

Capítulo 8. Desverdización de los cítricos y del pimiento

*Perla Gómez Di Marco^{1,2}, Francisco Artés Hernández^{1,2},
Encarna Aguayo Giménez^{1,2}, Francisco Artés Calero^{1,2},*

¹Grupo de Postrecolección y Refrigeración. Dpto. Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola. Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena, Murcia, España. Correo electrónico: fr.artes@upct.es

²Instituto de Biotecnología Vegetal. Universidad Politécnica de Cartagena. Edificio I+D+I. Campus Muralla del Mar. 30202 Cartagena, Murcia, España.

La técnica del desverdizado consiste en acelerar la desaparición del color verde de la epidermis de algunos frutos no climatéricos. Su objetivo es comercializar lo antes posible los frutos que cumpliendo las normas de calidad interna (calibres y contenido en azúcares, ácidos orgánicos y en zumo) no han alcanzado en su epidermis el color propio de la especie y variedad exigido para el consumo. Resulta imprescindible para comercializar cítricos extra-tempranos y de floraciones que no consiguen madurar plenamente en el árbol, y muy útil para acelerar la consecución del color típico en pimientos de carne gruesa.

En el flavedo o epidermis de los cítricos comercialmente inmaduros predomina la clorofila que, con su color verde, enmascara los carotenoides. A medida que la clorofila se degrada, se muestran los carotenoides, hasta proporcionar al fruto su color característico.

En el pimiento, la desverdización acelera de forma controlada, la obtención del color típico del fruto en su plena madurez, debido a los carotenoides, de manera uniforme y en todos los frutos. El interés de desverdizar es que permite alcanzar mejor precio gracias a que los pimientos alcanzan la plena coloración roja o amarilla, respecto de los pimientos verdes y, en especial, a los pintones y los parcialmente coloreados, que son poco apreciados e incluso rechazados por los consumidores y, sobre todo, por la industria de conservas y de congelados.

El proceso se realiza en cámaras especiales que, en función de varios factores bien definidos para cada especie y variedad (concentración de etileno, temperatura, humedad relativa, tasa de renovación del aire y duración), resaltarán el color típico de los frutos fisiológicamente maduros en un corto período de tiempo y a un coste

relativamente reducido. El presente trabajo ofrece las condiciones actualmente recomendadas para la desverdización de los cítricos y pimientos de carne gruesa españoles.

Palabras clave: desverdizado, cítricos, pimiento de carne gruesa, etileno, color, recomendaciones de proceso.

Abstract

Degreening technique consists in accelerating the disappearance of the green color of the epidermis of some non-climacteric fruits. The aim of that process is send to the market as soon as possible, fruits that meet international quality standards (calibers and sugars, acidity and juice contents) but that their rind or skin does not have the typical natural color of the specie and variety demanded by consumers. Degreening is crucial for marketing extra-early citrus fruit as well as those fruits from flowerings which have difficulties for reaching in the tree their full ripe colour, and very useful for accelerating the typical ripe colour of bell peppers. In commercially immature citrus fruit epidermis (namely flavedo) chlorophyll predominates and its green color masks the carotenoids. As the chlorophyll is degraded, carotenoids are shown depending on the specie and variety, giving the fruit their typical color when fully ripe. In bell peppers, the technique accelerates, in a controlled manner, the attainment of the typical color of full ripe stage due to carotenoids, and uniformly in all fruits. The interest of degreening consists in allowing more economic profits making possible a full ripe color, better than that of the green peppers and above all, better than that of the half-ripe, which is less appreciated by the consumers and by the canned and freezing industry. The process is performed in special chambers, according to well-known some specific factors for each specie and variety (ethylene level, temperature, relative humidity, air change rate and duration), highlighting the typical color of physiologically ripe fruits in a short period of time and at a relatively low cost. The present work offers the actual recommendations for degreening Spanish citrus fruits and bell peppers.

Keywords: degreening, citrus fruit, bell peppers, ethylene, colour, processing recommendations.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes e importancia económica

La elevada y creciente producción y demanda de cítricos y de pimientos en el mundo requiere extender su periodo de comercialización y satisfacer las progresivas exigencias de sus comercializadores y consumidores de que presenten elevados estándares de calidad comercial, higiénico-sanitaria y nutritiva. Ello es especialmente importante en España (Tabla 8-1), tercer país productor y exportador mundial de cítricos y el primero europeo (FAO, 2008), que muestra un avance técnico-económico sostenido de sus productores y comercializadores, los cuales manifiestan una notable vocación y eficacia exportadora, gracias a su competitividad.

Mundo y países	Producción (miles de tn)			
	Naranjas	Mandarinas	Limones	Total
MUNDO	60.741	21.906	12.505	95.151
PAISES DE EUROPA				
Unión Europea	6.323	2.829	1.744	10.895
España	3.113	2.082	1.071	6.265
Francia	1	21	-	22
Grecia	968	104	111	1.181
Italia	1.962	562	549	3.073
Portugal	280	61	13	353
Países con solicitud de adhesión				
Chipre	35	36	25	96
Turquía	1.215	525	500	2.240
OTROS PAISES				
Argentina	687	381	1.236	2.304
Australia	599	98	34	732
Brasil	16.903	1.263	950	19.115
Estados Unidos	10.473	495	939	11.907
Japón	92	1.147	-	1.239
México	3.970	360	1.825	6.154

Tabla 8-1: Producción mundial de cítricos por países (Fuente FAO, 2008)

España goza de unas condiciones agronómicas idóneas para producir cítricos de excelente calidad y, en particular, con un excelente color que es, junto al sabor, el atributo más valorado y exigido por los consumidores. Pero el color de los cítricos no se desarrolla completamente en el árbol sin que, durante la maduración, las temperaturas nocturnas sean lo suficientemente bajas (generalmente inferiores a 12 °C) y las diurnas elevadas (generalmente superiores a 20 °C), alcanzándose así un elevado diferencial térmico que favorece la necesaria biosíntesis de pigmentos carotenoides tanto en la epidermis (flavedo) como en las vesículas de la pulpa de los frutos.

