

2012

Fisiología de Poscosecha

Sandra Blandón Navarro

UNI

26/08/2012

Contenido

Introducción	2
2.1 Desarrollo, maduración y senescencia de frutas y hortalizas.	2
Maduración	2
Senescencia.....	3
Muerte celular programada en procesos del desarrollo	4
2.2 Factores biológicos y ambientales relacionados con el deterioro de los diferentes órganos vegetales.	7
2.3 Respiración, transpiración y producción de Etileno.....	10
Respiración.....	11
Transpiración.....	12
Producción de etileno	14
2.4 Frutos climatéricos y no climatéricos. Cambios asociados a la maduración	16
Principales cambios durante la maduración de los frutos.....	18
Bibliografía	24

Introducción

Los productos hortofrutícolas durante su período poscosecha experimentan una serie de cambios, asociados a las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo a nivel celular. Del mismo modo, la interacción con el ambiente condiciona la vida útil y la calidad de estos alimentos.

2.1 Desarrollo, maduración y senescencia de frutas y hortalizas.

El desarrollo se inicia con la formación de la parte comestible; se observa un endurecimiento del fruto, el crecimiento de la raíz, tubérculo o bulbo, o el alargamiento del tallo. El desarrollo se encuentra integrado por los procesos de premadurez y parte de la madurez.

El periodo de premadurez se inicia con el desarrollo y finaliza hasta que el producto comestible puede ser utilizado, pero no en las condiciones deseables. La madurez comienza antes de la cosecha y puede continuar, después de la recolección. Esta se traslapa con el periodo de premadurez y es seguida por la senescencia. La madurez finaliza cuando se da un cambio en el patrón de crecimiento de la parte comestible o cesa el agrandamiento natural del producto.

Maduración

El conjunto de procesos de desarrollo y cambios observados en la fruta se conoce como maduración. Como consecuencia de la maduración la fruta desarrolla una serie de

características físico-químicas que permiten definir distintos estados de madurez de la misma. Todo esto es de suma importancia en postcosecha en relación a los siguientes aspectos:

- Desarrollo de índices de madurez o cosecha.
- Definición de técnicas y frecuencia de cosecha.
- Exigencias de calidad del mercado (características externas/composición interna).
- Forma de consumo del producto (natural/procesado).
- Aplicación de técnicas adecuadas de manejo, conservación, transporte y comercialización.
- Vida potencial útil postcosecha.

En relación a los estados de madurez de la fruta, es conveniente conocer y distinguir de manera precisa el significado de los siguientes términos, de uso común en postcosecha:

- **Madurez fisiológica:** Una fruta se encuentra fisiológicamente madura cuando ha logrado un estado de desarrollo en el cual ésta puede continuar madurando normalmente para consumo aún después de cosechada.

Esto es una característica de las frutas climatéricas como el plátano y otras que se cosechan verde-maduras y posteriormente maduran para consumo en postcosecha. Las frutas no-climatéricas, como los cítricos, no maduran para consumo después que se separan de la planta.

- **Madurez hortícola:** Es el estado de desarrollo en que la fruta se encuentra apta para su consumo u otro fin comercial. La madurez hortícola puede coincidir o no con la madurez fisiológica.

- **Madurez de consumo u organoléptica.** Estado de desarrollo en que la fruta reúne las características deseables para su consumo (color, sabor, aroma, textura, composición interna).

Senescencia

La formación de semillas y frutos va asociada a un proceso de envejecimiento del resto de la planta. La senescencia puede terminar con la muerte de toda la planta, como en la mayoría de las herbáceas (senescencia monocárpica), o sólo de algunos tejidos y órganos, como en plantas pluriaruales (senescencia policárpica).

Asimismo, la senescencia se puede diferenciar según el tejido en el que tenga lugar, como

- foliar: Cuando una hoja deja de ser fotosintéticamente rentable, suele iniciarse su proceso de senescencia
- floral: Una vez ha tenido lugar la antesis y la polinización, los estambres, la corola, los pétalos y los sépalos inician su proceso de senescencia.
- frutal: El proceso de maduración del fruto requiere la senescencia de parte de sus tejidos, especialmente en frutos carnosos.

La senescencia también puede ser climatérica o no climatérica, según sea inducida o no por etileno.

Las células senescentes permanecen metabólicamente activas durante todo el proceso, aunque sufren un cambio de metabolismo encaminado al reciclaje de nutrientes. Señales hormonales o ambientales, asociadas a factores como la edad del tejido, iniciarán cascadas que activarán o inactivarán muchos genes, lo que conducirá a una reorganización estructural y metabólica. Finalmente, una vez finalizado el reciclaje celular, se perderá la integridad celular, de forma irreversible.

