

Poscosecha

Catarina Pedro Pássaro Carvalho*

Pilar Navarro**

Alejandra Salvador***

Resumen

Desde el momento en que los frutos cítricos son recolectados hasta su comercialización y consumo se inicia un proceso de deterioro natural, que conducirá a la pérdida del producto en un corto periodo de tiempo si se no se realizan procesos de manipulación y conservación para evitarlo.

En Colombia, las pérdidas en el periodo poscosecha de los cítricos son muy elevadas. Para reducir estas pérdidas es necesario entender los factores biológicos y medioambientales relacionados con el deterioro del fruto y conocer la tecnología poscosecha más apropiada para retrasar la senescencia y mantener la calidad del producto lo mejor posible. La manipulación poscosecha tiene como objetivo mantener las cualidades de los productos desde que son cosechados hasta que llegan al consumidor, garantizando la calidad organoléptica y nutricional, mejorando la presencia externa y siempre aplicando las normas y recomendaciones vigentes.

Normalmente, los frutos cítricos tras la recolección son transportados a las centrales de manejo (o emparadoras) donde son sometidos al proceso de confección para su presentación al mercado o bien expuestos a tratamientos poscosecha específicos como

* Ing. Agrónoma. Ph.D. en Ing. de Alimentos. C.I. La Selva, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), km 7 vía Las Palmas, Vereda Llanogrande, Rionegro, Antioquia, Colombia.

** Ing. Técnico Agrícola. Centro de Tecnología Poscosecha, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Apartado Oficial, 46113 Moncada, Valencia, España.

*** Ing. Agrónoma. Ph.D. en Ing. Agrónoma. Centro de Tecnología Poscosecha, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Apartado Oficial, 46113 Moncada, Valencia, España.

Correspondencia:
Catarina Pedro Pássaro
Carvalho
cpassaro@gmail.com

desverdización o frigoconservación. Uno de los problemas de competitividad que presenta la cadena citrícola, es el hecho de que la fruta nacional no cumple con los estándares que impone la demanda interna o el acceso a nuevos mercados externos. Esto se debe principalmente al deficiente manejo poscosecha que existe en todas las regiones del país, comenzando por una cosecha inadecuada, deficiente selección, clasificación y almacenamiento, e insuficiente tecnología para mejorar presentación, lo que finalmente se traduce en abundantes desechos y pérdidas.

En este capítulo se discute sobre los cambios fisiológicos que ocurren tras la cosecha, los requisitos de calidad exigidos por el mercado así como el proceso de manipulación poscosecha a los que se somete los frutos cítricos. Con ello se pretende suministrar al lector el conocimiento necesario para poder realizar la comercialización del fruto manteniendo la calidad exigida por el consumidor.

Palabras clave: cítricos, fisiología poscosecha, manipulación poscosecha, calidad.

Postharvest

Abstract

From the moment in which citrus fruits are collected, to their commercialization and consumption, there is a natural decay process that leads to lose the product in a short time if processes to handle and conserve it are not made.

In Colombia, loses in citrus' postharvest are very high. In order to lessen them it is necessary to understand the biological and environmental factors related to the fruit's decay and be familiar with the most appropriate postharvest technology to retard the senescence and keep the product's quality as best as possible. Post harvest handling aims to keep the product's quality, from the harvest to the moment in which they are consumed, guaranteeing the organoleptic and nutritional quality, improving the product's look and always applying the regulations and recommendations that are in force.

Usually citrus fruits, after their collection, are transported to handling centers or packaging places in which they are submitted to a confec-tion process for being presented in the market, or submitted to specific postharvest treatments, such as degreening or cold storage. One of the problems for competitiveness the citrus' chain has is that national

fruits do not meet the standards demanded by the internal and the external markets. This is due, mainly, to a deficient post harvest management made all over the country, starting with an inadequate harvest, a deficient selection, classification and storage and a technology insufficient to improve the look of the product, which finally means abundant discards and losses.

This chapter discusses the physiological changes that take place in the postharvest, the quality requirements demanded by the market and the postharvest handling process to which citrus are submitted. All of this is to provide the knowledge necessary to commercialize the fruit, keeping the quality demanded by consumers.

Key words: citrus, postharvest physiology, postharvest handling, quality.

Introducción

La alta dispersión de los cultivos de cítricos en el territorio colombiano da origen a una gran diversidad en los sistemas de producción, y genera problemas tecnológicos de índole fitosanitaria, nutricional y de poscosecha, que se reflejan directamente en los costes de producción.

Durante el período poscosecha se producen importantes pérdidas, tanto en cantidad como en calidad, dependiendo de la especie, método de cosecha, almacenamiento, transporte, entre otros. En Colombia se estiman pérdidas entre el 12% y 25% del total de la producción, donde la manipulación y las condiciones de almacenamiento no son las más adecuadas y se dispone de muy baja tecnología¹.

Las pérdidas poscosecha son muy difíciles de cuantificar, sobre todo por la dificultad en la identificación de la etapa de la cadena de manipulación en la que se induce. El estrés físico y metabólico que sufre el producto durante el manejo poscosecha, en muchas ocasiones, provoca una alteración que se manifiesta de una forma visible no fácilmente relacionada con su verdadero origen².

Algunos de los principales problemas que afectan la poscosecha de cítricos en casi todas las regiones de Colombia son los siguientes: cosecha inadecuada, deficiente selección, clasificación y almacenamiento; baja calidad externa del fruto (apariencia); insuficiente tecnología disponible para mejorar presentación; así como desechos y pérdidas.

Ante esta realidad, es de relevante importancia mejorar las condiciones de manipulación, transporte, conservación y distribución, para optimizar la cantidad y calidad de la oferta cítrica colombiana que satisfaga las crecientes exigencias de los mercados internacionales, en vez de tratar de incrementar la oferta aumentando los recursos productivos. El principal objetivo de la tecnología de poscosecha es desarrollar métodos para reducir al máximo el deterioro de los productos durante el período entre la recolección y el consumo. Esto requiere un conocimiento profundo de la estructura, composición, bioquímica y fisiología del producto hortofrutícola, dado que estas tecnologías están enfocadas sobre todo a reducir la tasa de metabolismo del producto sin inducir situaciones anormales. A pesar de que existe una estructura y metabolismo básico común a todos los productos, las tecnologías poscosecha deben ser desarrolladas teniendo en cuenta las diferencias que existen entre los productos hortofrutícolas, entre diferentes cultivares de un mismo producto e inclusive entre estados de madurez, zonas de crecimiento y estaciones.

Fisiología poscosecha

La vida de los productos hortofrutícolas puede ser dividida en tres principales estados fisiológicos que son:

- Crecimiento: es el incremento irreversible en atributos físicos del fruto.
- Maduración: es el conjunto de cambios físico-químicos que experimentan los frutos, cuando alcanzan su tamaño definitivo y completan su desarrollo, y que determinan que este alcance un color, sabor y determinada textura que lo hace apto para consumo. Este proceso es consecuencia de la actividad bioquímica del fruto, la cual es desencadenada por los procesos fisiológicos del mismo.
- Senescencia: etapa caracterizada por procesos de degradación que provocan el envejecimiento y finalmente la muerte de los tejidos del fruto.
- Generalmente, se distinguen dos tipos de madurez:
- Madurez de consumo o gustativa: cuando el fruto alcanza sus mejores características organolépticas, tales como color de la piel, firmeza de la pulpa, sabor y aroma, entre otras.
- Madurez comercial o de recolección: el fruto se puede recolectar porque tiene el calibre adecuado y el índice de madurez requerido para su comercialización.

El estado de madurez en el momento de cosecha es uno de los factores más importantes que determina el período de vida útil y la calidad final de los frutos. Cualquier fruto recolectado demasiado temprano o demasiado tarde es más susceptible a los desórdenes fisiológicos y tiene un período de vida útil más corto que los frutos cosechados en un estado adecuado de madurez³.

En los frutos cítricos la madurez de consumo se inicia en el último tercio del crecimiento y termina con las primeras etapas de la senescencia, involucrando una serie de cambios en las características externas e internas del fruto. En estos frutos la madurez de consumo solamente puede ser completada si los frutos permanecen unidos a la planta².

En la manipulación de frutos y hortalizas después de recolectados es necesario tener en cuenta que se trata de estructuras vivas que siguen desarrollando procesos metabólicos para mantener los sistemas fisiológicos, lo cual acelera su deterioro, especialmente para aquellos productos con una larga cadena de comercialización⁴. Los procesos metabólicos más importantes en este sentido son respiración, transpiración y producción de etileno.

Respiración

La respiración es un proceso metabólico fundamental de todo ser vivo. Puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células, como almidón, azúcares y ácidos orgánicos a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua, con la consiguiente liberación de energía. Esta energía es indispensable para mantener el resto de las reacciones metabólicas del fruto^{2, 5}.

La pérdida de estas fuentes de reservas que tiene lugar durante la respiración de productos hortofrutícolas significa la aceleración de la senescencia debido al agotamiento de las reservas de fuentes de energía para el mantenimiento del metabolismo de la vida celular, pérdida de calidad organoléptica, y reducción del valor nutritivo^{6, 7}.

El principal hidrato de carbono de reserva en el caso de los cítricos es la sacarosa. La respiración exige una degradación enzimática previa de estos hidratos de carbono a glucosa. Normalmente en atmósferas ricas en oxígeno, donde se encuentran los frutos, se desarrolla una respiración aeróbica. En determinadas condiciones, si el oxígeno se encuentra bajo determinados niveles críticos, los tejidos inician la respiración anaeróbica fermentativa, donde la glucosa se transforma en acetaldehído y etanol, y pueden llegar a producirse sabores extraños.

Los frutos cítricos pertenecen al grupo de los frutos no climatéricos, o sea que al contrario de los frutos climatéricos carecen de la capacidad de síntesis autocatalítica de etileno en la fase de maduración o previa a ella, por lo que la madurez interna solo se alcanza en el árbol sin que se registren cambios dramáticos en la intensidad respiratoria y la producción de etileno. Estos parámetros alcanzan en los frutos recolectados valores de 5-10 mg CO₂/Kg*h (a 5°C) y 0,0-0,1 mL C₂H₄/Kg*h (a 20°C), respectivamente, lo que se corresponde con frutos no muy perecederos⁸. Dependiendo de la especie y temperatura, presentan un período de vida útil entre 4-8 semanas⁹.

El periodo de vida útil de los productos hortofrutícolas está directamente relacionado con la tasa de respiración, así cuanto más alta es la tasa de respiración más perecedero es el fruto. Es por ello que gran parte de la tecnología poscosecha se basa en provocar una reducción de la respiración y, por tanto, una reducción en el metabolismo, mediante la manipulación de las condiciones externas. La respiración puede estar afectada por muchos factores, siendo los más importantes la temperatura, la composición atmosférica y el estrés físico.

Un aumento de la temperatura se traduce en un aumento exponencial de la velocidad de respiración. De acuerdo con la ley de Van't Hoff la velocidad de una reacción biológica se duplica con cada incremento de 10°C de temperatura. Generalmente, se elaboran tablas que muestran los efectos de la temperatura en la velocidad de respiración, y consecuentemente, en la velocidad de deterioro y en la vida útil de un producto (**tabla 1**). Por ejemplo, un producto con una vida útil de 13 días a 20°C podrá ser almacenado 100 días a 0°C y no más de 4 días a 40°C.

Tabla1. Correlación entre temperatura, Q10, tasa de respiración (TR) y período de vida útil de un producto.

T (°C)	Q10	TR (mL CO ₂ / Kg•h)	Tiempo máximo de almacenamiento (días)
0		1	100
10	3	3	33
20	2,5	7,5	13
30	2	15	7
40	1,5	22	4

Relación existente entre la intensidad de un determinado proceso a una temperatura determinada y ese mismo proceso a una temperatura de 10°C menor.

Fuente: Kader¹⁰

Generalmente, la respiración se reduce cuando disminuye la temperatura. Sin embargo, en algunos frutos de origen tropical y subtropical, como es el caso de los cítricos, la tasa respiratoria sufre un incremento cuando son sometidos a una temperatura por debajo de una temperatura crítica (10-12°C) que provoca alteraciones fisiológicas denominadas 'daños por frío', como consecuencia del estrés al que es sometido el fruto.

Transpiración

La transpiración es un proceso de transferencia de vapor de agua desde el fruto hacia la atmósfera. Es un fenómeno general que se produce antes y después de la recolección. Mientras el fruto permanece unido a la planta, las pérdidas de agua se reponen a través del sistema radicular y vascular de la planta.

En los frutos cítricos, una de las principales causas de deterioro fisiológico durante el período poscosecha es el estrés de agua producido por la transpiración al separarse de la planta madre y la falta de reposición. En el caso de mandarinas se agrava más esta situación al ofrecer el fruto una alta relación superficie/volumen y menor espesor de corteza que facilitan la deshidratación. La transpiración no solo causa desecación, arrugamiento y ablandamiento sino que también acelera la senescencia, siendo mayor con las altas temperaturas y baja humedad ambiente¹¹⁻¹³ (**figura 1**).

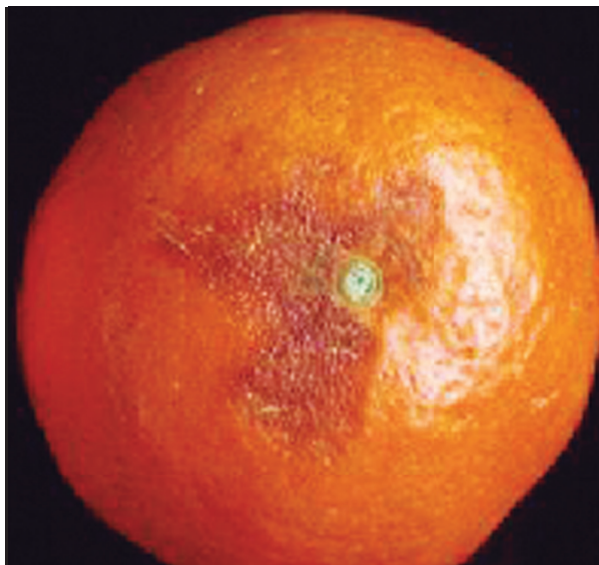


Figura 1. Síntoma de deshidratación en mandarina.

Según Jiménez-Cuesta; et al¹⁴ la pérdida de agua durante la manipulación de frutos cítricos provoca mermas de peso del orden del 5% en la comercialización directa, del 7% en la frigoconservación y de hasta el 16% en un proceso completo de conservación frigorífica y posterior comercialización.

La transpiración se produce en mayor proporción en la piel del fruto que en la pulpa¹⁵, y en el hemisferio peduncular que en el estilar¹⁶, por lo que la zona peripeduncular del fruto es más susceptible a la senescencia y, por tanto, más proclive a las alteraciones fisiológicas.

En cuanto a las condiciones externas que influyen en el proceso de deshidratación son, fundamentalmente, la temperatura y la humedad relativa de la atmósfera de su entorno, ya que determinan las diferencias entre la presión de vapor de agua dentro y fuera del fruto.

Etileno

El etileno es una fitohormona vegetal de naturaleza gaseosa que regula aspectos de crecimiento, desarrollo y senescencia. Dependiendo de dónde y cuándo actúe, su efecto será beneficioso o perjudicial. Antes de que sus efectos se manifiesten debe ser biosintetizado o adicionado de forma exógena. Químicamente es el hidrocarburo insaturado más sencillo (C_2H_4)¹⁷.

En las frutas no climatéricas, no hay un incremento en la producción de etileno asociado con la maduración, y la adición de etileno exógeno no induce la plena maduración. Sin embargo, el tratamiento con etileno de frutas no climatéricas en ocasiones es útil; por ejemplo, el flavedo de algunas frutas cítricas maduras puede cambiar de color mediante la aplicación externa de etileno¹⁸.

En los frutos no climatéricos, el etileno exógeno estimula la respiración, la degradación de la clorofila y la síntesis de pigmentos, pero estos procesos vuelven a sus niveles originales al poco tiempo de suprimir la aportación¹⁹.

Por otra parte, el etileno puede tener efectos indeseables. La promoción de la senescencia por causa del etileno en algunos productos hortícolas cosechados produce una aceleración de su deterioro y una vida poscosecha reducida. Esto es debido a que el etileno acelera la degradación de la clorofila e induce al amarilleo de los tejidos verdes por lo que reduce la calidad de las hortalizas de hoja, de flor y las inmaduras de fruto, así como el follaje utilizado con fines ornamentales. El etileno también induce abscisión de las hojas y flores, ablandamiento de las frutas y desarrollo de algunas alteraciones fisiológicas.

Los efectos del etileno en la evolución del color pueden ser observados a concentraciones muy bajas: el etileno exógeno promueve su propia síntesis endógena y es activo en concentraciones muy pequeñas (0,1 a 1 ppm).

Factores precosecha

Además de los propios procesos fisiológicos involucrados en la maduración y senescencia de un producto hortofrutícola, el comportamiento poscosecha del mismo estará determinado por la influencia de factores precosecha.