Las diversas especies y variedades de naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*), limón (*Citrus limon*) y pomelo (*Citrus paradisi*), suelen alcanzar la madurez biológica interna en el árbol, caracterizada por el contenido en sólidos solubles, acidez y en zumo y por el tamaño del fruto, cumpliendo las normas internacionales de calidad, sin lograr la coloración comercial mínima típica de su epidermis o flavedo. Pero los consumidores generalmente relacionan el color externo de la piel del fruto con su madurez interna, prefiriendo que el color típico sea intenso. Aunque no exista ninguna relación en los cítricos, este hecho condiciona significativamente su comercialización, lo que implica la necesidad de desverdizar para que los frutos recolectados adquieran un cierto color que posibilite su venta.

La técnica de desverdización consiste en aplicar etileno (C₂H₄) exógeno, a temperatura y humedad relativa (HR) idóneas, para acelerar la regresión de pigmentos clorofílicos, con desaparición del color verde del flavedo de los cítricos cosechados, permitiendo que se manifiesten los carotenoides, e incluso se acelere su biosíntesis en los cromoplastos de las células del flavedo y las

vesículas, responsables del color típico del fruto maduro. La acumulación de carotenoides se va produciendo conforme avanza la época de maduración siendo mayor a finales que al inicio de la misma. Lo inverso sucede con los pigmentos clorofílicos. La desverdización tiene por ello una importancia técnica y económica de primer orden, porque permite una notable anticipación de la cosecha, cuando los precios generalmente son más elevados, además de mejorar la calidad del fruto al proporcionar mayor uniformidad del color externo. Además, permite comercializar con plena coloración los frutos de algunas floraciones (caso de los *segundos* y *rodrejos* del limón Verna) que tienen notables dificultades de lograr la plena coloración típica en el árbol por la insuficiente alternancia de temperaturas entre el día y la noche que suele suceder en las cálidas zonas productivas cítricas (Artés, 1971; Eaks, 1977; Artés et al., 1978, 1994, 2000, 2002; Martínez-Jávega, 1990; Davies y Albrigo, 1994; Cuquerella, 1997; Salvador, 1997). Por lo tanto, la optimización de la desverdización supone una considerable ventaja competitiva adicional a las empresas productoras y comercializadoras.

Por su parte, el pimiento de carne gruesa es uno de los cultivos hortícolas bajo invernadero con mayor superficie cultivada en España, localizándose casi la mitad de la producción en Almería, Alicante y Murcia. España es el cuarto productor mundial (FAO, 2008) como recoge la Tabla 2. Además de la uniformidad en la forma y en el tamaño, el color debe ser también uniforme y típico del cultivar.

Las ventajas de la desverdización en el pimiento son también evidentes. Con ella se consigue anticipar la comercialización, obteniendo de este modo mejores precios. Aplicando esta técnica, los frutos que han adquirido una suficiente superficie de su epidermis coloreada y cumplan con los requisitos de calidad global (tamaño, peso, firmeza e índice de madurez), se pueden comercializar una vez plenamente coloreados en rojo o amarillo, según la variedad. Así, aún cuando los frutos no hayan alcanzado en la planta la coloración total de la epidermis exigida por el consumidor, pueden cosecharse, descargando la planta y mejorando su producción. Además, el empleo de esta técnica permite comercializar muchos frutos con el envero muy desarrollado o que están solo parcialmente coloreados, que no son aceptables para la industria de conservas vegetales ni para la de congelados, precisamente debido a la falta de uniformidad en el color.

Países	Producción de pimientos frescos (t)
China	10.533.584
México	1.733.900
Turquía	1.500.000
España	989.600
Estados Unidos	885.630

Países	Producción de pimientos frescos (t)
Nigeria	715.000
Indonesia	550.000
Egipto	386.687
República de Corea	380.000
Italia	380.000
Países Bajos	290.000

Tabla 8-2: Producción mundial de pimientos por países (Fuente FAO, 2008)

Desde el punto de vista tecnológico, con la desverdización se pretende prioritariamente degradar las clorofilas en los frutos recolectados, ya que el resto de procesos metabólicos acelerados influyen desfavorablemente en su supervivencia comercial. Por tanto se trata de lograr la máxima coloración con los mínimos perjuicios, consiguiendo una buena y uniforme calidad global.

DESVERDIZACION DE LOS CÍTRICOS

Metabolismo de los cítricos

La actividad vital de los cítricos se manifiesta por su metabolismo, a través de la respiración y la transpiración. La intensidad respiratoria en el curso de la maduración de los cítricos tiende a disminuir lo que, unido a su escasa producción de C_2H_4 , permite clasificarlos como no climatéricos. Por su parte, la transpiración induce una progresiva pérdida de peso, con ablandamiento e incluso marchitamiento, aumenta la caída de cálices y resto del pedúnculo, y acelera la senescencia del fruto, con pérdida de calidad visual. En este metabolismo se produce también una biosíntesis de pequeñas cantidades de C_2H_4 , que induce un aumento de la actividad respiratoria y de la transpiración y acelera la desverdización.