El patrón de senescencia está bien establecido. Así, en hojas se pierde primero la integridad de los cloroplastos, mientras que la del núcleo se mantiene hasta el final. A su vez, para asegurar el transporte de nutrientes reciclados, los tejidos vasculares en torno al órgano senescente son los últimos en envejecer. La síntesis de carbohidratos cesa y tiene lugar la degradación de las proteínas, clorofilas, lípidos y ácidos nucleicos, que requiere la síntesis de enzimas hidrolíticos (proteasas, nucleasas, lipasas y clorofilasas). Ello implica la activación específica de ciertos genes. La respiración se mantiene alta hasta el final de la senescencia.

La degradación de clorofila en hojas y frutos deja ver la pigmentación dada por los carotenoides. Muchas especies, además sintetizan nuevos carotenoides, y otros pigmentos de origen fenilpropanoide, como antocianinas y flavonoides que confieren nuevos colores a las hojas y a los frutos maduros antes de la abscisión. Otras rutas de síntesis de fenilpropanoides producirán lignina y taninos, así como fitoalexinas y ácido salicílico como protectores frente a patógenos.

El metabolismo oxidativo produce especies activas de oxígeno que disparan los mecanismos antioxidantes celulares. El balance entre producción de especies de oxígeno y su retirada por los mecanismos antioxidantes parece ser un regulador del programa de senescencia. Cuando los mecanismos antioxidantes son desbordados, el estrés oxidativo conducirá irreversiblemente a la muerte celular como fase final de la senescencia.

Muerte celular programada en procesos del desarrollo

Uno de los procesos más importantes para el desarrollo de las plantas vasculares es la xilogénesis o desarrollo del xilema, que se inicia durante la embriogénesis y se mantiene durante toda la vida de la planta. Las células del procambium y del cambium primero se desdiferencian y después se rediferencian hacia traqueidas, con la intervención primero de auxinas y citoquininas y después de Ca^{2+} , calmodulina, brasinólidos y proteasas específicas. La rediferenciación a traqueida, además de una elongación celular, implica la síntesis de una gruesa pared secundaria. Posteriormente se iniciará la muerte programada de estas células, comenzando por la lisis de la vacuola, continuando por la degradación de todo el contenido

celular y finalizando con el vaciado de la misma.

Durante el desarrollo del endospermo, además de la muerte de las células centrales, una vez almacenados los nutrientes, en el proceso de formación de vacuolas con proteínas de reserva en las células de la aleurona se almacenan hidrolasas ácidas. Durante la germinación, en respuesta a giberelinas el pH de estas vacuolas se acidifica, convirtiéndose en orgánulos líticos, que disparan un proceso de autofagia de las células de la aleurona, una vez cumplida su función digestiva para el proceso de germinación. El ABA inhibe fuertemente este proceso, previniendo la muerte de la aleurona durante el desarrollo de la semilla.

La forma de las hojas o la aparición de estructuras como tricomas, espinas, en la superficie de hojas y tallos son ejemplos de muerte programada. La formación de glándulas con aceites aromáticos, como las de la cáscara de los cítricos, se da previa formación de una cavidad con células que almacenan estos aceites seguida de una desintegración celular (lisigenia), a veces acompañada de separación de paredes (esquizogenia) para constituir un espacio intercelular.

El desarrollo reproductivo también está regulado por muerte celular programada. En la mayoría de las plantas con flores unisexuales, el desarrollo conduce a la aparición de primordios masculinos y femeninos, uno de los cuales tendrá que cesar su desarrollo y morir de forma programada. Posteriormente, durante la gametogénesis, tres de las cuatro megasporas generadas por meiosis degeneran y mueren, al igual que las células del tapete que rodea a los microesporocitos durante el desarrollo del polen. Tras la fecundación, el suspensor generado durante la embriogénesis degenera y muere tras unas cuantas divisiones mitóticas

Muerte celular programada en respuesta a estrés

Respuesta hipersensible

En este tipo de reacción, el tejido invadido por patógenos sufre un rápido colapso. La respuesta hipersensible está programada genéticamente en la planta. Los genes de resistencia de la planta (*R*) pueden reconocer a los productos de los genes de virulencia (*vir*) del patógeno, dándose una relación incompatible que disparará la muerte de las células invadidas y sus vecinas. A veces, la repuesta hipersensible es disparada solamente por aplicación de péptidos u oligosacáridos sintetizados por el patógeno, pudiéndose considerar en este caso un “asesinato” más que un “suicidio” celular.

