas, como el desarrollo de color, sustancias antioxidantes, balance de acidez total y niveles de

sólidos solubles (Demirtas et al., 2010).

Según Tahir et al. (2007), si la poda en manzanas se realiza entre 5-6 semanas antes de la cosecha puede mejorar el proceso de fotosíntesis y la síntesis de antocianinas, resultando frutas con mejor color y con un mayor tiempo de conservación.

Desde este punto de vista, el sistema de poda aplicado es un factor fundamental a tener en cuenta, por ejemplo en la producción de uvas de calidad. Investigaciones realizadas en cultivos de vid (*Vitis vinifera* L.) de la variedad *Sauvignon Blanc*, donde se utilizaron dos sistemas de poda, larga y mixta, permitió observar que el tipo de poda generó diferencias significativas en los contenidos de compuestos bioactivos. En este sentido se encontró mayor concentración de carotenoides como resultado de la poda mixta (Walteros et al., 2013).

Protección Fitosanitaria

Los pesticidas, plaguicidas o fitosanitarios son compuestos químicos que se añaden a los cultivos para protegerlos frente a las plagas y enfermedades que los dañan durante o después de la cosecha. La utilización de productos fitosanitarios tiene un efecto positivo en el rendimiento del cultivo al evitar pérdidas potenciales debido al efecto nocivo de las plagas. Sin embargo, los pesticidas pueden tener efectos no deseables y es imprescindible un control adecuado de las cantidades aplicadas, de tal forma que no representen un peligro para la salud humana o para el medio ambiente.

Algunos herbicidas poseen un modo de acción básico similar, inhibiendo una determinada enzima de las hojas de las plantas. El bloqueo impide la formación de carotenoides, destruyéndose así la protección de las hojas frente a la fotooxidación. Para evitar esto se usan los antidotos, que son sustancias que poseen la capacidad de inmunizar a las plantas de cultivo frente al herbicida. Así éstos se incorporan al herbicida, facilitando a las plantas de cultivo descomponer el principio activo y mantener indemne su escudo protector de carotenos (Bayer, 2009).

Aunque el zinc y el manganeso son nutrientes minerales esenciales a bajas concentraciones, son muy tóxicos en cantidades altas en el suelo. Algunos fungicidas pueden incrementar su contenido en plantas cultivadas y en el suelo, si se utilizan en programas de protección vegetal. En este sentido, la respuesta de plantas de fresa (*Fragaria sp.* cv. *camarosa*) a niveles elevados de estos nutrientes en el suelo ha sido objeto de estudio.

Las plantas se cosecharon 16 semanas después de iniciados los tratamientos, tras lo cual se determinaron el área foliar total, la producción de materia seca, los contenidos de clorofila *a*, clorofila *b* y carotenoides en hojas, el contenido de sólidos solubles totales y el diámetro longitudinal de los frutos. Los resultados indicaron que altas concentraciones de zinc y manganeso reducen el área foliar y la producción de materia seca.

La calidad de la fruta se afectó por los niveles de estos metales en el suelo. Así, en las plantas tratadas con altas concentraciones, los sólidos solubles totales de los frutos fueron menores que en los testigos. Además, se observó una reducción del diámetro y una disminución del contenido de clorofila y carotenoides en las hojas. Por otra parte, se evidenció una mayor toxicidad del zinc para las plantas que la del manganeso (Casierra-Posada y Poveda, 2005).

Sin embargo, en cultivos de lechuga, se evaluó el efecto del tratamiento con herbicidas (propizamida, clorprofano y la mezcla de ambos) y fungicidas (benomilo, iprodiona y vinclozolina) sobre el contenido de carotenoides, reportándose que la concentración total de éstos compuestos fue mayor en aquellas parcelas de lechuga tratadas con herbicidas y el fungicida iprodiona. Además, se observó que contenido de β -criptoxantina, luteína, violaxantina y neoxantina se incrementó en las plantas de dichas parcelas (Rouchaud *et al.*, 1984).

En un estudio se puso de manifiesto que el contenido total de carotenoides en zanahorias cultivadas en suelos tratados antes de la siembra con cada uno de tres insecticidas (Nexion, Birlane o Dyfonate) y cosechadas a diferentes etapas de madurez alcanzó valores superiores (aproximadamente en 21 %) que en las zanahorias cultivadas en la parcela control. No obstante, en suelos tratados con el herbicida Dosanex, la concentración total de carotenoides en zanahorias cultivadas disminuyó en torno a 19 % en relación con el control (Rouchaud *et al.*, 1984).