El etileno es una hormona vegetal que influye sobre numerosos procesos fisiológicos como la maduración y senescencia y que está asociada a los cambios de color y la abscisión de los frutos tanto climatéricos como no climatéricos (Alonso et al., 1995). En la maduración de los cítricos, se suceden procesos bioquímicos catabólicos y anabólicos, cesa la biosíntesis de clorofilas, se reorganizan los tilacoides, y los cloroplastos del flavedo y de las vesículas se degradan a gerontoplastos, siendo reemplazados por los cromoplastos, que contienen solo carotenoides (Artés et al., 2002). En esta fase, la pérdida de clorofila de los cromoplastos y la simultánea nueva biosíntesis y manifestación de carotenoides suele ocurrir muy lentamente (Eaks, 1977).

Los principales factores ambientales que controlan estos procesos metabólicos son la temperatura, la HR, la composición de la atmósfera que rodea al fruto (en particular en C_2H_4), la duración y las características intrínsecas del fruto.

El rango de temperaturas idóneo para desverdizar los cítricos depende de la especie y variedad, de la duración requerida y de la exigencia comercial del color externo del fruto. La temperatura óptima para la biosíntesis de carotenoides depende del producto y del tipo de carotenoide, pero habitualmente está entre 18 y 25 °C. Sin embargo, la biosíntesis de licopeno, responsable del color rojo del pomelo Redblush continúa a más de 30 °C (Wheaton y Stewart, 1973). En consecuencia hay que encontrar una solución de compromiso. Las temperaturas recomendadas en España para desverdizar son de 19 a 21 °C para mandarinas y de 20 a 22 °C para naranjas (Cohen, 1978, Orihuel, 1986; Sala et al., 1988; Artés et al., 1994, 2000; Cuquerella, 1997; Cuquerella et al., 2004;) y de 21 a 24 °C para limones y pomelos (Artés et al., 1978, 1983, 1997, 2000).

Los niveles de etileno a partir de unas 0,5 ppm son fisiológicamente activos en la desverdización y se considera que la dosis máxima para un buen desarrollo del proceso en el sistema continuo es 10 ppm. Dosis superiores estimulan la respiración, transpiración, senescencia y desprendimiento de cáliz, que perjudican la calidad del fruto sin acelerar el desverdizado. Para evitar excesivas pérdidas de peso y una posible disminución de la velocidad de desverdizado se recomienda una HR del orden de 90-95%. La renovación del aire debe efectuarse para evitar que el CO_2 alcance niveles del 0,5% en que se comporta como un antagonista del C_2H_4 , lo que dependerá de la intensidad respiratoria de los frutos a tratar. Si no hay renovación, puede alcanzar hasta un 1% en 1 hora. En cuanto a la duración lo recomendable es que no exceda de 4 días (Artés et al., 1994, 1997, 2000; Cuquerella, 1997; Salvador, 1997).

Por cuanto antecede, en general, las mandarinas españolas logran su mayor calidad comercial cuando se desverdizan mediante aplicaciones en continuo de entre 2 y 5 ppm C_2H_4 durante 2 a 4 días a 19-22 °C y 90-95% HR y las naranjas todo igual excepto la temperatura que puede llegar hasta 25-26 °C. Para el limón Primofiori o Fino, Verna de cosecha, Eureka y Lisbon entre 5 y 10 ppm C_2H_4 a 22 °C y 90-95% HR, y para limones Verna de la floración Rodrejos y para pomelos iguales niveles de etileno y HR pero a 24-25 °C.

El desorden fisiológico más común en el desverdizado es el envejecimiento de la piel y, sobre todo, el pardeamiento y caída del cáliz. La susceptibilidad a estos efectos indeseables del C_2H_4 depende del cultivar, pero se puede reducir cuando se optimiza la duración, concentración de C_2H_4 , temperatura, HR y renovación del aire. Algunas auxinas sintéticas como el 3,5,6 triclora-2-piridiloxiacético a 10 ppm ayudan a reducir esa alteración del cáliz (Carvalho et al., 2008).

Características de la técnica

Lo prioritario al desverdizar es degradar los pigmentos clorofílicos y desenmascarar los pigmentos carotenoides (responsables de la coloración desde amarillo pálido al rojo intenso, según composición y constitución molecular), cuya biosíntesis por el

fruto tratado también puede ser acelerada por esta técnica. El resto de procesos metabólicos acelerados suelen influir desfavorablemente en la supervivencia comercial de los cítricos, por lo que se trata de lograr la máxima coloración con los mínimos perjuicios para los frutos.

La desverdización debe realizarse con parámetros adecuados y una duración mínima, pues induce un riesgo de aceleración de la senescencia. Son bastante conocidas las condiciones idóneas para la correcta desverdización de algunas variedades de cítricos, aunque faltan por estudiar algunas nuevas variedades o selecciones y las recientemente mejoradas, así como las diferencias que existen entre diferentes zonas y tipos de cultivo. A este respecto, se ha expuesto que conforme avanza el color inicial de la fruta en la recolección disminuye la eficacia del C_2H_4 en la postrecolección. Por ello es primordial definir el estado óptimo de madurez al cosechar.

La gran ventaja de este sistema es el perfecto control del proceso y la elevada calidad que se obtiene en los frutos. Por su parte, el relativo inconveniente es el coste del etileno y de la renovación del aire.