Son numerosos los factores precosecha que pueden influir en el comportamiento del fruto una vez recolectado; entre los principales podemos citar:

- Genéticos (patrón, especie y variedad)
- Prácticas culturales
- Factores climáticos y ambientales
- Aspectos fitosanitarios

Dentro de cada especie de fruta hay un rango de variación genotípica en el potencial de la composición, calidad y vida poscosecha. Existen muchas posibilidades para utilizar el mejoramiento vegetal y métodos de la biotecnología para desarrollar nuevas variedades que tengan buen sabor y calidad nutricional, o para introducir resistencia a desórdenes fisiológicos y/o agentes patógenos causantes de enfermedades que nos permitan reducir el uso de productos fungicidas.

Debería realizarse un buen análisis de costo-beneficio (incluidas las cuestiones de aceptación por el consumidor) para determinar las prioridades en los programas de mejora genética. En algunos casos, aumentar el consumo de ciertas variedades con un alto valor nutritivo y sabor, puede ser más eficaz y menos costoso que la utilización de técnicas de mejoramiento genético para la obtención de variedades nuevas con altos contenidos en fitonutrientes²⁰.

Los efectos de las condiciones climáticas y prácticas culturales antes de la cosecha sobre la calidad poscosecha de frutas tropicales y subtropicales, han sido revisados por varios autores²¹⁻²⁴. En general, la menor intensidad de la luz durante el crecimiento conduce a un menor contenido de ácido ascórbico y azúcares en estos frutos. La temperatura influye en la absorción y el metabolismo de los nutrientes minerales por las plantas. El estrés hídrico severo aumenta las quemaduras solares. El estrés hídrico moderado reduce el tamaño del fruto y aumenta el contenido de los sólidos solubles, acidez y ácido ascór-

bico. Por otro lado, el suministro de agua en exceso a las plantas resulta en el agrietamiento de los frutos. La excesiva turgencia aumenta la susceptibilidad al daño físico, reduce la firmeza, retrasa la madurez y reduce el contenido de sólidos solubles.

El tipo de suelo, el patrón, el acolchado, riego y fertilización influyen en el suministro de agua y nutrientes a la planta. El alto contenido de calcio en las frutas se ha relacionado con una mayor vida poscosecha como consecuencia de una mayor firmeza de los tejidos²³. El alto contenido de nitrógeno a menudo se asocia con una menor vida poscosecha de frutas^{21, 22}.

Existen numerosos trastornos fisiológicos asociados con deficiencias de minerales. Por ejemplo, la mancha roja de los limones está asociada con la deficiencia de calcio en estos frutos. La deficiencia de boro resulta en abultamientos en la cáscara de los cítricos. El exceso de sodio y/o cloruro (debido a la salinidad) se traduce en una reducción del tamaño de la fruta y mayor contenido de sólidos solubles.

Las prácticas culturales como la poda y el raleo determinan la producción de los cultivos y el tamaño del fruto, lo que puede influir en la composición nutricional de la fruta.

El uso de plaguicidas y reguladores del crecimiento no influyen directamente en la composición de la fruta, pero indirectamente pueden retrasar o adelantar la maduración de los mismos²⁵.

El método de recolección puede determinar el grado de variabilidad en la madurez y las lesiones físicas y, en consecuencia, influye en la composición y calidad de los frutos. Los daños mecánicos (abrasiones, rozaduras superficiales, cortes, entre otros) pueden acelerar la pérdida de agua, y aumentar la susceptibilidad a los patógenos que causan las enfermedades. La incidencia y gravedad de estas lesiones están influenciadas por el método de cosecha (manual frente a mecánica) y la gestión de las operaciones de recolección y manejo.

Calidad de los frutos

La calidad de los frutos se define como el conjunto de propiedades inherentes a un producto que permite distinguir entre unos y otros frutos, que además tiene importancia en la determinación del grado de aceptación por el consumidor e implica una combinación de características, propiedades y atributos que le darían al producto un valor como alimento y mercancía²⁶.

Como regla general, los mercados exigen determinados índices de calidad para los frutos cítricos con destino al consumo en fresco y a la transformación industrial, producidos en diferentes regiones del mundo, regulados en diversos documentos legales. Estos índices son necesarios para evitar la recolección de frutos no aptos y la llegada de estos al mercado con un nivel de calidad no aceptado por el consumidor²⁷, así como para evitar los cambios en olor y sabor del zumo o su contaminación microbiológica²⁸ cuando se destinan al procesamiento industrial.

La apariencia (intensidad y uniformidad de color; tamaño; forma; firmeza; ausencia de pudriciones; y ausencia de defectos, incluyendo el daño por frío o por congelación, daño de insectos y cicatrices), el sabor (relación de azúcares y ácidos y ausencia de sabores desagradables), el valor nutritivo (principalmente vitamina C) son considerados atributos que definen la calidad de los cítricos²⁹.

Lo más importante de cualquier centro de acopio, comercializadora o exportadora debe ser la CALIDAD, dado que el futuro de la misma dependerá de su capacidad y habilidad para ofrecer productos y frutos de la más alta CALIDAD posible.

La calidad, en su sentido más amplio, se puede considerar como un compendio de calidades:

- Calidad organoléptica: se refiere al contenido en zumo, aroma, sabor, tamaño, textura, color, entre otros.
- Calidad microbiológica: se refiere a la ausencia, tanto interna como externa, de hongos, bacterias y virus.
- Calidad nutritiva: es la cantidad de vitaminas, cantidad de proteínas, etc.
- Calidad comercial: está basada en la producción, empaquetado, conservación, transporte y distribución; es decir, todas aquellas operaciones realizadas con los frutos durante los procesos mencionados.

La calidad afecta a una empresa de cuatro maneras:

1. Costos y participación en el mercado

Una calidad mejorada puede conducir a una mayor participación en el mercado y a ahorro en el costo. Se ha demostrado que las comercializadoras con más alta calidad son las más rentables y productivas. Cuando se consideran los costos, se ha determinado que estos son mínimos cuando el 100% de la fruta producida se encuentra en perfectas condiciones, libre de patógenos y defectos.

2. La reputación de la comercializadora

Una comercializadora que desarrolla una baja calidad tiene que trabajar el doble para desprenderse de esta imagen, cuando llega la disyuntiva de mejorar.

3. Responsabilidad del producto

Las comercializadoras que ofrecen productos defectuosos o con residuos perjudiciales para el consumidor o el medioambiente pueden ser responsabilizadas por los daños o lesiones que resulten de su consumo.

4. Implicaciones internacionales

La CALIDAD es un asunto internacional en caso de exportación de los frutos. Para una comercializadora, sus productos deben cumplir con las expectativas de CALIDAD y precio. Los productos de baja calidad dañan la reputación de la misma, tanto en el mercado interno como en el extranjero³⁰.

Muchos países tienen reguladas las características mínimas exigidas para la comercialización de frutas y hortalizas. En el caso de los frutos cítricos existen Normas y Reglamentos de calidad específicos que regulan su comercialización en función de una serie de parámetros que determinan la calidad de los frutos.

Parámetros de calidad en frutos cítricos

La calidad de los frutos cítricos puede ser evaluada a través de una serie de parámetros, recogidos directa o indirectamente en las diferentes normas y reglamentos de calidad.

Los parámetros de calidad más importantes en los frutos cítricos son los siguientes:

Externos

- Calibre (tamaño y peso o volumen)
- Color de la piel
- Firmeza

Internos

- Contenido en zumo
- Sólidos solubles totales (SST)
- Acidez total (AT)
- Contenido en ácido L-ascórbico (Vitamina C)

- Contenido en volátiles del zumo (etanol y acetaldehído)

Otros parámetros

- Espesor de la piel
- Número de semillas

La fruta se clasifica en calibres en función del tamaño, peso o volumen, los cuales varían de acuerdo con las normas de cada país, y la especie y cultivar.

El peso y volumen de un fruto es un parámetro básico de calidad que nos indica el grado de crecimiento del mismo.

La relación peso/volumen es un indicador de la calidad interna del fruto, como jugosidad o sequedad.

El color externo de los frutos cítricos es también un importante parámetro de calidad contemplado en la mayoría de normas y reglamentos internacionales, aunque su medición resulta a menudo complicada. Puede realizarse de manera subjetiva a través de comparación con cartas de color o de forma objetiva mediante medidas instrumentales.

Los métodos instrumentales de medida de color de superficies por reflexión permiten, mediante una serie de normalizaciones definidas por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), la identificación de un color determinado. Se utilizan colorímetros triestímulo para la determinación de las coordenadas básicas X Y Z, definidos en función de un determinado iluminante y para un observador estándar. Estas coordenadas no son por sí mismas suficientes para definir la apariencia de color de un determinado objeto, ya que de los tres parámetros solamente Y, que indica la luminosidad, correlaciona con un atributo visual; sin embargo, se pueden transformar matemáticamente y a partir de ellos definir otros sistemas de coordenadas de color, que correlacionen mejor con la apreciación visual. La escala CIE deromaticidad (x, y, Y), en la que Y es la misma de la escala anterior, $x = X / X+Y+Z$ e $y = Y / X+Y+Z$, da lugar a valores más acordes con la apreciación visual; sin embargo, tiene aun el inconveniente de que no es uniforme en cuanto al espaciamiento de colores, por lo que la magnitud de las diferencias de color así obtenidas no se corresponden con las diferencias captadas por el ojo humano. Es por ello que se han propuesto otros sistemas, definidos también a partir de las coordenadas básicas X Y Z, pero basados en que el color se aprecia por sensaciones de colores opuestos: blanco-negro, rojo-verde y amarillo-azul. Los dos sistemas definidos de esta forma son: el CIELAB que utiliza las coordenadas L^* , a^* , b^*

y el Hunter Lab cuyas coordenadas son L, a, b. (**figura 2**). De ellos, el último es el más comúnmente utilizado para las determinaciones de color en frutos y hortalizas. En la actualidad los distintos modelos de colorímetros triestímulo que existen en el mercado permiten la lectura directa de estos parámetros (L, a, b) de forma objetiva y, por tanto, asignar a cada color una posición determinada en el sistema espacial de ejes, definida por ellos (**figura 3**). A partir de estas ternas de valores se pueden establecer relaciones matemáticas que permitan asignar a cada uno de ellos un valor numérico único (Índice de Color), que sufra modificaciones aumentando o disminuyendo de forma gradual e uniforme, a medida que evoluciona el color medido dentro de un intervalo y para una gama de colores determinada. Los índices de color más comúnmente utilizados para los frutos en general son: el cociente a/b , el definido como el arco cuya tangente es b/a y el denominado Chroma que se define como raíz cuadrada de $a^2 + b^2$.

Jiménez-Cuesta et al³¹, tras numerosos estudios y experiencias sobre la evolución del color en la piel de mandarinas y naranjas, propusieron como índice de color para cítricos la relación matemática $1000 \cdot a / L \cdot b$ (siendo L, a y b parámetros de HunterLab), que da una muy buena correlación con la apreciación visual, en el intervalo de colores comprendido entre el verde oscuro y el naranja intenso como puede apreciarse en la **figura 4**.

La medición del color mediante medidas instrumentales resulta, sin embargo, complicada fuera del campo de la investigación, no sólo por su elevado coste, sino también por una serie de consideraciones de orden práctico, como son: su fragilidad, la necesidad de que su utilización quede restringida a personal con un mínimo grado de especialización y, sobre todo, a que la determinación de color con el mismo requiere la realización de múltiples medidas en cada fruto y en un número elevado de frutos, lo que supone un consumo elevado de tiempo que, frecuentemente, resulta incompatible con las actividades de la recolección o de la manipulación en una central cítrica. Por ello, el IVIA (Instituto Valenciano de Investigación Agraria, España) desarrolló y patentó un sistema de medición de color visual, consistente en 12 láminas unidas de manera que pueden abrirse en forma de abanico, cada una de las cuales corresponde visualmente a un determinado valor de índice de color dentro de la gama de los que va adquiriendo la piel del fruto durante su evolución (**figura 5**).

La escala de color publicada está concebida fundamentalmente para mandarinas, que son los cítricos que en mayor porcentaje se someten a desver-

dización; sin embargo, puede ser utilizada también para naranjas teniendo en cuenta que en ellas no se dan normalmente las coloraciones naranja más intensas o rojizas. La medición de color en limones y pomelos blancos y rojos requeriría la confección de nuevas cartas de color con láminas específicas.

Esta escala de color puede ser un elemento útil de trabajo para productores, técnicos de centrales citrícolas, empresas de asesoramiento de poscosecha e inspectores. Se ha comprobado también que los calibradores electrónicos por color, que se utilizan actualmente en los almacenes de cítricos, pueden programarse con ayuda de esta escala y separar al menos cuatro grupos de color³².

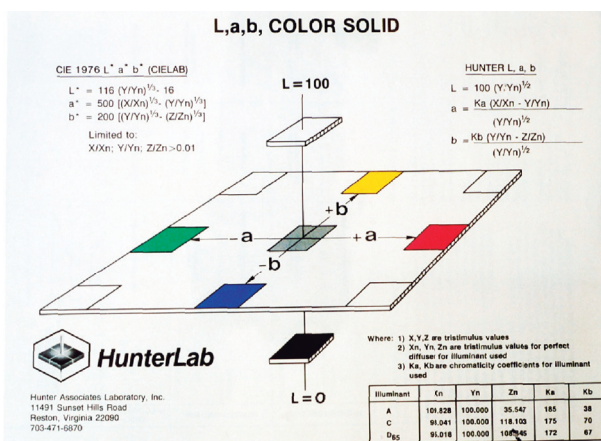


Figura 2. Esquema de coordenadas L, a, b. definidas por el sistema Hunterlab.



Figura 3. Colorímetro triestímulo Minolta.

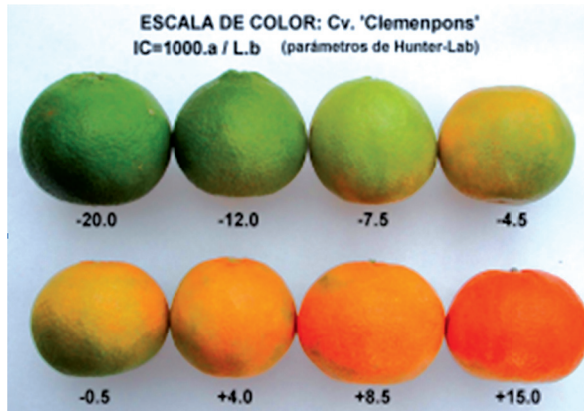


Figura 4. Índice de color ($IC = 1000 \cdot a / L \cdot b$) que proporciona muy buena correlación con la apreciación visual del color de los cítricos, en el intervalo de colores comprendido entre el verde oscuro y el naranja intenso.



Figura 5. Escala de color visual para mandarinas y naranjas patentada por el IVIA (Valencia, España).

La firmeza es otro de los parámetros a tener en cuenta en el momento de cosecha, ya que durante el posterior almacenamiento y comercialización se va a producir un progresivo ablandamiento (pérdida de firmeza) de los frutos con la consecuente pérdida de calidad. Este parámetro está relacionado con las propiedades mecánicas, y puede ser medido en términos de resistencia a la penetración o punción, compresión, deslizamiento, impacto y propiedades de sonido de la corteza.

La medición de la firmeza puede realizarse objetivamente con un durómetro o texturómetro (**figura 6**). Cuando se utilizan este tipo de equipos para medir firmeza, es necesaria la siguiente información: tipo de instrumento utilizado, las dimensiones y la geometría de la sonda, distancia de penetración, y la tasa de carga (velocidad). La carga y el tiempo deben ser estandarizados para varios tipos de frutas cítricas.

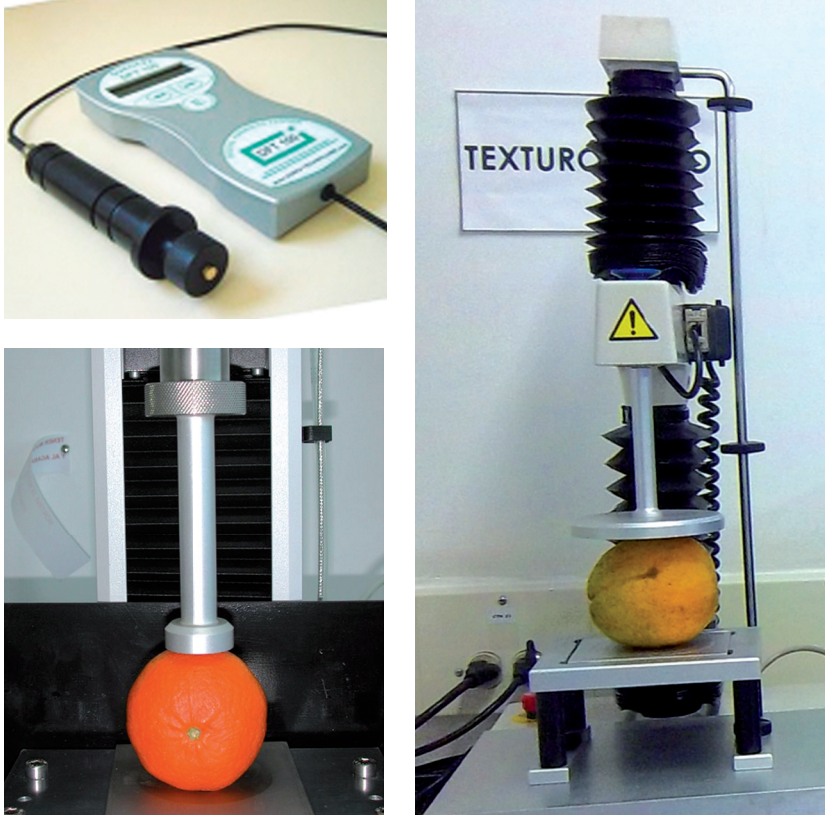


Figura 6. Durómetro digital y texturómetro.