Abscisión

La abscisión es la pérdida programada de un órgano (hoja, flor, fruto) de la planta, que tiene lugar al disolverse las paredes de un grupo de células especialmente localizadas en la planta, en el pecíolo en hojas y en el pedúnculo en frutos. Estas células forman parte de la “zona de abscisión” y tienen unas características distintivas. Son células más pequeñas, con el protoplasma más denso y sus paredes celulares no están lignificadas. Dentro de la zona de

abscisión se diferenciará una zona de separación en la que las células crecen y se disuelve la lámina media por pectinasas y celulasas. Las células de la cara más próxima a la planta se suberizan y el órgano caerá por su propio peso (frutos) o por factores ambientales (viento). Las heridas en las células de la planta se sellan con depósitos de suberina, lignina y sustancias gomosas en los vasos.

La abscisión se produce en tres etapas:

- de iniciación o activación por ciertos factores ambientales.
- de desarrollo, donde tienen lugar los cambios bioquímicos y estructurales de las células de la zona de abscisión.
- de separación, en que tiene lugar la separación física del órgano.

La caída del órgano tiene lugar el transporte de los nutrientes desde la hoja senescente a las hojas jóvenes. El control de la abscisión es llevado a cabo por auxinas y etileno. El transporte polar de auxinas desde el órgano a la planta, provoca un alto nivel de las mismas en la zona de abscisión y una inhibición de la síntesis de etileno. Cuando se inicia la senescencia, el nivel de auxinas disminuye y se estimula la síntesis de etileno que activará la transcripción de genes de enzimas hidrolíticas.

Senescencia de frutas

Es una fase en la que los procesos bioquímicos dan paso a los degradantes, que conducen al envejecimiento y posterior muerte. Como consecuencia las frutas se vuelven insípidas y la disolución de la lámina media hace que su textura se torne excesivamente blanda. También, durante la senescencia se evidencia la susceptibilidad de las frutas y hortalizas a los ataques por microorganismos.

El crecimiento y la maduración de la fruta sólo se completan cuando esta permanece unida a la planta, pero la maduración organoléptica y la senescencia pueden proseguir una vez separada aquella.

Senescencia foliar

El proceso de la senescencia foliar puede ser dividido en dos etapas: -1 un período inicial de redistribución de nutrientes que implica principalmente la degradación de los cloroplastos y la exportación del N y otros nutrientes liberados hacia otros órganos (v.g., semillas, tubérculos, etc); y -2 un proceso final de muerte celular una vez que la redistribución de nutrientes ha sido completada.

Aunque el término “senescencia” usualmente evoca la idea de irreversibilidad, el proceso de degradación de los cloroplastos y redistribución de nutrientes es reversible, y las hojas pueden “reverdecer” aún después que han perdido el 90% de la clorofila y proteínas (v.g., Zavaleta-Mancera et al. 1999).

La senescencia foliar es un proceso de importancia económica. Por ejemplo, los procesos de senescencia acortan la vida post-cosecha de muchas hortalizas de hoja, y en especies forrajeras pueden reducir la cantidad y calidad nutricional del forraje.

2.2 Factores biológicos y ambientales relacionados con el deterioro de los diferentes órganos vegetales.

Factores Intrínsecos

La relación entre el contenido de agua o humedad del producto y la humedad relativa del aire que lo rodea se denomina actividad de agua y constituye una característica importante del sistema formado por el producto o alimento y su atmosfera circundante.

Consideramos cierta cantidad de un elemento encerrada en un recipiente hermético y cuya superficie está en contacto con un espacio lleno de aire, a una temperatura dada. El agua presente en el ámbito ejercerá una presión de vapor menor al valor de la presión de vapor en estado de saturación en el aire. En otras palabras se presenta un desequilibrio entre las presiones de vapor del alimento y el aire. Esta descompensación es inestable, puesto que el sistema de aire alimento tenderá naturalmente a un estado de equilibrio dinámico pero estable entre las presiones de vapor de sus dos componentes. La humedad relativa del aire circundante del alimento tendrá entonces un valor inferior al 100% de saturación y corresponderá al contenido específico de humedad del producto a la temperatura del sistema. Esta humedad relativa del aire se denomina humedad relativa en equilibrio del alimento. Por tanto la actividad de agua (A_w) del producto equivaldrá a la relación entre la presión parcial del agua del alimento (P) y la presión de vapor del agua (P_o) pura a la misma temperatura.