Factores genéticos

En las frutas y hortalizas, el contenido de compuestos bioactivos depende fundamentalmente de la especie y variedad. El responsable del funcionamiento de la planta en relación con las condiciones medioambientales es el genoma y la calidad del fruto dependerá definitivamente del comportamiento de una variedad en un medio externo determinado. Por

consiguiente, el genoma va a determinar cuantitativa y cualitativamente los parámetros responsables de la calidad organoléptica y nutricional, como también su capacidad de conservación una vez recolectado (Romojaro *et al.*, 2006). En una misma especie, la variabilidad genética de un cultivar es relativamente amplia, por lo que la selección varietal es de vital importancia para la calidad del producto final. Al ser los factores genéticos tan influyentes en la calidad sensorial, rendimiento, composición nutricional y vida poscosecha de las frutas y hortalizas, existen muchos programas de mejora genética en el mundo.

Destacándose los orientados a reducir la incidencia y severidad del deterioro causado por plagas y condiciones ambientales adversas (Crisosto y Mitchell, 2007). También los hay dedicados a obtener variedades enriquecidas en algunos constituyentes bioactivos de interés para la protección de la salud. En este sentido es importante tener en cuenta que un problema de los cultivos modificados mediante ingeniería genética es su aceptación por los consumidores (Bruhn, 2007).

En el estudio de la influencia del genotipo en 25 variedades de melocotón, nectarina y ciruela (*Prunus salicina*) se observó que la ciruela fue el fruto de hueso con mayor contenido de los compuestos bioactivos estudiados y que sus variedades presentaron importantes diferencias en el contenido de antioxidantes.

Por ejemplo, siendo la variedad Black Beaut la que presentó más del doble del contenido en compuestos polifenólicos y un importante contenido en carotenoides, aunque niveles reducidos de vitamina C, comparada con otras variedades como Red Beaut.

Así mismo, se observó una gran variación en el contenido en compuestos fenólicos, vitamina C y carotenoides entre las variedades de pulpa blanca y amarilla de melocotones y nectarinas, así como entre las distintas partes del fruto. En este sentido se observó un contenido en constituyentes bioactivos 2-5 veces superior en la piel que en la pulpa (Gil *et al.*, 2002).

De forma similar al realizar la determinación del contenido en compuestos bioactivos (polifenoles y carotenoides totales e individuales) de 37 nuevas variedades de albaricoques (*Prunus armeniaca* L.) y nuevas selecciones obtenidas de cruces entre variedades y cultivares tradicionales, se observaron importantes diferencias debidas a factores genéticos (Ruiz *et al.*, 2005, 2005a).

Factores fisiológicos

El estado de madurez en el momento de la recolección está muy relacionado con la composición química del fruto y la calidad poscosecha de frutas y hortalizas. Durante la maduración se producen cambios bioquímicos y estructurales que originan modificaciones en los constituyentes, alcanzando finalmente el fruto las características sensoriales óptimas para el consumo. Sin embargo, estos productos se cosechan con mucha frecuencia en su madurez fisiológica y no en su madurez de consumo. Una vez que se ha alcanzado este momento, se inicia por lo general la senescencia y la degradación de los tejidos, lo que se acompaña de cambios en la calidad sensorial y nutritiva (Kader, 2007).

En frutas y hortalizas la maduración se acompaña generalmente de una mayor carotenogénesis. Las clorofilas se descomponen y los cloroplastos se transforman en cromoplastos, con una gran capacidad biosintética y de almacenamiento, con lo que el patrón de carotenoides típico de los tejidos fotosintéticos puede dar lugar a otros diferentes (Rodríguez-Amaya, 2001).

El comportamiento de las frutas climatéricas y no climatéricas dificulta la posibilidad de optimizar el momento de la recolección con la calidad y la capacidad de conservación en poscosecha. En las especies climatéricas el aumento de la síntesis de etileno es responsable del inicio de la maduración y dota al fruto de un mayor potencial para su regulación y de la posibilidad de continuar el proceso en la poscosecha. En los frutos no climatéricos la posibilidad de actuación es muy limitada, ya que carecen de esta capacidad y deben recolectarse cuando han alcanzado su calidad de consumo (Romojaro *et al.*, 2006).