(Fuente: Agro-technologies y personal)

El sistema de análisis Instron o el sistema de Micro-Stable son sistemas controlados por software muy avanzados que son operados por computadores y cuyo empleo generalmente queda restringido al campo de la investigación y la experimentación, que generalmente no se emplean. El sistema puede mostrar la velocidad de la sonda / émbolo, la fuerza medida y la dis-

tancia. Estos sistemas tienen diferentes células de carga de diferentes pesos (5, 10 y 25 Kg) y durante una prueba de penetración un émbolo de 5-6 mm de diámetro viaja por el tejido de la fruta a cierta velocidad (1 mm, por ejemplo) y a una cierta distancia. En este caso, para el cálculo de la firmeza se utiliza, como valor la fuerza máxima necesaria para perforar la cáscara, el pico de la primera fuerza de la punción, ya que la parte interior es muy suave, hecha de sacos de zumo.

Otro indicador de la firmeza puede ser la fuerza de compresión. Por ejemplo, un plato de 65 mm diámetro se pone en contacto con una naranja a una velocidad 1 mm / s para comprimir una fruta por 10 mm desde el punto de contacto. Se puede utilizar una célula de carga de 5000 N. La firmeza se expresa como la fuerza requerida para comprimir el fruto en una distancia de 10 mm. Valores de fuerza más altos indican una mayor firmeza³³. También se puede medir la compresión en términos de porcentaje de deformación con respecto al diámetro ecuatorial del fruto, calculando la distancia máxima alcanzada en el fruto, aplicando una fuerza constante de 10 N a una velocidad de 5 mm/min por ejemplo, en el diámetro ecuatorial del fruto^{34, 35}.

El contenido en zumo es el porcentaje de zumo expresado en volumen (mL) respecto del peso total de los frutos. Es extraído por métodos mecánicos (prensa manual) o eléctricos y filtrado. Los frutos cítricos son valorados por su contenido de zumo. El contenido de zumo disminuye con el avance de la maduración y el período de almacenamiento. El estado de maduración y la calidad de la lima, el limón y el pomelo se basan también en la cantidad de zumo de los frutos, además del contenido de sólidos solubles.

Los sólidos solubles totales (SST) de los zumos de naranja dulce, mandarina, pomelo y toronja se constituyen principalmente de azúcares (80-85%). El ácido cítrico y otros ácidos y sus sales, compuestos de nitrógeno y otras sustancias solubles, tales como las vitaminas solubles en agua constituyen la composición restante de los SST. Los °Brix de los zumos de cítricos indican todos los sólidos solubles existentes en el zumo; no son solamente una medida de azúcares. La técnica más común de medición de este parámetro se basa en la refractometría, y requiere el empleo de instrumentos relativamente económicos (**figura 7**). El refractómetro digital de bolso es muy práctico, y permite una rápida y exacta medición. Se puede usar el procedimiento descrito en la NORMA PNTP 011.023/200636, y los resultados se expresan en °Brix.



Figura 7. Refractómetro manual y digital para medición de sólidos solubles.

El ácido cítrico es el ácido más predominante en los frutos cítricos (80-95%). En limas, limones y otros frutos cítricos ácidos, el ácido cítrico constituye la mayor parte de los SST, dado que el contenido en azúcares es muy bajo. La acidez total se puede determinar mediante valoración volumétrica usando fenolftaleína como indicador o titulación hasta pH 8,2 y se expresa en % o mg ácido cítrico anhidro / 100 mL zumo³⁶; en la actualidad existen equipos de laboratorio capaces de determinar de forma automática la acidez de una muestra (**figura 8**).

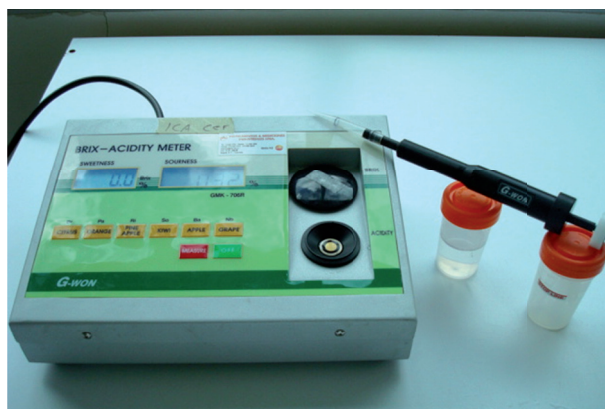


Figura 8. Equipos digitales para determinación automática de acidez en frutos.

El sabor de algunos frutos cítricos viene determinado por su proporción de azúcares y ácidos. Ya que los sólidos solubles en la mayoría de las naranjas, mandarinas y pomelos están constituidos por azúcares, la relación entre los

sólidos solubles en ácido se utiliza por conveniencia (SST/AT). Este índice de madurez (IM) se utiliza generalmente para determinar la madurez mínima requerida en naranjas, mandarinas, toronjas, pomelos, y sus híbridos para consumo en fresco. En el caso de limas y limones, la relación SST/AT no se utiliza como criterio de madurez. El índice de madurez mínimo exigido por las normativas de cada país para la comercialización de cítricos en fresco varía en función de la especie y variedad.

El ácido ascórbico (vitamina C) se puede determinar por espectrofotometría usando el 2,6-diclorofenol indofenol como indicador, ya que este reduce el ácido ascórbico³⁷. La mayoría de los cítricos tienen un rango de pH de 3,0 - 3,5 y este método da resultados bastante exactos. En la actualidad la determinación de ácido ascórbico se realiza por métodos de cromatografía líquida (HPLC) que permite su cuantificación de manera muy exacta.

Aunque las diferentes normas de calidad de cítricos no hacen referencia expresa al contenido en compuestos volátiles de los frutos sí que especifican que los frutos deberán estar exentos de olores y sabores extraños.

El etanol y el acetaldehído en ciertas cantidades son componentes importantes de la evaluación de calidad de los frutos cítricos frescos, ya que pueden estar relacionados con la aparición de malos sabores³⁸. Puesto que existe una clara necesidad de desarrollo de métodos analíticos no destructivos como índices objetivos de medición de los cambios en la calidad de los frutos cítricos durante el almacenamiento, los volátiles emanados del fruto entero e intacto podrían servir como un medio no destructivo de evaluación. En este sentido la cromatografía de gases podría ser un medio eficaz de medición; sin embargo, es una tecnología dispendiosa y, por ende, de limitado acceso.

La presencia de semillas en los frutos es una característica no deseada por los consumidores, por lo que se han desarrollado muchos trabajos de mejoramiento genético en cítricos tratando de disminuir su número o, incluso, eliminar su presencia.

Es conveniente eliminar la fruta con semillas con algún método no destructivo, antes de llegar al mercado. Actualmente, se están realizando esfuerzos para desarrollar métodos no destructivos en tiempo real que se puedan integrar a una línea de empaque. La radiografía en tiempo real con sistemas de rayos X se puede utilizar para este propósito³⁹. Las semillas son detectadas como zonas grises brillantes (de baja absorción en relación con el medioambiente).

Normas de calidad de frutos cítricos

El cumplimiento de los estándares de calidad es una clara ventaja competitiva en el sector hortofrutícola que se refuerza con la obtención del correspondiente certificado de calidad. Aunque cada país por lo regular tiene sus normas, en general estas siempre tienen como referente las Normas de calidad del Codex Alimentarius, Normas de calidad de la Unión Europea, y Normas de calidad vigentes en Estados Unidos. En Colombia se aplican las Normas Técnicas Colombianas (NTC), expedidas por el Icontec.

Para cítricos, existen normas NTC para las variedades nacionales de mayor consumo: naranja ‘Valencia’, mandarinas (cv. Oneco), lima, toronja, y tangelo ‘Mineola’. Estas normas establecen los requisitos generales de calidad: frutos enteros con forma característica de la variedad, con presencia de cáliz, sanos (libres de ataques de insectos y/o enfermedades que demeriten la calidad interna del fruto), libres de humedad externa anormal producida por mal manejo en las etapas de poscosecha, exentos de cualquier olor o sabor extraños (provenientes de otros productos, empaque o recipiente y/o agroquímicos, con los cuales haya estado en contacto), aspecto fresco y consistencia firme, exentos de materiales extraños (tierra, polvo de agroquímicos y cuerpos extraños) visibles en el producto o su empaque. El contenido de cada unidad de empaque debe ser homogéneo y estar compuesto únicamente por frutos del mismo origen, variedad, categoría, color y calibre.

En general, las normas estadounidenses son muy específicas en cuanto al tamaño y calibre de las frutas, y tienen el nivel de tolerancia más bajo de todos los mercados internacionales, lo que se explica, en parte, por el interés de ofrecer productos de calidad a los consumidores y por la necesidad de proteger la producción interna frente a los bienes que podrían ser económicamente más competitivos. Además, para muchos productos se especifican las características de daño, daño serio, daño muy serio.

Las normas en general, resumen los siguientes aspectos:

- Requisitos mínimos de calidad.
- Clasificación.
- Calibre.
- Empaque y rotulado.

Se pueden consultar o adquirir las diferentes normas en las siguientes fuentes:

- Normas del Codex Alimentarius: http://www.codexalimentarius.net/web/index_es.jsp

- <http://www.europa.eu.int/eur-lex/es>;
- Normas Técnicas Colombianas NTC: <http://www.icontec.org.co/homemember.asp>
- Normas de calidad para productos agrícolas expedidas en Estados Unidos: <http://www.ams.usda.gov/standards>
- Legislación vigente en la Unión Europea:

En la **tabla 2** se presenta un resumen de las normas de calidad internacionales y nacionales encontradas, que definen los requisitos o parámetros mínimos de calidad para la comercialización de frutos cítricos en fresco.

Tabla 2. Parámetros mínimos de calidad para la comercialización de frutos cítricos en fresco de acuerdo con diferentes normas.

Norma	Especie / Cultivar	Calibre (mm)	Zumo	SST (°Brix)	AT (% ác cítrico)	IM	Color
Europa (UE N° 543/2011 Anexo A; UNECE STANDARD FFV-14)	Limones Verdelli y Primofiore	45 - 90	20				color típico variedad (CTV)
	Otros limones	45 - 90	25				CTV
	Limas	42 - 67	42				2/3 de la superficie del fruto (CTV)
	Mandarinas, excluidas clementinas	45 - >78	33			7,5	1/3 de la superficie del fruto (CTV)
	Clementinas	35 - >78	40			7	+3 - +6* ¹ o 1/3 de la superficie del fruto (CTV)
	Naranjas sanguinas	53 - 110	30			6,5	
	Grupo Navel	53 - 110	33			6,5	
	Otras naranjas	53 - 110	35			6,5	CTV
	Satsumas	45 - >78	33			6,5	+1 - +3* ¹
	<i>Citrus grandis</i> y híbridos (Pomelo)	70 - >139	33		9 (Oroblanco)		CTV
	<i>Citrus paradisi</i> y híbridos (Toronja)	100 - >170			8		2/3 de la superficie del fruto (CTV)

Peru (PNTTP 011.023/2006)	Mandarinas y híbridos	45 - >78	35	9,0	0,75 - 1,5	7,0 - 8,5 ²	
	Tangelos (<i>C. reticulata x C. paradisi</i>)	55 - >90	45			6,0	-13 ¹ (min para desverdizar)
	Naranjas	58 - >87	33			7,0	
	Toronjas	83 - 120	40			5,5	
EE. UU. (CODEX STAN 245-2004)	Naranjas sanguinas		30				CTV
	Grupo Navel		33				CTV
	Otras variedades	53 - 110	35				CTV
	Otras variedades		45				con mas 1/5 color verde
EE. UU. (CODEX STAN 219-1999)	<i>Citrus grandis</i>	110 - >170		8			2/3 de la super- ficie del fruto (CTV)
	<i>Citrus paradisi</i>	70 - >139	35				CTV
	Lima-Limón	42 - 67	42				2/3 de la super- ficie del fruto (CTV)
	Lima Mexicana	25 - >45	40				2/3 de la super- ficie del fruto (CTV)
	Limas		42				2/3 de la super- ficie del fruto (CTV)
Colombia (NTC 4086)	Naranjas	61 - >93	40	8,0 - 10,9 ³	2,2 - 1,2 ³	3,5 - 11,8 ³	0 - 6 ³ (índice visual)
Colombia (NTC 1330)	Mandarinas (<i>C. nobilis</i>)	40 - >86					CTV
Colombia (NTC 4087)	Lima	38 - >68					
Colombia (NTC 1272)	Toronja	70 - 139					
Colombia (NTC 4085)	Tangelo Mineola	54 - >96	45	9,1 - 11,1 ³	1,5 - 0,9 ³	6,1 - 15,9 ³	0 - 6 ³ (índice visual)
Rangos encontra- dos en Tâmesis, Suroeste Antioqueño	Clementina	59,2 - 60,9	41,4 - 42,8	10,4 - 10,8	0,81 - 0,79	13,0 - 13,7	+3 - +6 ¹

* ORDEN de 4 de septiembre de 2006, de la Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación de la Comunidad Valenciana de España, por la que se especifican las condiciones mínimas de calidad para la comercialización de frutos cítricos en fresco. [2006/10409].

¹ Índice de color (IC): Coloración del fruto, que se calcula empleando los parámetros de Hunter (L, a, b) mediante la fórmula: IC=1000*a / L*b en donde "L" mide la luminosidad, "a" la variación del verde al rojo y "b", la variación del azul al amarillo.

² Depende de la especie/cultivar: incluye Satsuma (7.0), Clementina (7.5), Dancy (7.0), Nova (8.0), Fortuna (6.0), Murcott (8.5), Otros (7.0).

³ Depende del piso térmico (piso 1 < 700msnm y piso 2 > 900msnm).

En Colombia, no existe aún norma o reporte técnico donde se establezcan las especificaciones técnicas para la cosecha de especies de cítricos cultivadas actualmente en el país, diferentes de las mencionadas en la tabla anterior, entre ellas, mandarina ‘Clementina’.

En los países subtropicales solo se obtiene una cosecha estacional, y está generalizado el uso del índice de color mencionado en el apartado 3.1, como indicador del momento óptimo de cosecha.

La Universidad de Antioquia y Corpoica, con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, ha realizado numerosas experiencias con el objetivo de determinar las especificaciones técnicas para mandarina ‘Clementina’ en Colombia, y al mismo tiempo evaluar si cumplen con las especificaciones internacionales.

Así, en la Hacienda La Cristalina, situada en Támesis en el Suroeste Antioqueño, se realizaron varias cosechas de mandarina ‘Clementina’ entre los años 2008 y 2009, realizando cosechas totales de cinco árboles aleatorios (aprox. 500 frutos). En la **figura 9** se muestra un histograma de distribución del color de frutos de mandarina ‘Clementina’ durante la cosecha de diciembre de 2008 en La Cristalina, de acuerdo con la escala de colores del IVIA³⁶; realizándose una correspondencia para cada uno de los índices de color de la tabla con un intervalo de color. En la figura se evidencia que el mayor porcentaje de frutos presenta un IC entre -15 y +2, un color verdoso o pintón.

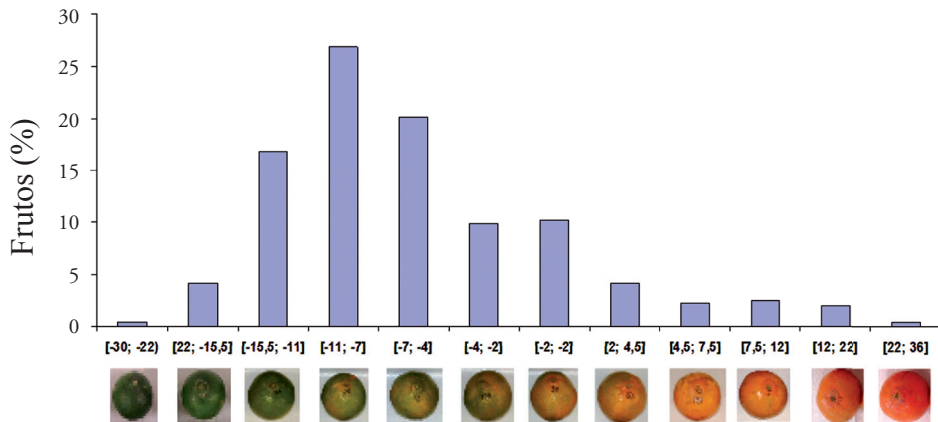


Figura 9. Histograma de frecuencias de distribución del color de mandarina ‘Clementina’ durante la cosecha diciembre 2008 en el suroeste antioqueño, de acuerdo con la escala de color del IVIA.