Determinación del color

El análisis del color se puede usar para valorar la eficacia de tratamientos postcosecha como desverdizado, envasado, almacenamiento o distribución (Artés y Gómez, 2003).

El color se determina mediante tres coordenadas cromáticas L^* (luminosidad), a^* y b^* , basadas en el sistema CIELAB para su medida que informan sobre varios aspectos del mismo (Commission Internationale de l'Eclairage, 1976). Para estudiar la variación del color se han calculado diversos índices que evitan trabajar con tres datos numéricos. El cociente a^*/b^* se considera un buen indicador en la maduración de los cítricos (Barmore y Wheaton, 1976; Artés et al., 2000). Se obtiene una medida del color más apropiada con el ángulo Hue ($h^\circ = \arctg b^*/a^*$), que indica el tinte básico (un valor de 90° representa un color amarillo, valores superiores son más verdes e inferiores más anaranjados, por lo que disminuye al desverdizar) y el chroma $[(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}]$, que indica la saturación o intensidad de un color (McGuire, 1992; Artés et al., 2000). Para medir el color del flavedo, el índice de color de cítricos ($ICC = 1.000 a^*/L^* b^*$) suele presentar una alta correlación con la apreciación visual (Jiménez et al., 1981). El índice de incremento total de color $\{\Delta C = [(L^*-L_0^*)^2 + (a^*-a_0^*)^2 + (b^*-b_0^*)^2]^{1/2}\}$, puede ser también útil (Gnanasekharan et al., 1992).

Sistema continuo de desverdización

Existe un sistema discontinuo o por choques de C_2H_4 , que no se detalla aquí por encontrarse en desuso ante el elevado riesgo de que se alcancen en la cámara de desverdización concentraciones de CO_2 excesivas que suelen perjudicar la calidad de los frutos (Artés, 1971; Artés et al., 1978). El sistema continuo consiste en introducir continuamente en la cámara el caudal de etileno estrictamente necesario para lograr la concentración deseada.

Para la necesaria renovación del aire viciado de la cámara, se debe disponer un ventilador provisto de un regulador de velocidad que tome aire nuevo del exterior introduciéndolo a nivel del termoconvector o de los ventiladores de los evaporadores en su caso.

El relativo inconveniente de este sistema es el mayor costo del proceso (tanto en etileno como en renovación del aire).

Por su parte, la principal ventaja es el perfecto control del proceso y la superior calidad que se obtiene en los frutos.

Según diversos investigadores, entre los que nos incluimos para los frutos españoles, las mandarinas y naranjas logran su mayor calidad comercial, en general, cuando son desverdizadas mediante aplicaciones en continuo de entre 2 a 10 ppm C_2H_4 durante 2 a 4 días a 20-24 °C.

Características de los cítricos para ser desverdizados

En la práctica industrial se deben seguir algunas recomendaciones que permiten optimizar el desverdizado de los cítricos. Así, las naranjas y mandarinas deben tener una relación entre SST y la acidez total (índice de madurez -IM-) mayor de 5,5 (como lo exige la norma española), haber iniciado el cambio de color de fondo (tanto en el flavedo como en las vesículas, así como tener un ICC mayor de -7 (Cuquerella et al., 2004).

En los limones a desverdizar las recomendaciones sobre el estado de madurez mínimo son un IM mayor de 1,3 en la variedad Fino y de 1,4 para la Verna, un contenido en zumo mayor del 25% en peso, el tamaño de los frutos o calibres longitudinal y transversal debe ser mayor de 55-60 mm, así como tener un ICC mayor de -8 (Artés et al., 1997, 2000).

Algunos ejemplos prácticos

Los índices anteriormente mencionados de color se aplicaron para representar los cambios durante el desverdizado de limón Eureka, pomelo Henderson y naranja Newhall expuestos a 5 ppm C_2H_4 durante 4 días a 22 °C y 90-95% HR, seguidos por un almacenamiento a 20 °C y 70-75% HR durante 6 o 7 días para simular un período máximo de comercialización (Artés et al., 2000). Como era de esperar, los atributos de calidad tales como la acidez, pH, contenido de sólidos solubles totales y el índice de madurez, no mostraron cambios significativos cuando se compararon con frutos sin tratar con etileno (testigo), de acuerdo con el comportamiento normal de los frutos no climatéricos como corresponde a los cítricos. Sin embargo, se observaron diferencias significativas de color en el flavedo de la naranja, el limón y el pomelo al final del proceso de desverdizado y después del periodo de comercialización. Normalmente, el tono, el croma y la relación a^*/b^* fueron los índices de color más sensibles para reflejar la evolución del color externo. Resultó evidente también que la naranja es la fruta más sencilla de desverdizar, en tanto que el pomelo fue el más complicado.

Habitualmente no hay pérdidas importantes como resultado de ataques por hongos ni de desórdenes fisiológicos durante el desverdizado de los cítricos utilizando el sistema continuo. Las pérdidas de peso al final del período de desverdizado no excedieron por lo general del 1%. Sin embargo después de un período de comercialización de 6 a 7 días a 20 °C y 70-75% HR, en diferentes experimentos llevados a cabo en planta piloto, la media de pérdida de peso alcanzó el 3,5% en pomelo, el 4,5% en naranja y el 5,5% en limón (Artés et al., 2000).