$$A_w = P/P_o$$

Si se analiza esta relación de presión de vapor entre el alimento y el agua, veremos que ella equivale a la relación entre la humedad relativa de equilibrio (H_R) en términos de porcentajes y la humedad de saturación. Por tanto la actividad de agua podrá expresarse así:

$$A_w = H_R/100$$

En consecuencia la actividad acuosa debe entenderse como la humedad relativa en equilibrio expresada en forma de fracción decimal, expresión esta que tiene la ventaja de comunicar la idea de que la humedad del alimento es menos “activa” que el agua libre. Así, a elevados contenidos de humedad, cuando estos exceden a los de los sólidos, la actividad acuosa es cercana o igual a la unidad. Cuando el contenido de humedad es inferior a esta cantidad, la actividad acuosa es asimismo inferior a 1. Si construimos u observamos una grafica en cuyas abscisas se coloquen los contenidos de humedad de los alimentos y en las ordenadas las actividades de humedad, la actividad acuosa decrece con rapidez. A propósito, estas gráficas que relacionan el contenido de agua con la actividad acuosa son las llamadas isotermas de

sorción del agua.

Esta relación entre el contenido de humedad y la actividad acuosa reviste la mayor importancia en el desarrollo y en el control de los procesos de deterioro biológico, enzimático y químico de los alimentos. En efecto los estudios e investigaciones han llevado a la conclusión de que tales procesos de deterioro y descomposición se presentan con inconveniente y nociva rapidez solo a partir de ciertos valores mínimos en la actividad acuosa, de acuerdo con cada producto y con el tipo de agente deteriorante. Sin embargo, debemos tener siempre en cuenta que en el deterioro de los alimentos, junto con la actividad acuosa intervienen otros factores, como la temperatura.

Factores extrínsecos

Los factores extrínsecos incluyen parámetros impuestos por el ambiente externo en el que se encuentran las frutas y hortalizas durante el almacenamiento, los cuales tienden a afectar los productos y por tanto, los microorganismos tienden a desarrollarse sobre ellos. Estos factores incluyen los siguientes.

Temperatura de almacenamiento

Los microbios pueden desarrollarse en una amplia gama de temperaturas, y los cambio en la temperatura en ambos extremos alarga el tiempo de generación y periodos de latencia. El rango es bastante amplia de -34°C a 90°C, y de acuerdo a éste los microbios pueden ser agrupados como sigue.

Psicrótrofos. Estos microorganismos crecen bien a 7°C o por debajo de 7°C, con rangos óptimos que van desde 20 ° C a 30° C. Por ejemplo, Lactobacillus, Micrococcus, Pseudomonas, Enterococcus, Psychrobacter, Rhodotorula, Saccharomyces y Candida (levaduras), Mucor, Penicillium, Rhizopus (hongos) y Clostridium botulinum, Listeria monocytogenes, Yersinia enterocolitica, Bacillus cereus (psicrófilos patógenos).

El grupo de microorganismos que crecen desde -10°C a 20°C con rangos óptimos de 10-20°C son incluidos como psicrófilos y envuelve ciertos géneros mencionados anteriormente.

Mesófilos. Estos incluyen a los microorganismos que crecen mejor entre 20 ° C y 45°C con un rango óptimo de 30-40°C. Por ejemplo, Enterococcus faecalis, Streptococcus Aureus, y Leuconostoc.

Termófilos. Los microorganismos que crecen muy por encima de 45°C con rangos óptimos que oscilan entre 55°C y 65°C y con máximos por encima de 60-85 °C son conocidos como termófilos termotolerantes. Por ejemplo, Thermus sp. (termófilo extremo), Bacillus

sternothermophilus, *Bacillus coagulans*, *Clostridium thermosaccharolyticum* son endosporas termotolerantes y crecen entre 40°C y 60°C y crean grandes problemas en la industria de enlatados y conservas.

Termótrofos. Este grupo incluye los microorganismos similares a los mesófilos pero crecen a temperaturas óptimas ligeramente mayores e incluye bacterias patógenas en los alimentos. Por ejemplo, *Salmonella*, *Shigella*, enterovirulentos *E. coli*, *Campylobacter*, toxigénico *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, y *Clostridium perfringens*.

Humedad relativa del Ambiente

El éxito de una temperatura de almacenamiento depende de la relación la humedad del entorno que rodea a los alimentos. Por lo tanto, la humedad relativa afecta a_w dentro de un alimento procesado y el crecimiento de microorganismos en la superficie. Un alimento de baja a_w y que es mantenido a una humedad relativa alta tiende a absorber humedad hasta el establecimiento del equilibrio, y los alimentos a_w con alta humedad pierden humedad en un ambiente de baja humedad relativa.