Los resultados encontrados están de acuerdo con los obtenidos por Goldschmidt⁴⁰, según el cual en las regiones tropicales, donde las temperaturas permanecen altas todo el año, los niveles de clorofila en el fruto permanecen elevados en la corteza de los mismos; por tanto, la fruta permanece de color verde, y no alcanza nunca el color naranja intenso típico de los países subtropicales.

En la **tabla 3** se muestran los parámetros de calidad registrados para cada intervalo de color de la piel correspondiente a cada uno de los índices de color de la tabla IVIA para mandarinas³⁶. No se observó ninguna tendencia en el contenido de ácido ascórbico, y se mantuvieron los valores entre 23.0 y 28.5 mg/100 mL, a través de los grados de madurez.

Cabe destacar que, de acuerdo con los resultados, la fruta se conserva bien en el árbol, pero pasado un tiempo se produce pérdida de zumo aunque se mantenga bien la corteza, lo cual provoca una retracción en la fruta que genera el bufado de la misma. Según Reuther⁴¹, cuando el fruto no es recolectado en su momento óptimo, este inicia un proceso de senescencia en el cual va perdiendo calidad progresivamente. Este deterioro es más rápido en las regiones tropicales debido a las altas temperaturas, lo que ocasiona mayores tasas metabólicas (respiración), y por consiguiente, un descenso rápido de la acidez, lo que produce fruta con zumo insípido.

Tal como ha sido reportado por varios autores, el contenido total de compuestos fenólicos disminuye con el avance de la maduración⁴², debido al agotamiento de las reservas antioxidantes como consecuencia del aumento del estrés oxidativo o a un mecanismo regulador en la fruta para aumentar su palatabilidad⁴³.

De acuerdo con los libros de registro para mandarina 'Clementina' de la hacienda La Cristalina (Támesis), el IM a cosecha promedio en el año 2008 fue de $17,3 \pm 2,06$ (datos no mostrados). Relacionando este índice con los datos de la **tabla 3**, podemos ver que este se corresponde con frutos en un estado de madurez muy avanzado, y por lo tanto, frutos menos resistentes a todo el proceso de poscosecha, menor vida útil y, además, menor contenido de compuestos fenólicos, o sea, un fruto menos saludable.

En Colombia, concretamente en Antioquia, la cadena de comercialización que maneja la empresa Agrícolas Unidas afortunadamente es corta: los frutos rápidamente son comercializados por la Central Mayorista o las grandes superficies en Medellín, por lo que las pérdidas por calidad no son tan elevadas como sería de esperar debido a la senescencia del fruto. Sin embargo, se debe tener en cuenta que

Tabla 3. Relación entre índice de color y parámetros de calidad para mandarina 'Clementina' con diferentes grados de madurez, en el suroeste antioqueño.

Tabla Color IVIA ¹	Intervalo de Índices de color ²	IC (1000*a/L*b) ³	Acidez (g.ác. cítrico/100mL)	SST (°Brix)	IM (SST/acidez)	Zumo (%)	Diámetro (mm)	AA (mg/100mL)	PT (mg GAE/100mL)
-26	[-30;-22]	-22,9 a*	2,58 d	8,4 a	3,3 a	33,1 a	37,4 a	ND	103,9 b
-18	[-22;-15,5]	-19,8 b	2,54 d	8,4 a	3,3 a	36,7 b	39,2 a	27,3 de	81,9 a
-13	[-15,5;-11]	-12,8 c	0,92 c	9,5 b	10,3 b	44,8 ^{ef}	57,3 b	24,2 abc	81,4 a
-9	[-11;-7]	-8,9 d	0,87 bc	9,7 b	11,1 bc	44,2 ^{def}	60,8 d	23,0 a	77,4 a
-5	[-7;-4]	-5,4 e	0,84 bc	9,8 bc	11,8 cd	44,9 f	58,2 bc	28,1 e	78,2 a
-3	[-4;-2]	-3,0 f	0,81 bc	10,2 d	12,7 de	44,9 f	58,3 bc	24,7 abcd	80,8 a
1	[-2;-2]	-0,4 g	0,80 bc	10,1 ^{cd}	12,6 de	42,3 ^{def}	59,2 cd	25,8 bcde	80,9 a
3	[2;4,5]	3,3 h	0,81 bc	10,4 ^{de}	13,0 ef	41,4 ^{cde}	59,2 bcd	26,0 bcde	78,0 a
6	[4,5;7,5]	5,9 i	0,79 bc	10,8 ef	13,7 ef	42,8 ^{def}	60,9 cd	27,5 de	80,2 a
9	[7,5;12]	10,0 j	0,76 ab	10,9 f	14,3 f	40,5 ^{bcd}	60,7 cd	26,7 cde	83,3 a
15	[12;22]	18,1 l	0,63 a	10,9 f	17,4 g	37,6 b	60,3 d	23,5 ab	78,1 a
29	[22;36]	25,0 m	0,62 a	10,6 ef	17,1 g	38,3 ^{bc}	60,9 d	ND	74,5 a

¹ Índices de color de la tabla de color IVIA (Instituto Valenciano de Investigación Agraria, España) para mandarinas (PNTP 011.023/2006), determinados por la fórmula IC = 1000 * a \ L * b.

² Intervalos de color correspondientes a cada uno de los índices de color presentes en la tabla de color IVIA (PNTP 011.023/2006).

³ Índices de color determinados en los frutos con un colorímetro por reflexión y calculado como IC = 1000 * a \ L * b.

* Valores seguidos de la misma letra en cada columna no difieren significativamente de acuerdo al test LSD (p < 0.05).

ND: no determinado.

AA: Ácido Ascórbico; PT: Polifenoles Totales; GAE: Equivalentes en Ácido Gálico

en el caso de que en un futuro sea necesario manejar una ruta de comercio más larga o incluso en el caso de exportación, que implica largos períodos de transporte marítimo por frío y luego períodos de transporte terrestre y comercialización, los frutos se deberían recolectar en un estado de madurez menos avanzado.

Por otro lado, dada la tendencia actual de los consumidores por frutos saludables, se debería considerar una recolección más temprana bajo el lema de propiedades funcionales (mayor contenido de antioxidantes), para beneficiar de un valor agregado al producto.

Si comparamos nuestros resultados (**tabla 3**) con los parámetros internacionales de calidad (**tabla 2**), la mandarina 'Clementina' cultivada en el suroeste antioqueño puede cumplir satisfactoriamente con estos, y con IM inferiores a los que se viene manejando actualmente. Sin embargo, hay que considerar el calibre de los frutos porque, independientemente del IM del fruto, estamos en calibre 2 de acuerdo con la norma Europea, parámetro que puede mejorarse con la aplicación de reguladores de crecimiento, y otras técnicas.

Manipulación poscosecha

La manipulación poscosecha de frutas y hortalizas tiene como objetivo conservar las cualidades de los productos desde que son cosechados hasta que llegan al consumidor, garantizando la calidad organoléptica y microbiológica, mejorando la apariencia externa, y aplicando siempre las normas y recomendaciones vigentes en cada país.

El manejo poscosecha de frutos cítricos para consumo en fresco puede esquematizarse según el siguiente diagrama general de operaciones (**figura 10**)

Recolección

La recolección debe efectuarse cuando el índice de madurez (SST/AT), el contenido en zumo y el calibre alcancen los valores mínimos exigidos por las normativas de cada país. Debe hacerse en ausencia de rocío o niebla y con alicates o tijeras para evitar el tirón, ya que pueden producirse desprendimientos de piel que inviabilizan la comercialización de los frutos. Los envases utilizados son cazos plásticos de 18 Kg y cajas plásticas de 20 Kg. Es deseable usar protecciones de goma espuma (**figura 11**) y hacer un volcado cuidadoso para minimizar los golpes. El volcado en agua es un procedimiento mucho más suave y que también sirve para el transporte. Una vez colocados los frutos en los envases definitivos se cargan en camiones ventilados, e inmediatamente se deben trasladar al almacén.

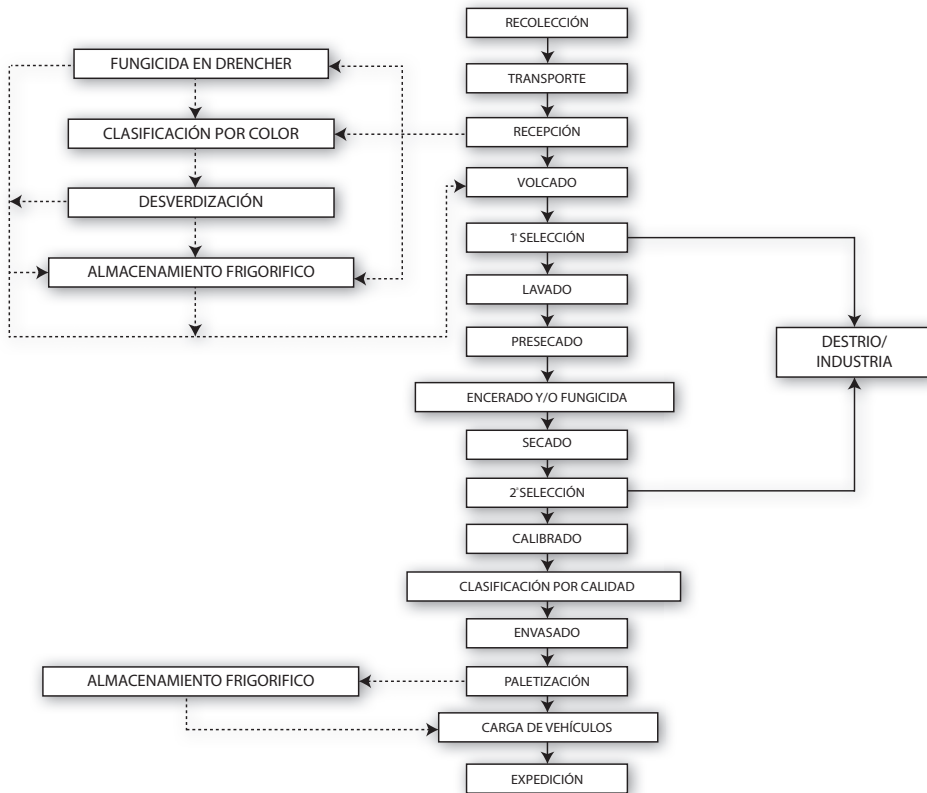


Figura 10. Diagrama de flujo general de manipulación de cítricos. Los trazos discontinuos indican vías opcionales de procesamiento.



Figura 11. Protección de los envases para recolección.

Fuente: Ferrato y otros, 2010⁷²

Confección

Como se ha mencionado en el apartado de Normativa de Calidad, los frutos deben presentarse al consumidor como “frutos enteros con forma característica de la variedad, con presencia de cáliz, sanos (libres de ataques de insectos y/o enfermedades que demeriten la calidad interna del fruto), libres de humedad externa anormal producida por mal manejo en las etapas de poscosecha, exentos de cualquier olor o sabor extraños (provenientes de otros productos, empaque o recipiente y/o agroquímicos, con los cuales hayan estado en contacto), aspecto fresco y consistencia firme, exentos de materiales extraños (tierra, polvo de agroquímicos y cuerpos extraños) visibles en el producto o su empaque. El contenido de cada unidad de empaque debe ser homogéneo y estar compuesto únicamente por frutos del mismo origen, variedad, categoría, color y calibre”.

Esto implica que tras la recolección los frutos deban ser sometidos a una serie de operaciones antes de su puesta en el mercado. En el caso de los cítricos, este acondicionamiento de la fruta se lleva a cabo en las centrales hortofrutícolas o empacadoras donde se dispone de líneas de confección más o menos complejas en las que se efectúan las operaciones básicas esquematizadas en el diagrama de flujo de manipulación detallado al principio de este apartado.

Las líneas de confección deben estar dimensionadas para el cómodo acceso de los operarios a las tareas de tría y selección, sin sobrecargarse y evitando saltos o cambios de altura, perjudiciales por los daños externos e internos que puedan producirse.

En algunos casos se puede hacer un tratamiento fungicida previo, antes de entrar a la línea, mediante un tratamiento en drencher (ducha con agua con fungicidas), el cual permite una optimización del uso, menor cantidad de vertidos y mayor uniformidad; o mediante la aplicación directa en la cámara de un fumígeno, que permite un tratamiento eficaz, cómodo y rápido sin generación de residuos (**figura 12**)⁴⁴. La fruta es tratada en drencher principalmente cuando se va a hacer desverdización o almacenamiento refrigerado.

La descarga de los frutos en la línea (volcado) se puede hacer en seco o en agua; en ambos casos es muy importante disponer de desaceleradores de caída para minimizar los golpes asociados a esta operación, además de contribuir a regular el flujo del producto (**figura 13**)



Figura 12. Uso de drencher y fumígenos como tratamientos previos en la línea de cítricos.

Fuente: Conesa⁴⁴



Figura 13. Volcado en seco y en agua.

Es conveniente que los rodillos en la línea de recepción tengan una estructura de soporte en ángulo que permita eliminar hojas y ramitas. En el tramo de selección la iluminación es fundamental y debe tener una intensidad mínima de 700 lux. Las cabinas de luz ultravioleta pueden utilizarse para detección precoz de podridos en períodos lluviosos.

El lavado se hace, en la mayoría de los casos, con máquina lavadora, bien sea mediante cortina de espuma o por boquillas. Se deben usar detergentes alcalinos o neutros, como dodecil benceno sulfonato sódico en concentraciones del orden del 10%, y normalmente se añade un fungicida OPP (ortofenilfenol) con un tiempo de contacto de 30-40 segundos. Los cepillos de la lavadora suelen ser de nylon y no deben girar a más de 80 r. p. m.; el tiempo de permanencia es de 20-30 segundos. En algunas variedades de piel fina, conviene reducir el número de cepillos.

En el enjuague, las boquillas que expulsan el agua deben trabajar con una presión de aproximadamente 200 Kpa, y el escurrido se debe de realizar en aros de látex (donuts) en los que la velocidad de rotación es crítica y no debe exceder de 75 r. p. m.

En la misma máquina de espuma puede efectuarse después, la aplicación de fungicidas en pulverización a baja presión. El agua de enjuague puede llevar incorporado algún desinfectante que no deje residuos en la fruta: ozono o peróxido disuelto en agua^{44, 45}.

Encerado

En la manipulación de frutos cítricos es una práctica habitual el encerado de los mismos, con la finalidad de devolver al fruto la capa de cera natural perdida en el lavado y cepillado previo, y así reducir las pérdidas de peso por transpiración. Además, las ceras proporcionan una barrera al libre intercambio de gases, aportan brillo mejorando la apariencia y proporcionan un soporte para los fungicidas y reguladores de crecimiento.

El uso de recubrimientos o ceras está regulado por entidades oficiales en los diferentes países. En EE. UU., la agencia que regula el uso de recubrimientos es la FDA (Food and Drug Administration). Este organismo aprueba los ingredientes como aditivos alimentarios directos o como “GRAS” (Generally Regarded as Safe), basado en el cumplimiento de evaluaciones muy extensas y seguras. En este país, la cera de carnauba y la resina de madera están permitidas como ingredientes no sintéticos en los revestimientos de cítricos orgánicos. En Japón, el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social publica

las normas japonesas de los aditivos alimentarios en los que se mencionan ingredientes aprobados para la preparación de recubrimientos y aditivos alimentarios. En la UE, cada país sigue sus propios reglamentos juntamente con las normas del Codex (FAO). En Colombia no existe normativa para el empleo de recubrimientos en frutas.

Los aditivos alimentarios, que pueden utilizarse para recubrimientos de frutos cítricos en la UE son: cera de abeja blanca y amarilla (E901), cera de candelilla (E902), cera de carnauba (E903), goma-laca (E904), esterres de ácido montánico (E912), cera de polietileno oxidado (E914), sucroesteres de ácidos grasos (E473), sucroglicéridos (E474) y esterres glicéridos de colofonia (E445). Como disolventes se autorizan agua, etanol y amoniaco. Como soportes y disolventes soportes, se permite el uso de lecitinas (E332), polisorbato (E432-436), sales sódicas, potásicas y cálcicas de ácidos grasos (E470a), mono y diglicéridos de ácidos grasos (E471), sorbitoles (E491, E495), ácidos grasos (E570) y dimetilpolisiloxanos (E900).