Otro aspecto a tener en cuenta es que, según los resultados obtenidos en el desverdizado de naranjas Newhall y anteriormente con Navelina, el tratamiento con metiljasmonato a concentraciones de 3 mg JamEq/L en la cámara de desverdización, no demostró ser eficaz para acelerar la degradación de los pigmentos clorofílicos (Artés et al., 1994, 2000).



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CÍTRICOS

Alonso, J.M., Chamarro, J., Granell, A. 1995. Evidence for the involvement of ethylene in the expression of specific RNAs during maturation of the orange, a non-climacteric fruit. *Plant Mol Biol* 29: 385–390

Artés, F. 1971. Manipulación, desverdización y conservación. En: *El limón murciano*. Edit. Hermandad Sindical de Murcia. 156-170.

Artés, F. y Gómez, P. 2003. Active packaging and colour control: the case of fruit and vegetables. En: *Novel food packaging techniques*. Ed. R. Avenhainen. Edit. CRC Press and Woodhead Publishing Ltd. Cambridge, UK. Chap. 20. 416-438.

Artés, F., Escriche, A.J. y Marín, J.G. 1983. Desverdización industrial de limón Fino en proceso continuo. *Cong. Soc. Esp. Cienc. Hort.* II:1033-1037.

Artés, F., Mínguez, M.I. y Hornero, D. 2002. Analysing changes in fruit pigments. En: *Colour in food. Improving quality*. Ed. D.B. Mac Dougall. Edit. CRC Press and Woodhead Publishing Ltd. Chap. 10. 248-282.

Artés, F., Guzmán, M.A., Guzmán, G. y Marín, J.G. 1978. Desverdización del limón. *Jorn. Nac. Comerc. Citrícola*. Gandía. 71-74.

Artés, F., Escriche, A.J., Marín, J.G. y Martínez, J.A. 1994. Évolution de la qualité des oranges Navelin lors du déverdisage. En: *Contribution du froid à la préservation de la qualité des fruits, légumes et produits halieutiques*. Edit. Lahmam A. y Messaho, D. Marruecos. Chap. 9. 93-102.

- Artés, F., Marín, J.G., Porras, I. y Martínez, J.A. 2000. Evolución de la calidad del limón, pomelo y naranja durante la desverdización. *Rev. Iberoamericana Tecnología Postcosecha*. 1(2):71-79.
- Artés, F., Marín, J.G., Martínez, J.A., Tudela, J.A. y García-Lidón, A. 1997. Desverdización de nuevas variedades de limón y pomelo. *Phytoma*, 90:130-135
- Barmore, C.R. y Wheaton, T.A. 1976. Ethylene degreening of 'Bearss' lemons. *Hort-Science*, 11: 588-590.
- Carvalho, C.P., Salvador, A., Navarro, P., Monterde, A. y Martínez-Jávega, J.M. 2008. Effect of auxin treatments on calyx senescence in the degreening of four mandarin cultivars. *Hortscience*, 43(3): 747-752.
- Cohen, E. 1978. The effect of temperature and relative humidity during degreening on the coloring of Shamouti orange fruit. *J. Hort. Sci.* 53:143-146.
- CIELAB. 1976. Colorimetry, Central Bureau of the Commission Internationale de l'Éclairage. Vienna, 2nd Ed. Publication CIE 15, 2.
- Cuquerella J. 1997. Técnicas y prácticas de desverdización de cítricos producidos en condiciones mediterráneas. *Phytoma*. 90:106-111.
- Cuquerella, J., Martínez-Jávega, J.M., Monteverde, A., Navarro, P. y Salvador, A. 2004. Nuevo sistema de medida de color para cítricos. *Levante Agrícola. Especial postcosecha*. 298-304.
- Davies, F.S. y Albrigo, L.G. 1994. Fruits quality, harvesting and postharvest technology. En: *Citrus*. Ed. CAB International. 202-224.
- Eaks, I.L. 1977. Physiology of degreening-summary and discussion of related topics. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 1: 223-226.
- FAO. 2008. Base de datos estadísticos sustantivos de la Organización. Roma, disponible en <http://faostat.fao.org>.
- Gnanasekharan, V., Shewfelt, R.L. y Chinnan, M.S. 1992. Detection of color changes in green vegetables. *J. FoodSci.* 57: 149-154.
- Jiménez, M., Cuquerella, J. y Martínez, J.M. 1981. Determination of a color index for citrus fruit degreening. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 2: 750-753.
- Martínez-Jávega, J.M. 1990. Aplicaciones prácticas del etileno en postrecolección. II Simp. Nal. Maduración y Postrecolección de Frutos y Hortalizas. 11 pág.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27(12): 1254-1255.

Orihuel B. 1986. El desverdizado de agrios. Desórdenes fisiológicos y senescencia. *Fruticultura Profesional*, 5: 52-57.

Sala, J.M., Mallent, D., Pérez-Zuñiga, F. y Cuñat, P. 1988. La evolución del color de naranjas y mandarinas en el proceso de desverdización con etileno. *Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment.* 4: 558-566.

Salvador, A. 1997. Resultados sobre la desverdización en nuevas variedades: clemenpons y loretina. *Phytoma*, 90: 117-124.

Wheaton, T.A. y Stewart, I. 1973. Optimum temperature and ethylene concentrations for postharvest development of carotenoid pigments in citrus. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98: 337-340.