Frutas y verduras sufren una variedad de crecimientos en la superficie, como levaduras y mohos, así como bacterias, y por lo tanto son susceptibles a la descomposición durante el almacenamiento en condiciones de HR bajas. Además, esta práctica puede causar ciertos atributos indeseables en la firmeza y la textura por la pérdida del climaterio, por lo que es necesario recurrir a combinación de parámetros sin bajar los valores HR.

Todas las frutas, hortalizas y raíces son partes de plantas vivas que contienen de un 65 a un 95 por ciento de agua y cuyos procesos vitales continúan después de la recolección. Su vida después de la cosecha depende del ritmo al que consumen sus reservas almacenadas de alimentos y del ritmo de pérdida de agua. Cuando se agotan las reservas de alimentos y de agua, el producto muere y se descompone. Cualquier factor que acelere el proceso puede hacer que el producto se vuelva incomedible antes de que llegue al consumidor. Se examinan a continuación las principales causas de las pérdidas, pero hay que tener en cuenta que en el proceso de comercialización del producto fresco todas están relacionadas entre sí, y en todas influyen condiciones externas tales como la temperatura y la humedad relativa.

Deterioro fisiológico

Las pérdidas causadas por los cambios fisiológicos normales se intensifican cuando intervienen condiciones que aceleran el proceso natural de deterioro, como temperaturas elevadas, baja humedad atmosférica y daños físicos. Cuando el producto se expone a temperaturas extremas, a modificaciones de la composición de la atmósfera o a contaminación, sufre un deterioro fisiológico anormal, que puede causar sabores desagradables, la detención del proceso de maduración u otras modificaciones de los procesos vitales, y puede dejar de ser apto para el consumo.

Ampliar en:

http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/bolarios/FisioVegetal/TeoriaFisioVegetal/Resumenes/tema26.htm

2.3 Respiración, transpiración y producción de Etileno

Las plantas verdes en crecimiento utilizan la energía de la luz solar que reciben sus hojas para fabricar azúcares combinando el dióxido de carbono del aire con el agua absorbida del suelo a través de las raíces. Ese proceso se conoce con el nombre de fotosíntesis. La planta almacena esos azúcares sin elaborarlos o combina las unidades de azúcar en largas cadenas para formar almidón. Los azúcares y almidones, llamados hidratos de carbono, se almacenan en diversas partes de la planta, a la que proporcionan posteriormente la energía que necesita para seguir desarrollándose y reproducirse. Las raíces y tubérculos almacenan las féculas durante el periodo de inactividad para poder aportar, al término de éste, la energía necesaria para la reanudación

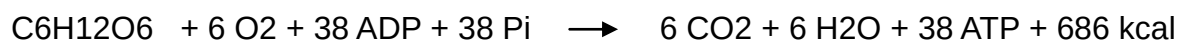
del crecimiento. En ambos casos la energía para el crecimiento se libera a través del proceso de respiración, que tiene lugar en todas las plantas antes y después de la cosecha.

¿Cuáles son las pautas normales de actividad de los productos frescos después de la cosecha?
¿Cómo afectan a esa actividad las condiciones existentes después de la cosecha, y cómo repercute todo ello en las pérdidas?

Por fisiología se entiende el estudio de los procesos que se producen en los seres vivos. Cuando se recolectan los productos frescos, esos procesos vitales continúan, aunque en forma modificada. Teniendo en cuenta que una vez cosechados ya no pueden reponer las sustancias nutritivas ni el agua, los productos han de utilizar sus reservas almacenadas, y cuando éstas se agotan se inicia un proceso de envejecimiento que conduce a la descomposición y a la putrefacción. Aunque no los ataquen los organismos causantes de la putrefacción, ese proceso natural de deterioro termina haciéndolos inaceptables como alimentos. Los principales procesos fisiológicos normales que conducen al envejecimiento son la respiración y la transpiración.