Normalmente, en cítricos se emplean emulsiones acuosas de ceras y resinas, y la composición del recubrimiento influye sobre la fisiología del fruto, modifica la permeabilidad al vapor de agua y a los gases de respiración, O_2 y CO_2 , y puede afectar en algún caso al aroma y sabor⁴⁶. Las ceras formuladas para incrementar el brillo, como las basadas en resinas de goma laca, usadas generalmente en la industria de cítricos, tienen permeabilidad relativamente baja a los gases O_2 y CO_2 , y tienden a bloquear los poros⁴⁷, lo que genera un contenido en etanol más elevado que las ceras de carnauba, candelilla y polietileno⁴⁸.

La formulación de las ceras debe permitir un adecuado intercambio gaseoso del fruto con su entorno. Además, el espesor y uniformidad de la capa de cera también es muy importante, ya que un espesor excesivo puede dar lugar a condiciones anaerobias en el interior del fruto, con la consiguiente aparición de malos sabores.

Dependiendo del destino de los frutos, la concentración de sólidos totales de las ceras varía: en comercialización directa se usa una concentración no superior al 18% y para almacenamiento en frío la concentración debe de ser más baja, máximo del 10-12%, para evitar malos sabores, dado que el período de almacenamiento es más largo.

En la línea de confección, se recomienda que el encerado se realice con boquillas que aseguren la correcta aplicación sobre la superficie del fruto y que la operación se haga sobre el menor número de cepillos posible con

una velocidad inferior a 8 r.p.m. Tras el encerado, la fruta debe secarse. Generalmente, este secado se hace en túneles a temperatura del aire entre 40-50°C, y el tiempo de permanencia en el túnel debe ser inferior a 3 min. En la actualidad se están introduciendo ceras que se secan a baja temperatura (30°C), y reducen el peligro de alteraciones en los frutos por las altas temperaturas del túnel de secado⁴⁴.

En Colombia se están llevando a cabo estudios sobre el comportamiento de diferentes ceras en función de las diferentes condiciones ambientales del país. En este sentido, en los ensayos llevados a cabo por la empresa Colombiana Tao Química S. A. S., se ha observado que para humedades relativas altas, el agua del ambiente tiende a condensarse sobre la fruta, por lo que hay que aumentar la dilución inicial de cera, disminuyendo el brillo en la fruta y el control de las pérdidas de peso. Por tanto, debería usarse la cera pura o con poca dilución y usar secadores para mejorar el tiempo de secado. En climas fríos como Bogotá, con humedades relativas entre 76 y 86% y en temporadas de alto invierno se han encontrado problemas debido a la dificultad de secado del recubrimiento de la fruta puesto que el gradiente de concentración de agua se hace muy pequeño, lo cual disminuye drásticamente la velocidad de secado. Adicionalmente, la condensación de agua sobre la fruta puede conducir a problemas de blanqueamiento. En otras regiones del país como el Valle del Cauca y suroeste antioqueño, donde se presentan humedades relativas inferiores, no se han presentado este tipo de inconvenientes y se encuentran tiempos de secado más cortos, por lo que se puede disminuir la concentración de la cera⁴⁹.

En el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá⁷³ evaluaron dos tipos de cera (comercial Johnson's y fórmula del ICTA) en la conservación de la naranja 'Valencia' a temperatura ambiente (20°C 65%HR) y refrigeración (10°C y 90% HR), y encontraron que ambas ceras prolongaron el período de vida útil en 23 y 44 días en ambiente y frigoconservación, respectivamente. Los frutos tratados con la cera ICTA no alcanzaron un cambio total de color de verde a amarillo al final del período de almacenamiento.

Por otra parte, Carvalho et al⁵⁰, de Corpoica, evaluando el efecto de una cera comercial (mezcla de resina sintética y natural con goma laca) en frutos de 'Clementina' durante 5 semanas de almacenamiento a 4°C, no observaron diferencias significativas entre la pérdida de peso de los frutos encerados (R) y los no encerados. Además, después de 3 semanas a 4°C la

pérdida de peso alcanzó valores superiores al 7%, en ambos tratamientos, límite aceptable comercialmente, por lo que la mandarina Clementina en estas condiciones solo puede ser almacenada por un período máximo de 2 semanas. La cera ensayada no controló eficientemente este parámetro (**figura 14**). Esto puede ser debido a una excesiva dilución del producto o a las características del recubrimiento utilizado. No se observó efecto significativo de la cera sobre los parámetros organolépticos ni sensoriales. La calidad general de los frutos disminuyó con el tiempo de almacenamiento (**figura 15**).

En experiencias realizadas por la empresa Colombiana Tao Química S. A. S., comparando dos formulaciones propias (mezcla de resina natural modificada con cera carnauba, 18-20% p/p), con una cera comercial importada (colofonia sin esterificar, (18-25% p/p), se ha observado un efecto significativo del encerado sobre la reducción de pérdida de peso en naranja 'Valencia' recolectada en Medellín y almacenada a temperatura ambiente durante 7 días (**figura 16**), y el efecto de sus formulaciones fue significativamente mayor el efecto de sus formulaciones con respecto al competidor nacional. No obstante, es de destacar que después de 4-5 días a temperatura ambiente ya se alcanzan pérdidas de peso superiores al 5%.

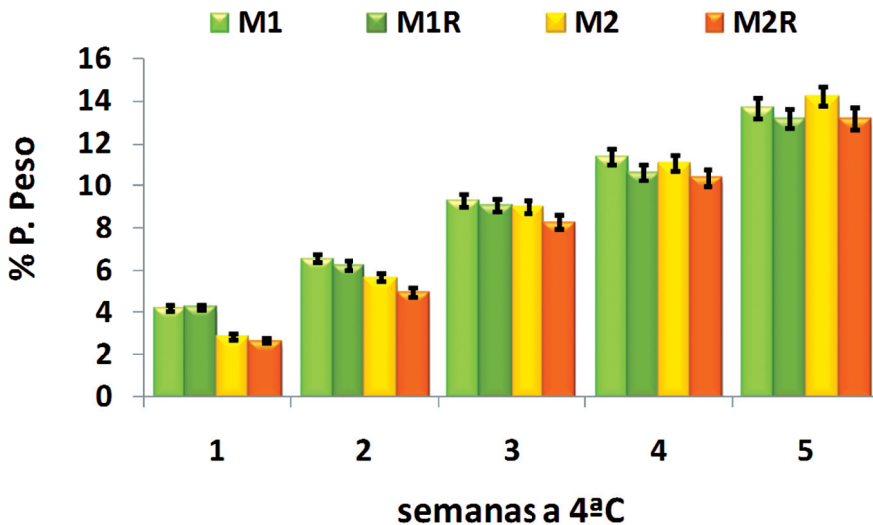


Figura 14. Pérdida de peso en frutos mandarina 'Clementina' en dos estados de madurez (M1 = IM 10; M2 = IM 13) encerados y sin encerar (M1 y 2 = sin cera; M1 y 2R = cera comercial) almacenados a 4°C durante 5 semanas.

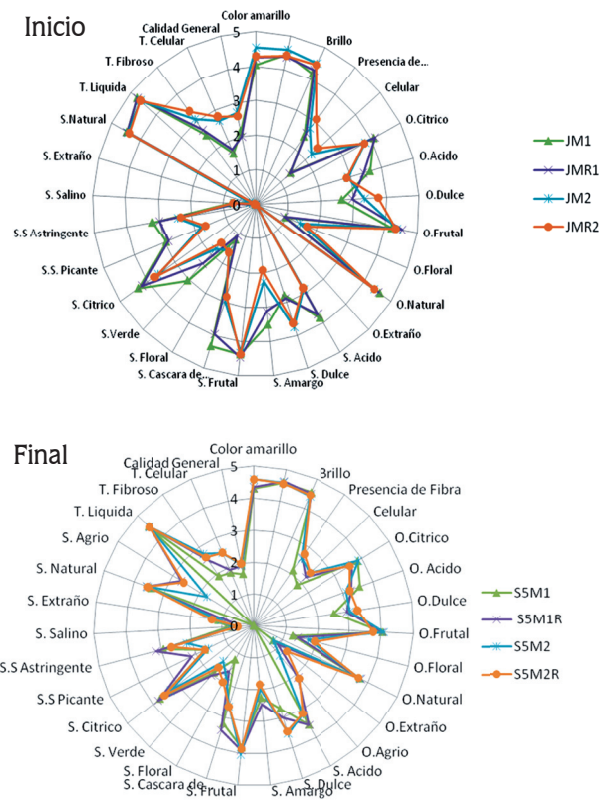


Figura 15. Análisis sensorial por aproximación multidimensional de frutos mandarina ‘Clementina’ almacenados a 4°C durante 4 semanas y 7 días a 20°C.

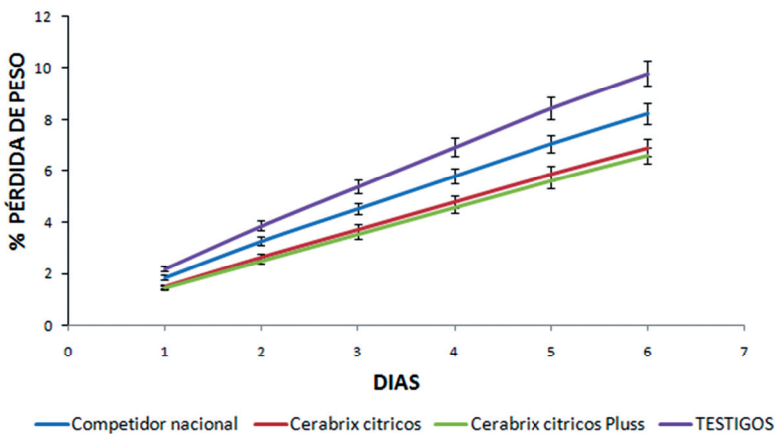


Figura 16. Pérdida de peso de frutos de naranja ‘Valencia’ encerados y sin encerar en condiciones ambientales en Medellín ($\pm 22^{\circ}\text{C}$).

También se obtuvo una reducción de pérdida de peso con el encerado (mezcla de resina natural modificada con cera carnauba, 18-20% p/p) en limón ‘Tahiti’ y mandarina ‘Oneco’ a temperatura ambiente, aunque no se observaron diferencias significativas en mandarina ‘Oneco’ respecto al testigo (**figura 17**). Para limón ‘Tahiti’ cabe destacar que entre el 3° y el 4° días ya se alcanzan pérdidas de peso superiores al 5% para Cerabrix y competidor nacional 2⁴⁹.

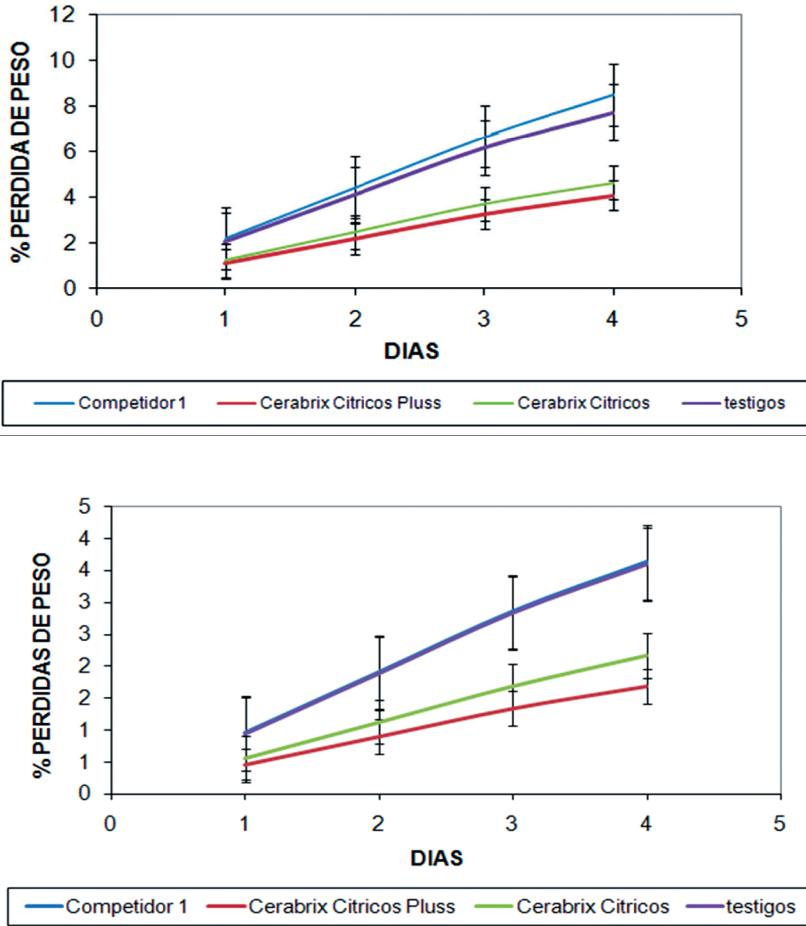


Figura 17. Pérdida de peso en frutos de limón ‘Tahiti’ y mandarina ‘Oneco’ encerados y sin encerar en condiciones ambientales en Medellín ($\pm 22^{\circ}\text{C}$).

El manejo de las ceras en Colombia y su perspectiva en los consumidores es muy diferente respecto a otros países, como por ejemplo, España. Para los productores y comercializadores de frutas locales, la importancia de un recu-

brimiento se basa principalmente en la mejora de la apariencia externa del fruto (incremento del brillo), dejando en un segundo plano las reducciones por pérdida de peso y conservación de las mismas. En otros países el aspecto del brillo no es tan importante, y por eso se aceptan brillos medios en detrimento de una buena conservación⁴⁹.

En Colombia son necesarios más estudios sobre ceras y recubrimientos en función de la especie, el cultivar, el índice de madurez, la localidad y el almacenamiento, para conseguir una mejor manipulación y calidad de producto.

El sector de cítricos ha empezado a abordar el cambio que supone la implementación de métodos de producción y manipulación de frutos que aseguren la calidad de los mismos desde el punto de vista de residuos químicos, así como de respeto al medioambiente. Es por ello que se están introduciendo ceras formuladas a base de compuestos naturales en detrimento de los compuestos sintéticos derivados del petróleo. En este sentido se están comercializando ceras con componentes totalmente comestibles (GRAS, Generally Recognize as Safe) aptas para cítricos y otros frutos como caqui, ciruela, entre otros⁵¹.

Clasificado y empacado.

Los frutos cítricos son clasificados por su tamaño (calibrado). El calibrado puede ser manual o mecánico. En el calibrado manual se suele utilizar una serie de láminas de cartón o madera agujereadas de acuerdo con los calibres estándar de mercado. El calibrado mecánico puede realizarse por rodillos basculantes en los que la fruta apenas sufre impactos. Para asegurar la medida del máximo diámetro la máquina hace rodar el fruto mientras este avanza. El calibrado electrónico representa el mayor avance de la aplicación de la tecnología: peso, diámetro, volumen o color se miden por copas de pesado en cámaras de visión artificial. Se pueden integrar programas codificados con los parámetros de color y peso, en la misma máquina.

Los calibradores no deben dañar los frutos y deben estar dimensionados para la fruta de menor tamaño, y contar con un sistema de salida fluido para obtener un rendimiento adecuado.

Una vez calibrada la fruta debe ser clasificada por aspecto externo. La clasificación admite tres categorías Extra (sin defectos), I (ligeros defectos de forma, coloración inherentes a la formación del fruto o cicatrices de origen mecánico), II (defectos de forma, coloración, corteza rugosa y alteraciones en la epidermis cicatrizadas).

Una vez finalizado el proceso de selección y clasificación, se procede al empaquetado y etiquetado en función de las exigencias y normativas del punto de venta del producto. De forma general, los empaques pueden ser de diversos materiales como la madera, el cartón, el plástico y combinaciones de ellos (**figura 18**). Son preferibles los empaques que pueden ser recuperados, reciclados o reutilizados.

Dependiendo de su grado de calidad y de las exigencias del cliente, el empaque puede ser hecho de forma manual individual, lo que supone un alto valor añadido, o puede hacerse de forma semiautomática o totalmente automática. Otro tipo de empaque, requerido normalmente por las grandes superficies, es el enmallado, que suele hacerse de forma totalmente automática en pequeñas bolsas prepesadas, que posteriormente se empaquetan en cajas de madera o cartón y facilitan su venta al consumidor de forma individualizada.



Figura 18. Envases usados para cítricos.

Por último, las cajas se apilan formando pallets y posteriormente estos se enmallan o aseguran con flejes y cantoneras, para eliminar el riesgo de desplome.