La maduración de frutos de tomate implica importantes cambios morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares, que incluyen la síntesis y el almacenamiento de carotenoides, particularmente licopeno (Brandt *et al.*, 2006). La síntesis y acumulación masiva de carotenoides continúa incluso después de la cosecha, mientras el fruto permanezca intacto. Así pues, existe una importante diferencia en el contenido de licopeno según el estado de madurez del fruto (García-Valverde *et al.*, 2011).

En estudios realizados en cuatro estadios distintos de madurez (verde inmaduro, verde, pintón y rojo) en pimiento dulce, se determinó que el contenido en

compuestos polifenólicos, vitamina C y carotenoides (incluyendo los provitamínicos A) está influenciado notablemente por el estado fisiológico del fruto. Los pimientos recolectados en el estado más inmaduro mostraban un mayor contenido de compuestos polifenólicos, mientras que en el estado más maduro contenían el nivel más alto de vitamina C y carotenoides (Marín *et al.*, 2004).

Además, estudios realizados en calabazas (*Cucurbita maxima*) de los mismos cultivares mostraron diferencias sustanciales, atribuidas a las amplias diferencias en etapas de madurez. Este hecho es particularmente interesante porque estos vegetales de fruto pueden ser cosechados durante un largo período y tienen una larga vida útil durante la cual la biosíntesis de carotenoides puede continuar (Rodríguez-Amaya, 2001).

El aumento de la carotenogénesis con la maduración también se ha documentado en otros muchos productos, entre ellos el melón (*Momordica charantia*) (Rodríguez-Amaya, 1976), pimiento rojo y mango badamil (*Mangifera indica*) (Rahman F. y Buckle, 1980).

En otros estudios sobre el contenido en compuestos antioxidantes de 16 variedades de espinaca (*Spinacea oleracea*) (ocho tradicionales y ocho seleccionadas) en tres estados de madurez se puso de manifiesto que las espinacas deben recolectarse en un estadio intermedio de desarrollo. En este sentido, los autores concluyeron que dicho estado correspondía con el mayor contenido en compuestos bioactivos en comparación con los estados inmaduro o maduro (Pandjaitan *et al.*, 2005).

Referencias Bibliográficas

- Balouchi, H. R., Sanavy, S. A. M. M., Emam, Y., & Dolatabadian, A. (2009). UV radiation, elevated CO₂ and water stress effect on growth and photosynthetic characteristics in durum wheat. *Plant, Soil Environ.*, 55(10), 443-453.
- Bayer: (2009). Crop Science para la agricultura moderna 1/09. Disponible en: www.bayercropscience.com.mx
- Beverly, R. B., Latimer, J. G., & Smittle, D. A. (1993). Chapter 4 - Preharvest physiological and cultural effects on postharvest quality. In R. L. Shewfelt & S. E. Prussia (Eds.), *Postharvest Handling* (pp. 73-98). London: Academic Press.
- Bonomelli, C., & Sallato, B. (2014). Impacto en la