Respiración

La respiración (oxidación biológica) es la descomposición por oxidación de moléculas de sustratos complejos presentes normalmente en las células de plantas, tales como almidón, azúcares y ácidos orgánicos a moléculas más simples como el CO_2 y H_2O . Con esta reacción catabólica se da la producción de energía y de moléculas intermedias que se requieren para sostener la gran cantidad de reacciones anabólicas esenciales para el mantenimiento de la organización celular y la integridad de la membrana de las células vivas. El propósito principal de la respiración es mantener un suministro adecuado de Adenosina trifosfato (ATP). El proceso global de la respiración aeróbica implica la regeneración de ATP a partir de ADP (adenosina difosfato) y P_i (fosfato inorgánico) con la liberación de CO_2 y H_2O . Si un azúcar hexosa se utiliza como sustrato, en general ecuación se puede escribir de la siguiente manera:



Los componentes de esta reacción tienen diversas fuentes y destinos. 1 mol de glucosa (180 g) puede provenir del almacén de azúcares simples (por ejemplo, glucosa, sacarosa) o polisacáridos complejos (por ejemplo, almidón). Las grasas y las proteínas también pueden proporcionar sustratos para la respiración, pero de sus derivados (por ejemplo, ácidos grasos, glicerina y aminoácidos), por lo tanto entran en etapas posteriores al proceso cuando son convertidos en moléculas sencillas que han sido metabolizadas parcialmente. 192 g de O_2

(6 moles x 32 g / mol) se utilizan para oxidar 1 mol de glucosa difuso en el tejido de la atmósfera circundante, mientras que el 6 moles de CO₂ (264 g) se difunden fuera de los tejidos.

6 moles de agua (108 g) producidos son simplemente incorporados en la solución acuosa de la célula.

Hay tres destinos de la energía (686 kcal / mol de glucosa) producida por la respiración aeróbica. Alrededor de 13 kcal se pierden debido al aumento de la entropía cuando la molécula de glucosa se descompone en moléculas más simples.

Influencia de la disponibilidad de aire en la respiración

La respiración depende de la presencia de aire abundante. El aire contiene alrededor de un 20 por ciento de oxígeno, que es esencial para el proceso normal de respiración de la planta, en el que los almidones y los azúcares se convierten en dióxido de carbono y vapor de agua. Cuando disminuye la disponibilidad de aire y la proporción de oxígeno en el entorno se reduce a alrededor del 2 por ciento, la respiración es sustituida por un proceso de fermentación que descompone los azúcares en alcohol y dióxido de carbono, y ese alcohol hace que el producto tenga un sabor desagradable y promueve el envejecimiento prematuro.

Influencia del dióxido de carbono en la respiración

Cuando, por disminuir la disponibilidad de aire, el producto no está suficientemente ventilado, se acumula a su alrededor el dióxido de carbono. El aumento de la concentración de ese gas en la atmósfera hasta valores comprendidos entre el 1 y el 5 por ciento estropea rápidamente el producto, causando sabores desagradables, descomposición interna, detención del proceso de maduración y otras condiciones fisiológicas anormales. La ventilación adecuada del producto tiene, pues, una importancia fundamental.

Transpiración

La mayoría de los productos frescos contienen, en el momento de la cosecha, del 65 al 95 por ciento de agua. Dentro de las plantas en crecimiento existe un flujo continuo de agua. Esta se absorbe del suelo por las raíces, sube por los tallos y se desprende por las partes aéreas, sobre todo por las hojas, como vapor de agua.

El paso del agua a través de las plantas, propiciado por la presión existente en el interior de éstas, se denomina corriente de transpiración, y contribuye a mantener el contenido de agua de la planta. La falta de agua hace que las plantas se agosten, y puede provocar su muerte.

La superficie de todas las plantas está recubierta de una capa cerosa o suberosa de piel o cáscara que limita la pérdida de agua. La pérdida natural de agua de la planta sólo se produce a través de unos poros minúsculos que son más numerosos en las hojas. Los poros de la superficie de la planta pueden abrirse y cerrarse en función de los cambios de las condiciones atmosféricas a fin de controlar la pérdida de agua y de mantener firmes las partes en crecimiento.

Los productos frescos siguen perdiendo agua después de la cosecha, pero, a diferencia de las plantas en crecimiento, ya no pueden reponer el agua a partir de la tierra, y tienen que recurrir al contenido de agua que tuvieron en el momento de la recolección. Esta pérdida de agua de los productos frescos después de la cosecha constituye un grave problema, que da lugar a mermas y a pérdidas de peso.

Cuando el producto recolectado pierde de un 5 a un 10 por ciento de su peso original, empieza a secarse y pronto resulta inutilizable. Para prolongar la vida útil del producto, el nivel de pérdida de agua debe ser lo más bajo posible.

Efecto de la humedad del aire en la pérdida de agua

Dentro de todas las plantas existen espacios de aire para que el agua y los gases puedan atravesar todas sus partes. El aire de esos espacios contiene vapor de agua que es una combinación del agua de la corriente de transpiración y de la producida por la respiración. El vapor de agua hace presión hasta salir por los poros de la superficie de la planta. La velocidad a la que se pierde el agua de las distintas partes de la planta depende de la diferencia entre la presión del vapor de agua en el interior de la planta y la presión del vapor de agua del aire. Para que la pérdida de agua de los productos frescos sea lo más baja posible es necesario conservarlos en ambientes húmedos.