Una vez formados los pallets, estos pueden ser cargados directamente en vehículos refrigerados para su transporte, lo que exige un preenfriamiento

previo, o pueden ser almacenados dentro de las cámaras refrigeradas hasta su expedición al mercado. En el almacenamiento se debe tener en cuenta la seguridad de la carga: es necesario que el aire circule entre la fruta; entre las paredes y los pallets o bins se deben dejar 25 cm; entre los pallets o bins y el techo 1.5 m como mínimo; longitudinalmente los pallets o bins deben dejar entre sí 15 cm.

La siguiente lista de chequeo puede ser usada en la inspección de potenciales daños en una línea de confección:

- Caídas en superficies no protegidas.
- Protuberancias en superficies de impacto.
- Cambios de dirección en el flujo del producto.
- Velocidades exageradas en los componentes de la línea y en los rodillos y cepillos.
- Ángulos muy agudos en los platos de transferencia⁵².

Son numerosos los daños que pueden producirse por una mala o inadecuada manipulación; entre los más comunes se pueden citar:

- Daños por tipo de envases utilizados (**figura 19 a**).
- Daños por los cepillos (**figura 19 b**).
- Daño por productos químicos (dosis) (**figura 19 c** –excesiva concentración de ortofenilfenato sódico- SOPP).
- Daños por inmersión en agua caliente (**figura 19 d**).
- Daños por el tipo de cera utilizada (aplicación) (**figura 19 e**).
- Daños en el proceso de secado de la fruta.

Para realizar una adecuada manipulación poscosecha es indispensable una correcta limpieza y la desinfección de todos los elementos de la Central Hortofrutícola: línea de tratamiento, suelo del almacén, cajones y/o bins, y cámaras frigoríficas.

En Colombia el proceso de manipulación poscosecha de los frutos cítricos es aún artesanal (**figura 20**), sobre todo, para los pequeños productores debido a que el mercado doméstico es aún muy representativo; sin embargo, algunas grandes empresas efectúan el proceso poscosecha esquematizado en la **figura 21**.

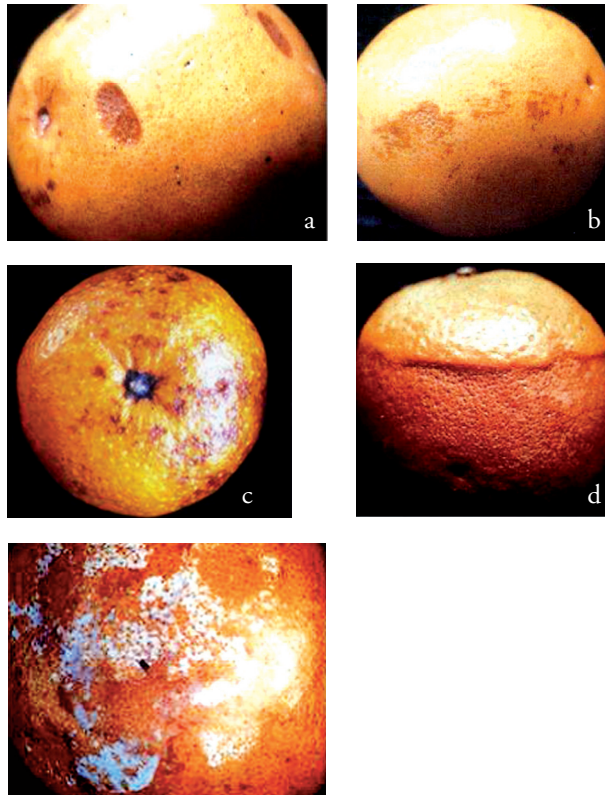


Figura 19. Daños que pueden producirse por una mala o inadecuada manipulación: a) daño por excesiva presión en el empaqueo; b) daño por cepillado; c) daño por excesiva concentración de SOPP; d) daño químico por agua caliente; e) fractura de la capa de cera.



Figura 20. Proceso de selección realizado por pequeñas empresas de cítricos en Colombia.



Figura 21. Proceso poscosecha general realizado en Colombia en el suroeste antioqueño.

En general, la recolección se hace a mano. Los frutos se remueven con una ligera rotación, sin embargo, en las mandarinas y tangelos la piel es más susceptible a daños por lo que se deben usar tejas, aunque en algunas zonas del país esto se ve muy dificultado por la topografía de los terrenos y el porte de los árboles. Este último factor debería de ser analizado, y replantear el uso de podas para bajar el porte de árboles o porta-injertos nacionales enanizantes, y analizar costos y beneficios. Tradicionalmente los frutos se comercializan en bultos o a granel, lo cual genera pérdidas poscosecha del 35%. En la actualidad el transporte a los supermercados se hace en cajas plásticas para reducir las pérdidas. Cuando la fruta se confecciona antes de llegar al consumidor, las cajas llegan a la empacadora, se eliminan las frutas dañadas y el resto se lava con agua y detergente, luego se cepilla, se seca y normalmente el encerado se lleva a cabo con ceras con fungicidas como imazalil y tiabendazol. Posteriormente, la fruta se empaqueta en cajas de 20 Kg, en bandejas, mallas, o combinación de estos, para su envío final al punto de venta⁵³.

Tal y como se ha expuesto en el diagrama de flujo al principio de este apartado, los frutos cítricos pueden ser sometidos directamente al proceso de confección para su presentación al mercado o, bien, expuestos a tratamientos poscosecha específicos como desverdización o almacenamiento frigorífico (frigoconservación) previamente a su confección definitiva o frigoconservación antes de comercialización.

Desverdización

La desverdización es el tratamiento poscosecha que tiene como único fin, modificar el color externo del fruto incidiendo lo menos posible en los restantes parámetros de calidad. El color externo de los cítricos es un atributo de calidad, y el consumidor relaciona normalmente el color externo del mismo con su calidad interna. Lo que hace la desverdización es aprovechar la circunstancia de que algunas variedades de cítricos, especialmente las tempranas, alcanzan un nivel suficientemente elevado en azúcares y componentes aromáticos, y suficientemente bajo de acidez para ser agradables al paladar, antes de alcanzar la plena coloración externa (**figura 22**). Con la aplicación de esta técnica se puede adelantar la comercialización y poner el producto en el mercado en momentos de baja oferta y alta demanda, con las consiguientes ventajas económicas que esto trae. La desverdización de los frutos cítricos es una práctica habitual en países como España, Portugal, Israel y Estados Unidos.

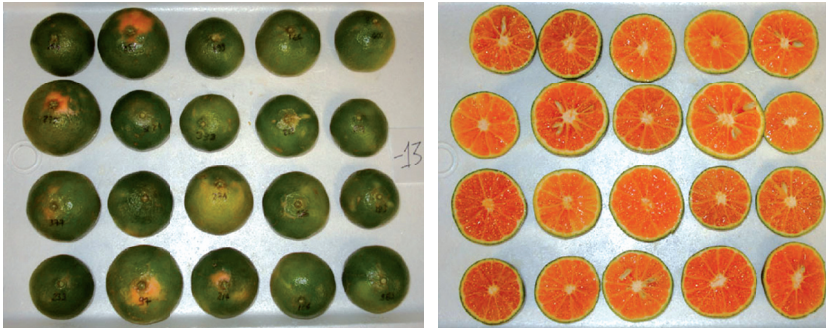


Figura 22. Mandarina 'Clementina' de coloración externa verde (Índice de Color = -13, $IC = 1000 \cdot a / L \cdot b$), pero con índice de madurez interno listo para consumo (IM = 10).

El tratamiento de desverdización consiste básicamente en la aplicación de etileno exógeno en condiciones controladas de temperatura, humedad relativa, concentración de anhídrido carbónico y concentración de oxígeno. Entre los distintos sistemas de desverdización, el flujo continuo intermitente, con 2-5 ppm de etileno, humedad relativa del 90% y temperatura entre 20-22°C, CO_2 inferior al 0,2% es el más utilizado⁵⁴.

En la **figura 23**, se pueden observar las cabinas de desverdización construidas por Cenicafé (Centro Nacional de Investigaciones de Café) para investigación y la cámara de desverdización comercial existente en la empresa Frudelca S. A.



Figura 23. Cabinas de desverdización experimentales desarrolladas por Cenicafe⁵⁵ para investigación y Cámara de desverdización comercial de la empresa Furdelca S. A.

En la aplicación del tratamiento hay que tener en cuenta que el etileno no solo activa las reacciones implicadas en el cambio de coloración de la piel del fruto, sino que, dependiendo de su concentración y otros factores como temperatura, humedad relativa, concentración de CO_2 y O_2 y duración del proceso, puede incidir en mayor o menor medida en otros procesos metabólicos no deseables que impliquen pérdida de calidad del fruto, tales como intensidad respiratoria, senescencia del fruto, especialmente de su piel⁵⁴. Algunos de los problemas que surgen como consecuencia del tratamiento de desverdización, tales como deshidratación de la zona peripeduncular, ennegrecimiento y caída del cáliz, oscurecimiento y deshidratación de la corteza, aparecen durante el período de comercialización y van a acentuarse con el tiempo de almacenamiento posterior al tratamiento (**figura 24**).



Figura 24. Daño por desverdización en mandarina: frutos con cáliz verde, iniciando, negros y caídos (de izquierda a derecha, respectivamente).

Esta técnica debe aplicarse cuando la madurez interna del fruto cumple los requisitos mínimos de calidad, y teniendo en cuenta que el fruto haya iniciado el viraje de color. Por otro lado, es conveniente que las partidas de fruta que vayan a ser desverdizadas tengan una coloración homogénea, lo que obliga a realizar una selección por color externo previo al proceso. La tecnología actual permite realizar la clasificación por color mediante máquinas que trabajan con células fotoeléctricas que seleccionan los frutos por la luz que reflejan. Su uso permite adecuar la duración del tratamiento en función del color inicial de la fruta, reduciendo la incidencia de alteraciones por exceso de tratamiento.

En la actualidad, con la ampliación de mercados, el tiempo de comercialización se alarga, y las restricciones cuarentenarias exigidas por parte de otros países como EE. UU. y Japón implican que las condiciones de transporte comporten un riesgo para la aparición de alteraciones. Así, la incorporación de nuevas tecnologías como es la desverdización con baja o nula concentración de etileno y con mínima duración del tratamiento en función del color de destino constituye un objetivo de sumo interés en la actualidad.

En el Departamento de Postcosecha del IVIA (Valencia, España), se ha estudiado la respuesta al tratamiento de desverdización con baja o nula concentración de etileno de algunas variedades, y se han obtenido muy buenos resultados con la desverdización sin etileno (figura 25)^{35, 56}.



Figura 25. (a) Aspecto de los frutos de mandarina cv. 'Marisol' recién recolectada (Índice de Color inicial promedio = -2.9). (b) Aspecto de los mismos frutos desverdizados sin etileno durante 72h a 20°C, y posterior almacenamiento de 21 días a 0,8-1,8°C + 7 días a 5°C + 7 días a 20°C (simulación de exportación a Japón).

Salvador et al⁴⁵, con los datos obtenidos en experiencias con mandarinas y naranjas tempranas, ofrecen unas recomendaciones de tratamientos de desverdización, que se adaptan a los grupos de color que pueden obtenerse en los almacenes de manipulación con los calibradores electrónicos actuales (**tabla 4**).

Tabla 4. Recomendaciones para el tratamiento de desverdización de mandarinas y naranjas de España exportadas a U.E., EE.UU., o Japón

IC inicial (1000*a/L*b)	U.E.		USA-Japón	
	Mandarinas	Naranjas	Mandarinas	Naranjas
IC < -13	No se aplica	No se aplica	No se aplica	No se aplica
-13 > IC < -5	72h con etileno	No se aplica	48-72h con etileno	No se aplica
-5 > IC < +3	48h con etileno 72h sin etileno	72h con etileno	48-72h sin etileno	48-72h con etileno
IC > +3*	24h con etileno	48h con etileno	24h sin etileno	24h con etileno
	48h sin etileno	72h sin etileno		48h sin etileno

*No se requiere tratamientos de desverdización para IC > +7.

El cambio de color de los frutos cítricos en las regiones subtropicales se produce cuando las temperaturas nocturnas del aire y del suelo son inferiores a 12,8 y 12,0°C, respectivamente; en general, en los climas tropicales estos frutos no alcanzan el color naranja característico debido a que durante la fase final de su desarrollo no han sido expuestos a bajas temperaturas⁵⁷, por lo que el tratamiento de desverdización se hace interesante no solo para adelantar producción, sino también para alcanzar el color naranja típico de la variedad.

Como se pudo observar en el apartado de Normas de Calidad, el índice de color más frecuente para mandarina ‘Clementina’ en la zona del suroeste antioqueño (Colombia) se sitúa entre -11 y -7, muy lejos del color naranja típico, aunque organolépticamente se encuentre apta para consumo (IM =11).

En Colombia se presenta una dificultad añadida, dado que en nuestras condiciones se encuentran simultáneamente todos los estadios fenológicos de desarrollo en el árbol; así mientras que en los países subtropicales se recomienda cosechar para desverdización los frutos cuando se ha iniciado el viraje de color, en Colombia la recomendación sería realizar la cosecha cuando más del 50% de los frutos presenten este estado y posiblemente habría que hacer varios pases para cosechar los frutos mas retrasados en el desarrollo, lo que implicaría un mayor costo.

En Colombia, son muy pocos los estudios en desverdización de cítricos realizados hasta el momento. En Cenicafé⁵⁵, evaluaron las condiciones óptimas de temperatura y concentración de etileno para el desverdizado de naranja ‘Valencia’, producida sobre patrones Sunky x English (SE) y “Swingle” citrumelo (CPB), y coloraciones externas 2 y 4 (Norma Técnica Colombiana NTC 4086). Los autores recomendaron para naranja ‘Valencia’ sobre el patrón SE un desverdizado con 8 ppm de etileno, 25°C, 85% HR, durante 5-6 días; mientras que para ‘Valencia’ sobre CPB recomendaron 12 ppm, 25°C, 85%HR, durante un período de tiempo de 8-9 días (**figura 26**), aunque observaron un incremento del deterioro físico de los frutos con la aplicación de este tratamiento.

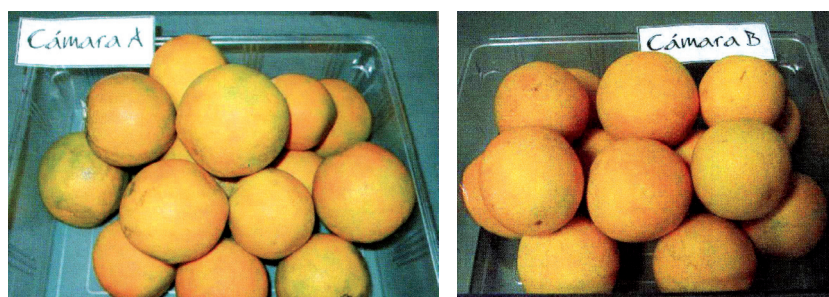


Figura 26. Aspecto final de naranja ‘Valencia’ proveniente de patrón Sunky x English desverdizada con 8 ppm de etileno y 25°C (Izq.), y proveniente de patrón CPB desverdizada con 12 ppm (Der.)⁵⁵.

Estas concentraciones recomendadas son demasiado elevadas comparadas con las dosis actuales de etileno aplicadas hoy día en diferentes países del mundo para desverdización. Como vimos anteriormente, el etileno es eficiente para el cambio de color de la piel en los frutos cítricos a muy bajas concentraciones. Concentraciones muy altas de etileno provocan graves daños y cambios de calidad en los frutos.

En estudios de frigoconservación realizados por Corpoica y la Universidad de Antioquia, se observó un aumento del color inicial en frutos de mandarina ‘Clementina’ recolectados con IM 14 y almacenados en atmósfera normal libre de etileno durante 21 días a 1°C y posterior período de comercialización (7 días a 20°C) (**figura 27**).

El estudio y optimización de los tratamientos de desverdización en función de las características iniciales de la fruta se hace necesario en nuestro país para una correcta utilización de esta técnica, y para aprovechar todas las ventajas que la misma representa.

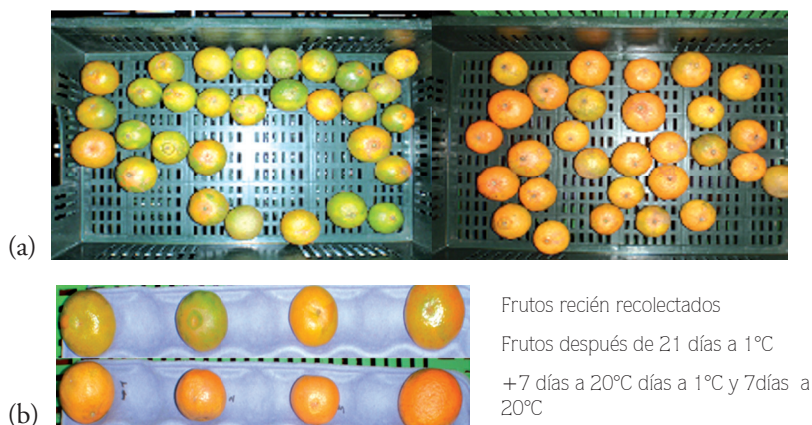


Figura 27. Evolución del color en mandarina 'Clementina' recién recolectada (a: izq.; b: sup.) y después del almacenamiento en atmósfera normal libre de etileno durante 21 días a 1°C y 7 días a 20°C (a: der.; b: inf.).