DESVERDIZACION DEL PIMIENTO

Principales cambios físicos, químicos y fisiológicos asociados con la maduración del pimiento

En los frutos carotenogénicos, como naranja, mandarina y pimiento, la transformación de cloroplasto en cromoplasto durante la maduración es especialmente importante sucediendo una masiva síntesis de carotenoides, acompañada de un cambio en el perfil de carotenoides del fruto. Esta biosíntesis tiene lugar en los cloroplastos de los tejidos verdes, o en los cromoplastos en los tejidos amarillos a rojos. En el caso del pimiento rojo predominan los carotenoides capsantina y capsorubina (Artés et al., 2000; Hornero-Méndez et al., 2000). Precisamente el perfil carotenoideo se ha aplicado para autentificar y determinar el origen geográfico del zumo de naranja, así como su adulteración con extracto de pimiento o con zumo de tangerina (Mouly et al. 1999).

Durante la maduración de los pimientos de carne gruesa, los principales cambios que ocurren y que conducen a una mayor aceptabilidad para su consumo, son los de color, textura, sabor y aroma. Todos ellos están ligados a reacciones bioquímicas, aunque los dos primeros manifiestan variaciones de tipo físico y los dos últimos de tipo químico. Los cambios de tipo fisiológico (respiración y emisión de etileno), no presentan ninguna manifestación visible.

Los frutos sólo maduran completamente dentro de un cierto intervalo de temperaturas, con un óptimo que se sitúa en general entre 16 y 22 °C y con elevada HR. Además, las concentraciones de O₂, CO₂ y C₂H₂ desempeñan un papel esencial para el desarrollo de una correcta maduración.

Con la sobremadurez o senescencia, se produce una desorganización progresiva de los procesos metabólicos de la célula y una disminución de la permeabilidad de las membranas, lo que conduce a una respiración anaerobia y la consiguiente acumulación de productos tóxicos para la célula (etanol, acetaldehído, etanal, etc.) que, finalmente, ocasionan la muerte de los tejidos y la pérdida de la calidad comercial.

Para un adecuado control de los parámetros que condicionan los procesos de maduración se aplican técnicas específicas de regulación de algunos de esos procesos metabólicos, denominadas desverdización para los productos no climatéricos, como es el caso del pimiento.

CAMBIOS DE COLOR

Los cambios de color en el pimiento son el resultado de solo uno o de la combinación de procesos de degradación de pigmentos clorofílicos (verdes) y de síntesis de carotenoides (amarillos y rojo-anaranjados). Tanto los pigmentos clorofílicos como los carotenoides están contenidos en los cloroplastos (en la proporción de cuatro a uno) y la pérdida de clorofila, con un aumento simultáneo de pigmentos carotenoides, es el resultado de la transformación de cloroplastos verdes en cromóforos amarillos o rojos, aunque en el pimiento puede permanecer la clorofila al tiempo que aumentan los carotenoides.

La degradación de la clorofila, algunas de cuyas etapas son aerobias, es el primer signo de la maduración en la mayoría de los frutos, incluido el pimiento. Se produce con un máximo a 28 °C y más lentamente cuando desciende la temperatura, acompañada de la desintegración de las membranas del cloroplasto. Suele ser habitual que quede en los frutos cierta cantidad de pigmento verde, en especial en los tejidos internos.

La temperatura óptima para la síntesis de carotenoides depende del carotenoide y del producto y suele estar sobre los 18 °C (en el caso del licopeno, es de 16 a 21 °C y por encima de 30 °C la síntesis se inhibe).

CAMBIOS DE TEXTURA

La maduración de los frutos lleva consigo algunos grados de senescencia en la estructura, produciéndose una cierta degradación de la pared celular, que ablanda al fruto lo suficiente para facilitar su consumo. El nivel aceptable de degradación varía de unos frutos a otros y las diferentes variedades de una misma especie pueden mostrar diferencias en la velocidad y nivel de degradación de la pared celular durante la maduración. Esta se relaciona con un aumento en la actividad de las enzimas pectinesterasa y poligalacturonasa, aunque no se han identificado en hortalizas, excepto en tomate.

CAMBIOS DE SABOR Y AROMA

El sabor y aroma de un fruto es consecuencia fundamentalmente de su contenido en ácidos, azúcares y numerosos componentes volátiles del aroma (presentes en muy pequeñas cantidades). Los cambios de sabor y aroma que suceden durante la maduración postrecolección, normalmente resultan de un aumento en azúcares simples a expensas de los carbohidratos de reserva, una disminución en ácidos orgánicos y un fuerte aumento en la producción de componentes aromáticos volátiles.

CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE AZÚCARES

En los frutos no climatéricos, como los pimientos, los cambios en el contenido en azúcares durante su maduración son mínimos. El pimiento acumula los azúcares antes de la recolección, sin acumular carbohidratos de reserva, y no se endulza después de recolectado. El estado de madurez y la temperatura de almacenamiento condicionan la velocidad de transformación de la sacarosa en azúcares reductores (glucosa y fructosa).

Durante la postrecolección de frutos de pimiento plenamente maduros se produce una pérdida de azúcares debida a su consumo respiratorio, tanto más intensa cuanto más elevada sea la temperatura de almacenamiento.

CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE ÁCIDOS

Los pimientos generalmente muestran un descenso en su acidez total durante la maduración y en la postrecolección, como resultado, al menos en parte, de ser utilizados también como substratos respiratorios. La velocidad de degradación depende del estado de madurez y de la temperatura.

La pérdida de ácido ascórbico, expresión del valor nutritivo por constituir la vitamina C, es tanto mayor cuanto mayor es la temperatura de almacenamiento, y así sucede en el pimiento.

El proceso industrial de desverdización

Seguidamente se describen las principales etapas en el proceso industrial de desverdización.