Influencia de la ventilación en la pérdida de agua

Cuanto más deprisa se mueve el aire alrededor de los productos frescos más rápidamente pierden agua. La ventilación de los productos es esencial para eliminar el calor producido por la respiración, pero la velocidad de renovación del aire debe mantenerse lo más baja posible. Materiales de embalaje bien diseñados y sistemas de apilamiento adecuados para canastas y cajas pueden contribuir a controlar la corriente de aire a través de los productos.

Influencia del tipo de producto en la pérdida de agua

El de la pérdida de agua varía en función del tipo de producto. Las hortalizas de hojas comestibles, especialmente las espinacas, pierden agua rápidamente porque tienen una piel cerosa fina con muchos poros. Otras, como las papas, que tienen una gruesa cáscara suberosa con pocos poros, pierden el agua a un ritmo muy inferior. El factor más significativo de la pérdida de agua es la relación superficie/volumen de la parte en cuestión de la planta. Cuanto mayor es la superficie con respecto al volumen más rápida es la pérdida de agua.

Producción de etileno

El etileno es una sustancia natural (hormona) producida por las frutas. Aún a niveles bajos menores que 1 parte por millón (ppm), el etileno es fisiológicamente activo, ejerciendo gran influencia sobre los procesos de maduración y senescencia de las frutas, influyendo de esta manera en la calidad de las mismas. Asimismo, la formación de la zona de desprendimiento de la fruta del resto de la planta (abscisión), también es regulada por esta sustancia. Lo mencionado evidencia la importancia que tiene el etileno en la fisiología postcosecha.

No existe relación entre la cantidad de etileno que producen distintas frutas (tabla) y su capacidad de conservación; sin embargo, la aplicación externa de este gas generalmente promueve el deterioro del producto acortando su vida de anaquel (tiempo útil para su comercialización).

Tabla. Clasificación de algunas frutas tropicales según su producción de etileno. Adaptado de: (Kader, A.A., 1992).

Clase	Etileno (ml/kg/h a 20°C)	Producto
Muy bajo	< 0.1	Cítricos
Bajo	0.1 - 1.0	Piña, melón casaba, sandía
Moderado	1.0 - 10.0	Mango, melón "Honey Dew", plátano
Alto	10.0 - 100.0	Melón reticulado, palta (aguacate), papaya
Muy alto	> 100.0	Maracuyá

El nivel de etileno en frutas aumenta con la madurez del producto, el daño físico, incidencia de enfermedades y temperaturas altas. El almacenamiento refrigerado y el uso de atmósferas con menos de 8% de O_2 y más de 2% de CO_2 , contribuyen a mantener bajos niveles de etileno en el ambiente de postcosecha.

El etileno es un compuesto constituido por dos átomos de carbón y un enlace insaturado doble. Esta sustancia es un gas a temperaturas normales y es fisiológicamente activa a concentraciones tan bajas como 1 parte por billón (ppb). Concentraciones de etileno de 1 a

10 ppm normalmente saturan la respuesta fisiológica en la mayoría de los tejidos. En altas concentraciones, este gas tiene efecto anestésico o asfixiante en humanos. El etileno es muy explosivo a concentraciones de 3.1 a 3.2 % en volumen, por lo que su uso en cámaras de maduración debe ser realizado bajo condiciones de seguridad adecuadas. El riesgo de explosión puede eliminarse utilizando mezclas de etileno con gases inertes. La proporción del gas inerte debe ser tal que no permita combinaciones explosivas de etileno y O_2 en el ambiente.

La producción de etileno en los tejidos vegetales se incrementa en el rango de temperatura de $0^{\circ}C$ a $25^{\circ}C$. Temperaturas mayores que $30^{\circ}C$ restringen drásticamente la síntesis y acción del etileno.

La necesidad de O_2 y de energía metabólica del producto para la producción de etileno permiten manipular el ritmo de síntesis y efectos de este gas mediante el uso de atmósferas controladas e hipobáricas. Niveles de O_2 menores que 8 % y de CO_2 mayores que 2 % limitan de manera significativa la síntesis y acción del etileno en el producto cosechado.

Comercialmente el etileno es utilizado principalmente para inducir la maduración de consumo de frutas climatéricas como el plátano y para desarrollar el color típico de ciertas frutas no climatéricas como los cítricos. No existe restricción alguna en los mercados internacionales respecto al uso del etileno en la postcosecha de frutas.