Frigoconservación

La conservación a baja temperatura es la tecnología poscosecha más utilizada y eficaz para alargar el período de vida útil de frutas y hortalizas.

Mantener las frutas dentro de sus rangos óptimos de temperatura y humedad relativa es el factor más importante en el mantenimiento de su calidad. La temperatura de almacenamiento deberá ser siempre superior a la del punto de congelación para los productos no sensibles al frío y a la temperatura mínima recomendada para los productos sensibles al frío⁹.

En el caso de los frutos cítricos el almacenamiento frigorífico o frigoconservación es utilizado con los siguientes fines:

- Alargar el período de comercialización de las variedades tardías aprovechando períodos favorables de comercialización.
- Mantener la calidad durante el transporte a mercados distantes.
- Servir de pulmón para abastecer la línea de almacén en momentos en que las condiciones climatológicas (fuertes lluvias, por ej.) no permiten la recolección.
- Realización de tratamientos cuarentenarios por frío para el control de insectos en frutos exportados a determinados países que los exigen.
- Dilatar el abastecimiento a las fábricas de derivados de cítricos.

La aplicación de bajas temperaturas implica las siguientes consecuencias:

- Reduce la presión de vapor y con ello la velocidad de deshidratación.
- Disminuye la velocidad de respiración: por cada descenso de 10°C de temperatura esta velocidad se reduce aproximadamente a la mitad, retrasando la evolución hacia la senescencia.
- Reduce la velocidad de germinación de esporas y crecimiento de micelios, por lo que se retrasa la evolución de alteraciones patológicas, y reduce la contaminación de los frutos sanos.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que los cítricos, así como otros frutos tropicales y subtropicales, presentan una especial sensibilidad a las bajas temperaturas, que se manifiesta por distintas alteraciones y manchas en la piel, conocidas generalmente como lesión de frío, daño por frío o chilling injury (CI), y que pueden implicar una alta pérdida de calidad comercial.

Las distintas especies y variedades de cítricos presentan diferente susceptibilidad a los daños por frío. En general, las naranjas y mandarinas son menos susceptibles a los daños por frío que las limas, limones y pomelos. Se ha comprobado, que los cítricos con un bajo contenido en compuestos fenólicos y con una actividad débil de la polifenol-oxidasa, se muestran más resistentes a los daños por frío⁵⁸.

- En cítricos, los daños por frío pueden mostrar diversas sintomatologías; sin embargo, los síntomas más comunes son:
- Picado o “Pitting”: es la manifestación más común, se caracteriza por depresiones en la piel de forma más o menos circular con una ligera decoloración y que posteriormente se oscurecen (**figura 28**).
- Escaldado: ocurre sobre todo en frutos sobre-maduros y se caracteriza por un oscurecimiento difuso de la piel de forma irregular que se extiende paulatinamente por la superficie del fruto (**figura 29**).
- “Oil-darkening” o Ennegrecimiento de las glándulas oleíferas: a la que puede contribuir la alta humedad del almacenamiento y que cuando este se prolonga puede extenderse y confundirse con el escaldado.
- “Watery break-down”: descomposición acuosa en que los frutos toman aspecto esponjoso y blando como si se hubiesen congelado (**figura 29**).
- Membranosis o pardeamiento del albedo y membranas de los carpelos en limones (**figura 29**).

- En casos severos también puede ocasionar pérdida de sabor y mayor susceptibilidad a las podredumbres^{59, 60, 74}



Figura 28. "Pitting" en naranja y pomelo.

Fuente: Martínez⁶⁰



Figura 29. Escaldado en naranja 'Salustiana', pardeamiento de albedo en limón y descomposición acuosa en pomelo.

La manifestación de los síntomas de daños por frío puede iniciarse en la misma cámara de conservación, siempre después de un cierto tiempo de permanencia en frío. El riesgo de la aparición de síntomas es tanto mayor, cuanto mayor es el tiempo de permanencia en cámara y menor la tempe-

ratura, y estos se manifiestan totalmente cuando la fruta es transferida a temperatura ambiente. En algunas ocasiones estos síntomas no se hacen visibles mientras la fruta permanece en cámara, y se manifiestan solamente a la salida de la misma⁶¹.

Las respuestas a los daños por frío son reversibles para tiempos de exposición cortos, pero en caso contrario los daños son irreversibles⁶². Los cítricos conservados a temperaturas críticas manifiestan un incremento de su actividad respiratoria cuando son trasladados a temperatura ambiente⁶³. Entre los diversos parámetros relacionados con los daños por frío estudiados podemos citar la pérdida de electrolitos, emisión de aceites esenciales como d-limoneno, activación de enzimas relacionadas con el metabolismo de fenoles como la fenilalanina amonio-liasa (PAL), producción de etileno, respiración y contenido de volátiles (acetaldehído y etanol)⁶⁴.

A pesar de que las bajas temperaturas y la susceptibilidad varietal a las mismas son determinantes en la aparición de daños por frío, existen otros factores capaces de modificar la tendencia a su manifestación. Entre ellos cabe citar⁶⁵:

- Momento de recolección: en general, los frutos maduros toleran temperaturas más bajas que los frutos inmaduros. Para pomelo, por ejemplo, se ha demostrado que son más susceptibles los frutos cosechados tanto al principio como al final de la campaña.
- Zona de cultivo: se han encontrado diferencias debidas a características climáticas y culturales. Por ejemplo, los frutos de zonas calientes son más sensibles que los frutos de zonas frías.
- Tamaño del fruto: en general son siempre más susceptibles los de pequeño diámetro.
- Posición del fruto en el árbol: son más susceptibles los frutos cosechados en la parte externa.

En la **tabla 5**, se presentan recomendaciones para condiciones óptimas de almacenamiento y respectivo período de vida útil para frutos cítricos. En general, la humedad relativa debe estar cerca del 90% y la renovación de aire debe asegurar que el nivel de etileno sea inferior a 1 ppm. Sin embargo, no hay que olvidar que estas recomendaciones se aplican para el país donde fueron ensayadas, y que para el caso específico de Colombia harían falta evaluaciones para determinar con exactitud las condiciones óptimas de almacenamiento para especies/variedades cultivadas en el país y en función de la zona de cultivo.

Cuando no hay otra posibilidad, los frutos cítricos se pueden almacenar junto con frutas tropicales como la papaya, el mango, la guayaba y la piña por encima de 10°C a 90% de humedad relativa en la misma cámara de frigoconservación, y nunca se deberían almacenar junto a cebollas, coles, o ajos.

Tabla 5. Condiciones de almacenamiento recomendadas para cítricos.

Especie / Cultivar	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Período de almacenamiento (semanas)
(1) Naranja dulce			
Naranja Sanguinea	5-7	85-90	8-10
Valencia (California y Arizona)	3-9	85-90	4-8
Valencia (Florida y Texas)	1-2	85-90	8-12
Valencia, Navel (Spain)	2-3	85-90	4-8
Washington Navel (California)	5-7	85-90	6
Shamouti	5-6	85-90	8-12
(2) Mandarinas y híbridos			
Ponkan	4-6	85-90	4-5
Satsuma	2-3	80-85	12-18
Clementina	3-4	85-90	4-6
Clementina (España)	4-5	85-90	4
Ellendale, Murcott, 'Nagpur'	6-7	85-90	6-8
Temple, Orlando, Dancy	4-6	90-95	2-5
Kinnow mandarin	3-4	85-90	8-12
(3) Limones			
Verde oscuro	13-14	85-90	16-24
Verde claro	13-14	85-90	8-16
Amarillo	10-12	85-90	3-4
(4) Limas			
Tahití	9-10	90-95	6-8
(5) Toronja			
Texas y Florida grapefruit	10	90-92	4
California y Arizona grapefruit	14-15	90	5-6
Foster, Ruby, Saharanpur Special	9-10	90	16-20
(6) Pomelo			
	8-9	85-90	10-12

Fuente: Ladaniya⁶⁶

En Antioquia, se han adelantado estudios de frigoconservación en mandarina 'Clementina'. Carvalho et al⁵⁰ observaron daños por frío en ambos frutos de mandarina 'Clementina' con dos índices de madurez (10 y 13), almacenados durante de 2 semanas a 4°C y 7 días a 20°C (**figura 30**).



Figura 30. Frutos de mandarina 'Clementina' (IM 10 y 13) con síntomas de daño por frío ("pitting" con oleocelosis) después de 2 semanas a 4°C mas 7 días a 20°C.

Además, en esta experiencia se observó que los factores: índice de madurez y tiempo de almacenamiento fueron significativos para casi todos los descriptores sensoriales analizados por un panel sensorial de 8 catadores entrenados, así como su interacción. Los frutos más verdes presentaron un contenido de ácido ascórbico y de polifenoles totales significativamente mayor, diferencias que se mantuvieron hasta el final del período de almacenamiento. El contenido en hesperidina también fue superior en los frutos más verdes, sin embargo, su contenido disminuyó durante el almacenamiento en frío, y aumentó cuando los frutos se trasladaron a 20°C, probablemente como respuesta al estrés por frío. El almacenamiento en frío no afectó de manera significativa los parámetros de °Brix y acidez, sin embargo, el rendimiento en zumo fue afectado por el tiempo de almacenamiento, así como el descriptor de calidad general del zumo en el análisis sensorial, por lo que se deben evitar períodos largos de almacenamiento.

Hay que tener en cuenta que la duración del almacenamiento puede estar afectada por factores pre-recolección como patrón, condición del árbol, prácticas culturales, momento de la recolección, climatología, y manipulación poscosecha (retraso entre recolección y enfriamiento, tratamientos fungicidas, recubrimientos, entre otros)⁶⁷.

El índice de madurez en el momento de cosecha es determinante en la duración del almacenamiento para mandarinas, naranjas y tangelos, debido a que durante la frigoconservación se produce un incremento del mismo, como consecuencia de la disminución del contenido de acidez, que puede alcanzar valores que correspondan a sabores de una cierta insipidez⁶⁸.

Algunos autores relacionan el sabor con los sólidos totales y el índice de madurez en un gráfico en forma de lengua (**figura 31**) que delimita la aceptabilidad y que, lógicamente, estará influenciado por la variedad y tipo de consumidor. Además, índices de madurez inicial altos suelen ir unidos a altas concentraciones de volátiles al final de la conservación con la consiguiente repercusión negativa en el sabor-aroma. Los cambios en el índice de madurez no son tan determinantes en la duración de la conservación de limas, limones y pomelos⁵⁶. En la utilización de este diagrama se debe tener en cuenta que este fue elaborado a partir de zumo y no de fruta fresca, y para determinadas variedades de mandarinas.

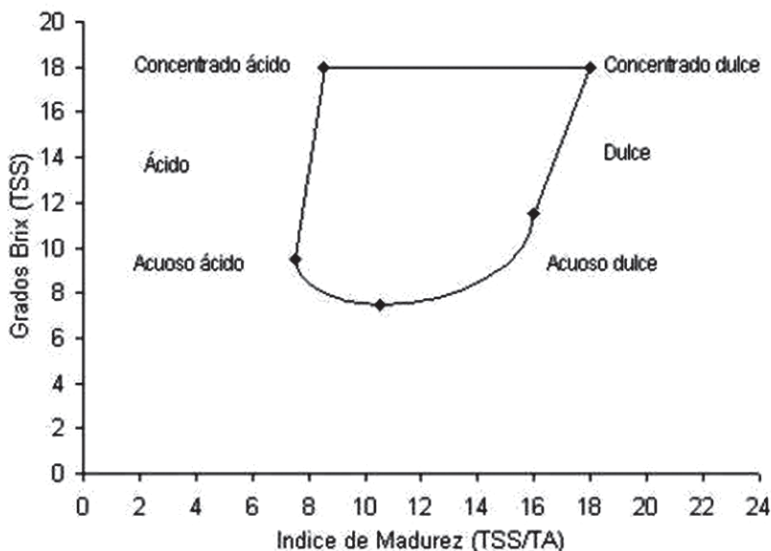


Figura 31. Diagrama de lengua de Pritchett con límites de aceptabilidad del sabor de mandarinas 'Clementina'.

La sensibilidad al frío de algunas variedades puede reducirse con la utilización de técnicas como las de acondicionamiento a media o alta temperatura, calentamiento-enfriamiento intermitente y utilización de recubrimientos^{66, 67, 69, 70}.

La falta de una refrigeración adecuada durante la comercialización de un producto puede llegar a suponer importantes pérdidas, valoradas en un 40% en caso de frutas y verduras⁷¹. La cadena de frío no es algo menor y juega un papel primordial dentro de la cadena de abastecimiento, a fin de evitar errores y deficiencias que pueden ser determinantes cuando se aumentan los servicios relacionados con la logística.

El concepto conocido como “cadena de frío” no es más que la sucesión de procesos logísticos (almacenaje, distribución, embalajes, transporte, carga y descarga) con una temperatura y humedad relativa controlada, desde el mismo momento inicial de la producción del producto, hasta el punto de venta final. Los eslabones de la cadena de frío son:

- Pre-enfriamiento o almacenamiento en frío previo al transporte.
- Transporte refrigerado.
- Cámara refrigerada en los puntos de venta.
- Exhibición y venta en un equipo refrigerado.

Se debe recalcar que la ausencia o fallo que se cometa en alguna de estas etapas dentro de la estructura logística repercute negativamente en la calidad final del producto.

Uno de los inconvenientes que tiene el mantenimiento de la cadena de frío es el elevado coste que representa, sin embargo, hay que tener en cuenta que la inversión realizada repercutirá positivamente en los beneficios obtenidos.

Conclusiones y recomendaciones

Actualmente, en Colombia se están cosechando los frutos cítricos con un índice de madurez muy alto, cuando se podría cosechar con índices más bajos, y aprovechar las calidades nutricionales de los frutos menos maduros, así como su mayor resistencia a la manipulación y mayor período de vida útil.

En este momento, en el país se requieren alternativas para las ceras comercializadas para cítricos, el proceso no se emplea de una forma adecuada y el sector productivo no ha entendido su importancia. Deben realizarse estudios y evaluaciones de ceras y recubrimientos en función de la especie / variedad,

índice de madurez, localidad y almacenamiento y comercialización, así como del proceso de aplicación. Igualmente, son necesarias campañas de educación con apoyo del gobierno para sensibilizar a los productores, comercializadores y consumidores de su importancia y de las ventajas que representan para los alimentos y para la cadena de distribución. Además, falta una regulación nacional sobre ceras y recubrimientos a aplicar en alimentos, lo que fomenta la competencia desleal y pone en causa la seguridad de los consumidores.

La floración continua en el año frustra la transferencia y aplicación de tecnologías poscosecha ampliamente utilizadas en otros países, dificulta la uniformidad del producto, exige un mayor costo en jornadas de recolección, y dificulta y ralentiza el proceso de cosecha. Es necesario el estudio y la evaluación en campo de alternativas como mejoramiento vegetal, la poda o la aplicación de reguladores del crecimiento, con la finalidad de concentrar floraciones en el año que faciliten el manejo poscosecha y un aumento de la competitividad.

Urge una norma técnica nacional para mandarinas ‘Clementinas’, así como campañas de degustación y marketing para educar a los consumidores (especial énfasis en los niños) sobre las ventajas e calidades de este grupo de cultivares cítricos.

La desverdización es una técnica que permite alcanzar colores más atractivos para los frutos cítricos, factor primordial en el caso de la exportación. Además, permite adelantar la producción y obtener precios de mercado más altos. Es necesario el estudio y la evaluación en campo para la definición de protocolos nacionales de acuerdo con la especie / variedad, índice de madurez y localidad.

El almacenamiento en frío es la técnica más sencilla y eficaz hasta hoy en el control de enfermedades de poscosecha, permite escalonar y romper la estacionalidad de la oferta, obtener mejores precios y también prolongar el período de vida útil conservando la calidad. Al igual que en el caso de la desverdización, hace falta el establecimiento de protocolos para una adecuada refrigeración comercial.

Cualquier tentativa para mejorar el manejo del producto durante la poscosecha debe ser precedida de una estimación cuantitativa de las pérdidas que acarrea el proceso que se pretende mejorar. Esto determinará los imperativos económicos y sociales de actuación y permitirá que cualquier estrategia de intervención sea accesible en términos de costo / beneficio.

Por razones económicas y científicas se deben dedicar mayores esfuerzos a la mejora de las condiciones de manipulación, transporte, conservación y

distribución para optimizar la cantidad y calidad de la oferta cítrica colombiana en vez de tratar de incrementar la oferta aumentando los recursos productivos. La solución idónea para preservar la calidad global (organoléptica, comercial, microbiológica, nutritiva y sensorial) de los frutos y satisfacer las crecientes exigencias de los mercados internacionales consiste en mejorar los tratamientos poscosecha.