- calidad de la fruta de factores nutricionales en huertos de naranjos Navel. Retrieved 2014/12/01/14, 2014
- Brandt, S., Pék, Z., Barna, É., Lugasi, A., & Helyes, L. (2006). Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(4), 568-572. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2390>
- Bruhn, C. M. (2007). Aspectos de calidad y seguridad alimentaria de interés para el consumidor. In A. A. Kader (Ed.), *Tecnología Postcosecha de Productos Hortofrutícolas* (3ª ed., pp. 37-44). Oakland, USA: University of California, Division of Agriculture and Natural
- Casierra-Posada, F., & Poveda, J. (2005). La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria sp. cv. Camarosa*). *Agronomía Colombiana*, 23(2), 283-289.
- Chenard, C. H., Kopsell, D. A., & Kopsell, D. E. (2005). Nitrogen Concentration Affects Nutrient and Carotenoid Accumulation in Parsley. *Journal of Plant Nutrition*, 28(2), 285-297. doi: [10.1081/PLN-200047616](https://doi.org/10.1081/PLN-200047616)
- Crisosto, C. H., & Mitchell, J. P. (2007). Factores precosecha que afectan la calidad de frutas y hortalizas. In A. A. Kader (Ed.), *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas* (3ª ed., pp. 55-62). Oakland, USA: University of California, Division of Agriculture and Natural
- Cseke, L., Kirakosyan, A., Kaufman, P., Warber, S., Duke, J., & Brielmann, H. (2016). *Natural Products from Plants*. Taylor and Francis group
- Demirtas, M., Bolat, I., İkinci, A., Olmez, H., Sahin, M., Altindag, M., & Celik, B. (2010). The effects of different pruning treatments on the growth, fruit quality and yield of 'Hacihaliloglu' apricot. *Acta scientiarum Polonorum. Hortorum cultus = Ogrodnictwo*, 9.
- Dorais, M., Ehret, D., & Papadopoulos, A. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, 7(2), 231-250. doi: [10.1007/s11101-007-9085-x](https://doi.org/10.1007/s11101-007-9085-x)
- Dhuique-Mayer, C., Fanciullino, A. L., Dubois, C., & Ollitrault, P. (2009). Effect of genotype and environment on citrus juice carotenoid content. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(19), 9160-9168. <https://doi.org/10.1021/jf901668d>
- Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., & Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(5), 369-382. doi: [10.1002/jsfa.1370](https://doi.org/10.1002/jsfa.1370)
- Gandul-Rojas, B., & Minguez-Mosquera, M. I. (1996). Chlorophyll and Carotenoid Composition in Virgin Olive Oils from Various Spanish Olive Varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 72(1), 31-39. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199609\)72:1<31::AID-JSFA619>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199609)72:1<31::AID-JSFA619>3.0.CO;2-5)
- García-Valverde, V., Navarro-González, I., García-Alonso, J., & Periago, M. J. (2013). Antioxidant Bioactive Compounds in Selected Industrial Processing and Fresh Consumption Tomato Cultivars. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), 391-402. doi: [10.1007/s11947-011-0687-3](https://doi.org/10.1007/s11947-011-0687-3)
- Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., & Kader, A. A. (2002). Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17), 4976-4982.
- Goykovic Cortés, V., & Saavedra del Real, G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia (Arica)*, 25, 47-58.
- Hartz, T. K., Giannini, C., Miyao, E., Valencia, J., Cahn, M., Mullen, R., & Brittan, K. (1998). Soil Cation Balance Affects Tomato Fruit Color Disorders. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, 33. doi: [10.17660/ActaHortic.1999.487.3](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.487.3)
- Hochmuth, G. J., Brecht, J. K., & Bassett, M. J. (1999). Nitrogen fertilization to maximize carrot yield and quality on a sandy soil. *HortScience*, 34(4), 641-645.

- Kader, A. A. (2007). Biología y Tecnología Postcosecha: un panorama. In A. A. Kader (Ed.), *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas* (3a ed., pp. 43-54). Oakland, USA: University of California, Division of Agriculture and Natural.
- Kim, H. J., Fonseca, J. M., Choi, J. H., Kubota, C., & Kwon, D. Y. (2008). Salt in irrigation water affects the nutritional and visual properties of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J Agric Food Chem*, 56(10), 3772-3776. doi: 10.1021/jf0733719
- Krumbein, A., Schwarz, D., & Klaring, H.-P. (2006). *Effects of environmental factors on carotenoid content in tomato (Lycopersicon esculentum (L.) Mill.) grown in a greenhouse* (Vol. 80). G: Halm.
- Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 207-220. doi: https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2
- Lefsrud, M. G., Kopsell, D. A., Kopsell, D. E., & Curran-Celentano, J. (2005). Air Temperature Affects Biomass and Carotenoid Pigment Accumulation in Kale and Spinach Grown in a Controlled Environment. *HortScience HortSci*, 40(7), 2026-2030. Retrieved Nov 8, 2021, from <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/40/7/article-p2026.xml>
- Madrid, R. n., Valverde, M., Alcolea, V., & Romojaro, F. (2004). Influence of calcium nutrition on water soaking disorder during ripening of Cantaloupe melon. *Scientia Horticulturae*, 101(1-2), 69-79. doi: 10.1016/j.scienta.2003.10.005
- Marín, A., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2004). Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *J Agric Food Chem*, 52(12), 3861-3869. doi: 10.1021/jf0497915
- Merzlyak, M. N., & Chivkunova, O. B. (2000). Light-stress-induced pigment changes and evidence for anthocyanin photoprotection in apples. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 55(2-3), 155-163. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1011-1344\(00\)00042-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1011-1344(00)00042-7)
- Oliveira, C., Ferreira, A. C., Costa, P., Guerra, J., & Guedes de Pinho, P. (2004). Effect of Some Viticultural Parameters on the Grape Carotenoid Profile. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(13), 4178-4184. doi: 10.1021/jf0498766
- Othman, R., Zaifuddin, F. A. M., & Hassan, N. M. (2014). Carotenoid biosynthesis regulatory mechanisms in plants. *J. Oleo Sci.*, 63(8), 753-760. doi: 10.5650/jos.ess13183
- Pernice, R., Parisi, M., Giordano, I., Pentangelo, A., Graziani, G., Gallo, M., Gogliano, V. & Ritieni, A. (2010). Antioxidants profile of small tomato fruits: Effect of irrigation and industrial process. *Scientia Horticulturae*, 126(2), 156-163. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2010.06.021>
- Poovaliah, B. W., Glenn, G. M., & Reddy, A. S. N. (1988). Calcium and Fruit Softening: Physiology and Biochemistry *Horticultural Reviews* (pp. 107-152).
- Psomiadou, E., & Tsimidou, M. (2001). Pigments in Greek virgin olive oils: occurrence and levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(7), 640-647. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.859>
- Rahman, F. M. M., & Buckle, K. A. (1980). Pigment changes in capsicum cultivars during maturation and ripening. *International Journal of Food Science & Technology*, 15(3), 241-249. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb00937.x>
- Rodriguez, D. B., Raymundo, L. C., Lee, T.-C., Simpson, K. L., & Chichester, C. O. (1976). Carotenoid Pigment Changes in Ripening *Momordica charantia* Fruits*. *Annals of Botany*, 40(3), 615-624. doi: 10.1093/oxfordjournals.aob.a085171
- Rodriguez-Amaya, D. B., International Life Sciences, I., & Omni. (2001). *A Guide to Carotenoid Analysis in Foods*: ILSI Press.
- Romojaro, F., Madrid, M., & Pretel, M. T. (2006). *Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en poscosecha de*