Conviene iniciar la selección de los pimientos a desverdizar según la coloración externa ya en el momento de la recolección, aunque después de recolectar debe completarse en el almacén, para uniformar su duración y la calidad final de los frutos. El pimiento se debe recolectar sano, sin defectos visuales, con textura de pulpa firme para minimizar los destríos y con la mínima carga microbiana. La recolección se efectúa manualmente, por pases sucesivos, seleccionando los frutos por su tamaño y color externo. Tras el destrío previo en el campo, los pimientos llegan a la industria preferiblemente en cajas, aunque a veces se emplean palox, con mayor riesgo de dañar a los frutos, sobre remolques o camiones pequeños a temperatura ambiente. Es preferible que transcurra el menor tiempo posible entre la recolección y el desverdizado y se deben evitar al máximo los daños mecánicos durante su transporte y manipulación. En la recepción se deberá efectuar un control de calidad aleatorio, en un laboratorio idóneo, atendiendo aspectos sanitarios, como plagas (pulgones, áfidos, gusanos, etc.), residuos de plaguicidas y alteraciones microbianas (Artés-Hernández et al., 2006).

La desverdización se lleva a cabo en cámaras o recintos en cuyo interior sea posible controlar adecuadamente la temperatura, HR, concentraciones de C_2H_4 , O_2 y CO_2 , así como la renovación, recirculación y velocidad del aire.

EFFECTOS DEL ETILENO

La producción de etileno en el pimiento es muy reducida, del orden de 0,1 a 0,2 $\mu\text{l}/\text{kg h}$. a 20°C. En consecuencia, se deberá adicionar al ambiente si se quiere asegurar su efecto de desverdización. En la utilización a escala industrial, aunque puede efectuarse con etileno puro, tomando las precauciones adecuadas, lo más frecuente es trabajar empleando una mezcla no explosiva en la proporción del 5,5% de C_2H_4 y 94,5% N_2 . Ello se debe a que el etileno es un gas que forma mezclas explosivas con el aire en concentraciones desde el 3,1% hasta el 32% en volumen. Ni aún por error, aunque se alcanzasen en un recinto concentraciones tan elevadas como por ejemplo 1.000 ppm (0,1%) en el aire, se estaría todavía más de 30 veces por debajo del riesgo. En todo caso se ha optado por utilizar dicha mezcla técnica comercial, como habitualmente se emplea por la industria española.

Mínimas concentraciones de C_2H_4 (entre 3 y 10 ppm), son ya capaces de degradar la clorofila e incrementar la biosíntesis enzimática de carotenoides, sin acelerar en exceso algunos procesos metabólicos indeseables como la respiración, la transpiración y las actividades enzimáticas que puedan producir ablandamiento de los frutos. Concentraciones elevadas de C_2H_4 (del orden de 100 ppm o superiores) producen la aceleración de todos los procesos, con riesgos de que algunos puedan resultar perjudiciales. Sin embargo, el pimiento suele responder con cierta dificultad a la acción del etileno, por lo que se debe estudiar bien la concentración idónea a aplicar, así como el estado óptimo de madurez.

Al término de la desverdización se recomienda dejar reposar unas 12 a 24 h los pimientos antes de manipularlos y confeccionarlos, para controlar el posible efecto residual del C_2H_4 y para acondicionar a la temperatura ambiente, ya que si se manipulan en “caliente” aumentan los riesgos de que se produzcan alteraciones.

EFFECTOS DE LA TEMPERATURA

Las velocidades a las que transcurren las diferentes reacciones orgánicas dependen esencialmente de la temperatura, pero las diferentes reacciones se producen a la máxima velocidad a distinta temperatura. Así, es sabido que entre las que afectan a la desverdización, la síntesis de carotenoides es máxima a 18 °C, mientras la máxima degradación de clorofilas sucede a 28 °C. Por su parte, la síntesis de carotenoides se paraliza a 30 °C y se inicia su degradación, mientras a 40 °C ocurre un desarreglo de la actividad respiratoria, con riesgo de anaerobiosis, se paraliza la degradación de clorofilas y existe un grave riesgo de daños (manchas y sabores extraños) así como de fitotoxicidad.

En consecuencia, conviene regular la temperatura, disponiendo casi inexcusablemente de un equipo frigorífico. Es bastante frecuente que las cámaras de desverdización se deseen utilizar también para la conservación, sobre todo si se emplean para productos no climatéricos o para productos no sensibles al etileno, por lo que generalmente se diseñan de doble uso, lo que aconsejamos para optimizar la inversión.

Por cuanto antecede, de lo que se trata es de determinar experimentalmente una temperatura óptima de compromiso, sobre la base de los conocimientos que se

detallan a continuación. De una parte, a 27 °C puede ser muy rápida, pero existen riesgos de manchas y sabores extraños por acumulación de productos respiratorios fermentativos (etanol y acetaldehído). De otra, la síntesis de carotenoides es máxima a 18 °C. Hemos considerado por tanto que, en principio, se deberá trabajar entre 18 y 24 °C para encontrar la óptima. En dicho rango de temperaturas deberá producirse una aceptable velocidad de degradación de clorofilas, una adecuada síntesis de carotenoides y un relativo control de las actividades respiratoria y enzimática, aunque se produzca un ligero aumento de la duración que, de acuerdo con nuestras experiencias previas, no debe alcanzar las 72 horas.