Todas las estrategias para reducir las pérdidas poscosecha y optimizar los procesos requieren de una cooperación transdisciplinaria eficaz en la investigación y de una articulación eficiente entre el sector político, productivo, empresarial, industrial y académico.

En Colombia, es urgente una política nacional para solucionar los siguientes problemas, sin los cuales no es posible ser competitivo en la etapa de poscosecha:

- Infraestructuras: vías de acceso, centrales hortofrutícolas, cadena de frío, entre otros.
- Logística y cercanía de los puertos.
- Agremiación: permite manejar protocolos de calidad, estrategias logísticas, concentración de la producción, continuidad de la oferta por un período más prolongado, mayor fuerza de negociación y mayor estabilidad de precios en el mercado.

Referencias bibliográficas

1. COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL Observatorio Agrocadenas Colombia. Documento de trabajo no. 107. La cadena de cítricos en Colombia: Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Bogotá D. C.: El Ministerio, 2005. 64 p.
2. WILLS, R.; et al. Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. 4th ed., Sydney, Wallingford: CAB International, UNSW Press, 1998. 262 p.
3. KADER, Adel. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. En: Acta Horticulturae. 1999. Val. 485. p. 203-208.
4. BURDON, J. N. Postharvest handling of tropical and subtropical fruit for export. In: S. Mitra (ed.) Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits. CABI, 1997. p. 1-19.
5. KADER, Adel A. Postharvest Technology of Horticultural Crops, 2nd Edn. Oakland, CA: University of California - Division of Agriculture and Natural Resources. 1992. 537 p.

6. BRADY, C. J. Fruit ripening. En: *Annu. Rev. Plant Physiol.* 1987. Vol. 38. p. 155-178.
7. GRIERSON, W. Senescence in fruits. En: *HortScience.* 1987. Vol. 22, No. 5. p. 859-862.
8. ARPAIA, M. L. And KADER, A. A. Recommendations for maintaining postharvest quality. [En línea]. Oakland, CA: Universidad de California, 2000. [Citado el 15 de junio de 2011]. Url disponible en: <http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefacts/fruit.html>
9. KADER, Adel A. Postharvest biology and technology: an overview. In: *Postharvest Technology of Horticultural Crops.* 2a ed. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California, 1992. p. 15-19.
10. _____. Respiration and gas exchange of vegetables. In: *Postharvest Physiology of Vegetables.* WEICHMANN, J. (Ed.). New York, USA: Marcel Dekker, 1987.
11. CUQUERELLA, J. Efectos de distintos recubrimientos céreos y plásticos en la fisiología post-recolección y en la calidad de frutos cítricos. Tesis doctoral. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, 1990. 204 p.
12. MACHADO-QUEVEDO, J.; MARTÍNEZ-JÁVEGA, J. M. and ALEIXANDRE, J. L. Effects of films wrapping on keeping quality of fruit and vegetables. En: *II World Congress of Food Technology*, 1987. p. 1205-1218.
13. DAVIS, P. L. and HOFMANN, R.C. Effects of coatings on weight loss and ethanol build-up in juice of oranges. En: *J. Agr. Food Chem.* 1973. Vol. 21. p. 455-458.
14. JIMÉNEZ-CUESTA, M.; CUQUERELLA, J. y MARTINEZ-JÁVEGA, J. M. Los recubrimientos plásticos en la comercialización de los cítricos. *Levante Agrícola.* 1983. No. 247-248. p. 168-172.
15. BEN-YEHOSHUA, S. Gas exchange, transpiration and the commercial deterioration of orange fruit in storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1969. Vol. 94. p. 524-526.
16. HAAS, A. R. C. and KLOTZ, L. J. Physiological gradient in citrus fruits. En: *Hilgardia.* 1935. Vol. 9. p.181-217.
17. YANG, S. F. Biosynthesis and action of ethylene. *HortScience.* 1985. Vol. 20, No. 1. p. 41-45.
18. REID, M. S. Biología de la producción del etileno. En: *Maduración de Frutos.* Eds. Postharvest Outreach Program. Department of Pomology. Davis, California: University of California, 1998. p.3-4.

19. McGLASSON, W. B. Ethylene and fruit ripening. En: Hort Science. 1985. Vol. 20, No. 1. p. 51-54.
20. KADER, A. A. Fruits in the global market. In: Fruit quality and its biological basis. Michael Klee (Ed.). UK : Sheffield Academic Press, 2002. p. 294.
21. ARPAIA, M. L. Preharvest factors influencing postharvest quality of tropical and subtropical fruit. En: HortScience. 1994. Vol. 29. p. 982-985.
22. CRISOSTO, C. H.; JOHNSON, R.S. and DEJONG, T. Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality. En: HortScience. 1997. Vol. 32. p. 820-823.
23. FERGUSON, I.; VOLZ, R. and WOOLF, A. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. En: Postharvest Biology and Technology. 1999. Vol. 15. p. 255-262.
24. MATTHEIS, J. P. and FELLMAN, J. K. Preharvest factors influencing flavor of fresh fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology. 1999. Vol. 15. p. 227-232.
25. IQBAL, N. and KARACALI, I. Flowering and fruit set behaviour of Satsuma mandarin (*Citrus unshui* Marc.) as influenced by environment. Pakistan. En: Journal of Biological Science. 2004. Vol. 7, No. 11. p. 1832-1836.
26. GOULD, W. P. A hot water/cold storage quarantine treatment for grapefruit infested with the Caribbean fruit fly. En: Proc. Fla. State Hort. Soc. 1988. Vol. 101. p. 190-192.
27. GUERRA, F. Tecnología post-cosecha de frutos cítricos. Curso integral de citricultura. Cuba: Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical. 1996. p. 242-257.
28. TING, S. V. and ROUSSEFF, R. L. Vitamins In: Ting S. V., Rousseff R. L. (Eds) Citrus fruit and their products: analysis and technology. New York, USA: Marcel Dekker, 1986. p. 121-136.
29. ARPAIA, M. L. and KADER, A. A. Produce Facts: mandarin-tangerine; recommendations for maintaining postharvest quality. Davis: University of California, Postharvest Technology Research and Information Center, 1999. p. 2.
30. FOMESA. Factores de calidad – Nociones previas – Definición de calidad. [En línea]. Valencia, España: Fomesa, 2007. [Citado el 25 de junio de 2011]. Url disponible en: <http://www.fomesa.com/Calidad/Calidad2.htm>.
31. JIMÉNEZ-CUESTA, M.; CUQUERELLA, J. and MARTÍNEZ-JÁVEGA, J. M. Determination of a color index for citrus fruit degreening. [En línea]. Proceedings of the International Society of Citriculture, 1981. Vol. 2. . 750-753. [Citado el 15 de mayo de 2011] Url disponible en: <http://noticias.agroterra.com/citricos/com-valenciana-agricultura-desarrolla-un-medidor-del-color-de-los-citricos-de-facil-manejo/9472>

32. CUQUERELLA, J.; et al. Nuevo sistema de medida de color para cítricos. En: *Rev. Levante Agrícola. Especial Postcosecha*. 2004. No. 372. p. 298-304.
33. SINGH, K. K. and REDDY, B. S. Measurement of mechanical properties of sweet orange. En: *J. Fd. Sci. Technol*. 2006. Vol. 42. p. 442-445.
34. ALONSO, M.; DEL RÍO, M. A. y JACAS, J. Carbon dioxide diminishes cold tolerance of third instar larvae of *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae) in 'Fortune' mandarins: implications for citrus quarantine treatments. En: *Postharvest Biology and Technology*. 2005. Vol. 36. p.103-111.
35. CARVALHO, C. P.; et al. Efecto del tratamiento de desverdización en la calidad de mandarinas 'Oronules' con vistas a la exportación a Japón. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 2006. Vol. 7, No. 2. p. 104-108.
36. INDECOPI. NORMA PNTP 011.023/2006. Cítricos (mandarinas, tangelos, naranjas y toronjas). Proyecto de Norma Técnica Peruana. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales, 2006.
37. AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, 1990. p. 1058-1059
38. NORMAN, S. M. The role of volatiles in storage of citrus fruits. En: *Proceedings of the International Society of Citriculture*. 1977. Vol. 1. p. 238-242.
39. SARIG, Y.; et al. Non-destructive seed detection in citrus fruits. En: *Proc. Int. Soc. Citric. Italy*. 1992. p. 1036-1039.
40. GOLDSCHMIDT, E. E. Effect of climate on fruit development and maturation. In: S.H. Futch and W. J. Kender (eds.) *Citrus Flowering and Fruiting Short Course*. Florida, USA: Univ. of Florida - Citrus Research and Education Center, 1997. p. 93-97.
41. REUTHER, W. Climatic effects and quality of citrus fruits in the tropics. En: *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. Trop. Reg.* 1980. Vol. 24. p. 15-28.
42. DIXON, R. A. and PAIVA, N. L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. En: *Plant Cell*. 1995. Vol. 7. p. 1085-1097.
43. HUANG, R.; et al. Antioxidant activity and oxygen-scavenging system in orange pulp during fruit ripening and maturation. En: *Scientia Horticulturae*. 2007. Vol. 113, No. 2. p. 166-172.
44. CONESA, E. Equipos y funciones de las líneas de manipulación en centrales hortofrutícolas. IV Curso Internacional Tecnología Postcosecha y Procesado Mínimo. Cartagena, España: ETSIA-UPCT, 2010.

45. SALVADOR, A.; NAVARRO, P. y MARTÍNEZ-JÁVEGA, J. M. Tecnología postcosecha de cítricos. En: XI Simposium Internacional de Citricultura– “La citricultura mexicana en el siglo XXI”. [Cd room]. Victoria Tamaulipas, México, 2007.
46. BALDWIN, E. A.; et al. Effect of coatings and prolonged storage conditions on fresh orange flavor volatiles, degrees brix, and ascorbic acid levels. En: J. Agric. Food Chem. 1995. Vol. 43. p. 1321-1331.
47. HAGENMAIER, R. D. and BAKER, R. A. Citrus fruit with single or layered coatings compared with packinghouse-coated fruit. En: Proc. Fla. State Hort. Soc. 1993. Vol. 106. p. 238-240.
48. HAGENMAIER, R. D. and BAKER, R. A. Internal gases, ethanol content and gloss of citrus coated with polyethylene wax, carnauba wax, shellac or resin at different application levels. En: Proc. Fla. State Hort. Soc., 1994. Vol. 107. p. 261-265.
49. TAO QUÍMICA. Aplicación de ceras para cítricos en Colombia. Oficinas TAO Química S. A. S. Medellín. Entrevista personal. 2011.
50. CARVALHO, C. P.; et al. Efecto del almacenamiento en frío sobre la calidad y contenido de antioxidantes de los frutos de mandarina Clementina. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA y Universidad Pontificia Bolivariana, UPB (Eds.). En: Memorias VII Seminario Internacional de Frutas Tropicales. Agroindustria e Innovación, 2010. p. 37-38.
51. MARTÍNEZ-JÁVEGA, J. M.; SALVADOR, A. and NAVARRO, P. Tecnología postcosecha de frutos cítricos. IV Curso Internacional Tecnología Poscosecha y Procesado Mínimo. Cartagena, España: ETSIA UPCT. 2010.
52. SARGENT, S. A.; et al. Handling, cooling and sanitation techniques for maintaining postharvest quality. In: Vegetable Production Handbook. Chapter 18. Florida, USA: Horticultural Sciences Dept. University of Florida. IFAS extensión, 2007. p. 97-99.
53. SÁNCHEZ, L. A.; JARAMILLO, C. and TORO, J. C. Fruticultura Colombiana – Cítricos. Manual de Asistencia Técnica ICA. Bogotá: ICA, 1987. p. 88.
54. CUQUERELLA, J.; NAVARRO, P. y SALVADOR, A. Respuesta a la desverdización de nuevas variedades de cítricos. En: Revista Levante Agrícola. 1999. Especial Postcosecha. No. 348. p. 263-271.
55. PINEDA, R.; RIAÑO, N. y SIERRA, C. Desverdización y control de los factores de desverdización de naranja Valencia. Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola, Asociación Nacional de Productores de Cítricos (Asocítricos), Cenicafé (Centro Nacional de Investigación en café “Pedro Uribe Mejía”, Asociación Hortofrutícola de Colombia (Eds). Bogotá, Colombia: Produmedios, 2004. 16 p.

56. MARTÍNEZ-JÁVEGA, J.; et al. Optimización del manejo de clementinas tempranas con vistas a la exportación a Japón. En: Actas del IV Simposio Ibérico, Maduración y Postcosecha. Oeiras, Portugal. 2004. p. 285-290.
57. CASAS, A. y MALLENT, D. El color de los frutos cítricos. I. Generalidades. II. Factores que influyen en el color. Influencia de la especie, de la variedad y de la temperatura. En: Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment. 1988. Vol. 28, No. 2. p. 184-202
58. GRIERSON, W. Physiological disorders of citrus fruits. En: Proceedings of the International Society of Citriculture. 1981. Vol. 2. p. 764-767.
59. CUQUERELLA, J.; MARTÍNEZ-JÁVEGA, J. M. y JIMÉNEZ-CUESTA, M. Frigoconservación de cítricos. En: Hoja Técnica INIA. 1983. No. 45. p.20.
60. MARTÍNEZ, J. A. Alteraciones fisiológicas, microbianas y daños mecánicos en la post-recolección hortofrutícola. IV Curso Internacional Tecnología Poscosecha y Procesado Mínimo. Cartagena, España: ETSIA-UPCT. 2010.
61. MARTÍNEZ-JÁVEGA, J. M. Frigoconservación de cítricos. I Simposio Nacional de Tecnología Postcosecha. Montevideo, Uruguay, 1993. p. 72-82.
62. CHIEN YI WANG, L. Physiological and biochemical responses of plants to chilling injury stress. En: HortScience. 1982. Vol. 17, No. 2. p. 169-186.
63. LYONS, J. M. Chilling injury in plants. En: Annual Review of Plant Physiology. 1973. Vol. 24. p. 445-466.
64. VÁZQUEZ, D. y MARTÍNEZ-JÁVEGA, J. M. Determinación de parámetros relacionados con la sensibilidad al frío de frutos cítricos. Subprograma XI "Tratamiento y conservación de alimentos". Medición de la calidad en frutos tropicales y subtropicales con tratamientos físicos de cuarentena. Ponencia No. 4. CYTED, 1997. p. 12.
65. MARTÍNEZ-JÁVEGA, J. M. y CUQUERELLA, J. Alteraciones fisiológicas en la post-recolección de frutos cítricos (2ª parte). En: Fruticultura Profesional Mar/Abr 1995. No. 69. p. 57-65.
66. LADANIYA, M. Citrus Fruit: Biology Technology and Evaluation. USA: Elsevier, 2008. p. 336.
67. MARTÍNEZ JÁVEGA, J. M. Estado actual de las aplicaciones del frío en la poscosecha de cítricos. En: Actas del I Congreso Español de Ciencias y Técnicas del Frío. Eds. López, A., Esnoz, A., Artés, F. 2002. p. 433-442.
68. MAZZUZ, C. F. y DEL RÍO, M. A. Aplicación del análisis sensorial al control de calidad de frutos cítricos sometidos a tratamientos cuarentenarios. Workshop "Medición de la calidad en frutos tropicales y subtropicales con tratamientos de cuarentena". Proyecto XI.10 Ed. C. Saucedo y J.M. Martínez-Jávega. CYTED, 1997. p: 16-28.

69. RODOV, V.; et al. Reducing chilling injury and decay of stored citrus fruit by hot water dips. En: *Postharvest Biology and Technology*. 1995. Vol. 5. p. 119-127.
70. JOHN-KARUPPIAH, K. J.; et al. Short-duration, hot-water treatment for the control of chilling injury and postharvest decay in citrus. En: *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 2004. Vol. 117. p. 403-407.
71. KAMINSKI, W. *Refrigeration and the world food industry*. Paris: IIR, 1995. 33 p.
72. FERRATO, J.A., et al. Incidencia de una nueva práctica de cosecha sobre la calidad poscosecha de frutos de tomate en dos grados de madurez. En: *Horticultura Argentina*. 2010. Vol. 29, No. 70, p. 12-17.
73. MOLINA, M.C. Estudio de la conservación de la naranja variedad valencia (*C. sinensis* Osbeck) encerada a dos temperaturas de almacenamiento. En: *Inventario de las investigaciones realizadas en poscosecha de productos agrícolas en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá*. (Eds. Villamizar, F., Galvis, A., Miranda, D., Ospina, J., Perea, M., Restrepo, P., Flórez, V.). 2004. p. 68.
74. WARDOWSKI, W.F., NAGY, S., GRIERSON, W. *Fresh citrus fruits*. Avi Westport, Connecticut: Publishing Company, Inc. 1986. 571 p.