- productos agrarios*. V Simposio Ibérico VIII Nacional de maduración y Post-Recolección, Orihuela Alicante. pp. 63-72.
- Rouchaud, J., Moons, C., & Meyer, J. A. (1983). Effects of selected insecticides and herbicides on the carotene content of summer carrots. *Scientia Horticulturae*, 19(1-2), 33-37. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-4238\(83\)90041-9](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4238(83)90041-9)
- Rouchaud, J., Moons, C., & Meyer, J. A. (1984). Effects of pesticide treatments on the carotenoid pigments of lettuce. *J. Agric. Food Chem.*, 32(6), 1241-1245. doi: 10.1021/jf00126a008
- Ruiz, D., Egea, J., Gil, M. I., & Tomás-Barberán, F. A. (2005). Characterization and Quantitation of Phenolic Compounds in New Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(24), 9544-9552. doi: 10.1021/jf051539p
- Ruiz, D., Egea, J., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2005). Carotenoids from New Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Varieties and Their Relationship with Flesh and Skin Color. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(16), 6368-6374. doi: 10.1021/jf0480703
- Sams, C. E. (1999). Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 249-254. doi: [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00098-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00098-2)
- Soares, A. G., Trugo, L. C., Botrel, N., & da Silva Souza, L. F. (2005). Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comusus* L.) by preharvest soil application of potassium. *Postharvest Biology and Technology*, 35(2), 201-207. doi: 10.1016/j.postharvbio.2004.07.005
- Tahir, I., Johansson, E., & Olsson, M. (2007). Improvement of quality and storability of apple cv. Aroma by adjustment of some pre-harvest conditions. *Scientia Horticulturae*, 112, 164-171. doi: 10.1016/j.scienta.2006.12.018
- Tovar De Dios, M. J. (2001). *Estudio del efecto de la aplicación de diferentes estrategias de riego al olivo (olea europaea L.) de la variedad arbequina sobre la composición del aceite*. Tesis Doctoral, Universidad de Lleida.
- Vallejo-Pérez, M. R., Nieto-Ángel, D., Martínez-Damián, M. T., Mora-Aguilera, J. A., Téliz-Ortiz, D., & Nava-Díaz, C. (2009). El riego y fertilización en la calidad postcosecha del zapote mamey [*pouteria sapota* (jacq.) h. e. moore & stearn]. *Revista Chapingo, serie horticultura*, 15(1), 91-96.
- Walteros, I. Y., Molano, D. C., & Almanza-Merchán, P. J. (2013). Efecto de la poda sobre la producción y calidad de frutos de *Vitis vinifera* L. Var. Sauvignon blanc en Sutamarchán-Boyacá. *Orinoquia*, 17(2), 167-176.