EFEECTO DE LAS CONCENTRACIONES DE CO₂ Y DE O₂

Al acelerar el metabolismo respiratorio aumenta la emisión de CO₂ y el consumo de O₂. Pero el CO₂ es un antagonista de la acción del C₂H₄ y disminuye su efecto. Por su parte, al disminuir el O₂ se ralentiza la respiración, pero también se frena la degradación de clorofilas y la biosíntesis de carotenoides, e incluso se producen riesgos de anaerobiosis que pueden conducir a olores y sabores extraños, también relacionados con el exceso de CO₂.

De acuerdo con nuestras experiencias en cámaras industriales desverdizando en proceso continuo, se debe trabajar con niveles de CO₂ inferiores al 0,5% y con concentraciones de O₂ próximas al 21%.

EFEECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA

La desverdización aumenta la transpiración, causando pérdidas de peso, ablandamiento (pérdida de textura-firmeza en ambiente de baja humedad) y más susceptibilidad a las alteraciones fisiológicas al pasar los frutos por la línea de manipulación y durante la comercialización.

Con el aumento de la HR se consigue minimizar las pérdidas por deshidratación y reducir la incidencia de ataques fúngicos al facilitar la lignificación de pequeñas heridas y roces. Sin embargo, el empleo de HR próximas al 100% suele favorecer el riesgo de podredumbres al producirse condensaciones de agua sobre los pimientos, que facilitan el desarrollo de esporas siempre presentes sobre su epidermis.

En consecuencia, en las cámaras de desverdización se dispondrá lo necesario para asegurar una HR del 90 al 95%, debidamente controlada en la corriente de aire de retorno a los aerotermos o temoconvectores, tomando siempre la precaución de efectuar la lectura real de los psicrómetros bajo una adecuada corriente de aire (con los termoconvectores funcionando).

EFEECTO DE LA RENOVACIÓN, RECIRCULACIÓN Y VELOCIDAD DE AIRE DE LA CÁMARA.

La actividad respiratoria de los pimientos a 20 °C suele oscilar entre 18 y 20 mL CO₂/kg h. Para una ocupación real de la cámara de desverdización del orden del 25% la concentración de CO₂ superará el 1% al cabo de 1 hora sin renovación de aire, lo que normalmente suele ser suficiente para interferir en la desverdización, disminuyendo la velocidad de proceso.

Por nuestra experiencia preliminar, aconsejamos realizar como mínimo 0,5 renovaciones del aire de la cámara de desverdización cada hora (aproximadamente una renovación continua del 1% por minuto). Quedándonos en el lado de la seguridad, consideramos más conveniente que se efectúe una renovación del aire de la cámara de desverdización cada hora.

Para recircular adecuadamente el aire de la cámara de desverdización y uniformar la temperatura, la HR y la composición de la atmósfera, por nuestra experiencia aconsejamos adoptar una circulación de 15 veces por hora el volumen libre de la cámara de desverdización a través de los termoconvectores. Siempre se debe respetar que la concentración de CO₂ en el aire alrededor de los frutos a desverdizar no supere el 0,5%

De una parte, para evitar una excesiva transpiración de los pimientos, así como impedir la posible acumulación de calor y de compuestos volátiles y, de otra para garantizar la imprescindible respiración aeróbica de los frutos, según nuestra experiencia aconsejamos una velocidad del viento máxima de 14 a 20 m/min en el interior de la cámara de desverdización.

Eventualmente, si fuera necesario uniformar el color de la epidermis, antes de prerrefrigerar se puede llevar a cabo una desverdización acelerada del pimiento pintón, con más del 70% de su superficie virada al color rojo. Para ello puede utilizarse el sistema continuo de aplicación de etileno exógeno con bajas concentraciones (10 a 50 ppm), a temperatura de 20 a 25 °C y superior al 90% HR, durante 1 a 3 días, según las condiciones iniciales de los frutos (Gómez et al., 2003).



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PIMIENTO

Artés, F., Marín, J.G., Porras, I. y Martínez, J.A. 2000. Evolución de la calidad del limón, pomelo y naranja durante la desverdización. *Rev. Iberoamericana Tecnología Postcosecha*, 1 (2), 71-79.

Artés-Hernández, F., Conesa, A. y Artés, F. 2006. Elaboración de pimiento mínimamente procesado en fresco. En: *Pimientos. Compendios de Horticultura* 16. Ediciones de Horticultura S.L. Reus. España. Cap. 11: 131-138.

Gómez, P., Conesa, A., Artés-Hernández, F., Méndez, M., Aguayo, E. y Artés, F. 2003. Influencia de la desverdización en la calidad del pimiento recolectado en dos estados de madurez. En: *Maduración y Postrecolección*. Eds. C. Merodio y M.I. Escribano. Edit. CSIC. Madrid. 369-372.

Hornero-Méndez, D., Gómez-Ladrón de Guevara, R. y Mínguez-Mosquera, M.I. 2000. Carotenoid biosynthesis changes in five red pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars during ripening. *Cultivar selection for breeding*. *J. Agric. Food Chem.* 48: 3857-3864.

Mouly, P.P., Gaydou, E.M., Lapiere, L. y Corsetti, J. 1999. Differentiation of several geographical origins in single-strength Valencia orange juices using quantitative comparison of carotenoid profiles. *J. Agric. FoodChem.* 47: 4038-4045.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a El Limonar Soc. Coop., SAT San Cayetano y Hortamira SAT y por haber facilitado frutos para las experiencias y a FECOAM (Federación de Cooperativas Agrarias de la Región de Murcia) por la financiación de algunos de los trabajos.