Las concentraciones de etileno requeridas para madurar organolépticamente frutas climatéricas son de 0.1 a 1 ppm, en la mayoría de los casos. La aplicación del tratamiento debe ser durante la fase pre-climatérica. Aplicaciones tardías (fase climatérica o post-climatérica) son innecesarias y por lo tanto inútiles, debido a que en esas circunstancias los tejidos se hallan saturados de etileno naturalmente producido por la fruta y el proceso de maduración de consumo totalmente inducido.

Las condiciones óptimas para la maduración de frutas como el plátano, mango y papaya con etileno exógeno incluyen temperaturas de $19 - 25^{\circ}C$, 90 _ 95 % de humedad relativa y 10 _ 100

ppm de etileno. La duración del tratamiento varía entre 24 y 72 horas, dependiendo del tipo de fruta y de su estado de madurez. Para asegurar una distribución uniforme del etileno y eliminación del CO₂ generado por el producto, son necesarias una buena circulación del aire y ventilación apropiada, en las cámaras de maduración.

Para desarrollar el color en algunas frutas no climatéricas como los cítricos el tratamiento que varía de 24 a 72 horas, incluye niveles de 1 _ 10 ppm de etileno, 20 _ 29°C y 90 _ 95 % de humedad relativa. Durante el tratamiento se destruye la clorofila presente en las frutas y se ponen de manifiesto los pigmentos carotenoides característicos de éstas.

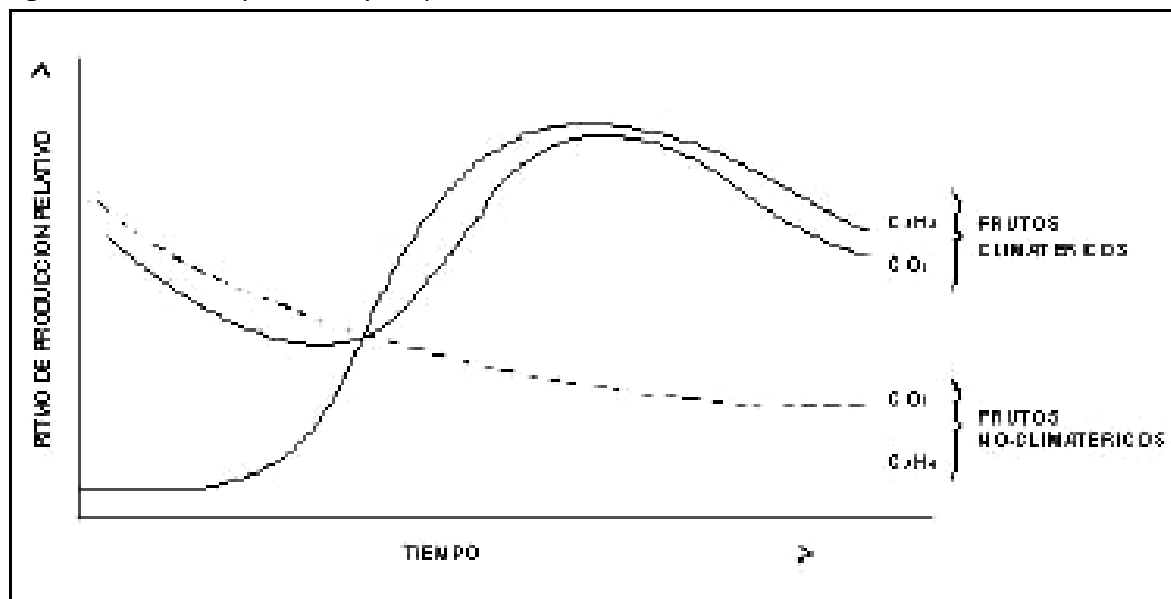
El etileno se puede generar del ácido 2-cloroetano fosfónico (etefón) en solución acuosa. Cuando el pH de dicha solución es mayor que 5, la molécula de etefón se hidroliza espontáneamente liberando etileno. El etefón se comercializa con el nombre de "Ethrel". La aplicación de este producto en postcosecha solo está autorizada para ciertas frutas. Su uso en postcosecha requiere sumergir o asperjar el producto con una solución de esta sustancia. Su aplicación no requiere de infraestructura y equipos adicionales como en el caso del tratamiento con etileno gaseoso. Por tratarse de un producto corrosivo debe ser manipulado con cuidado para evitar accidentes.

2.4 Frutos climatéricos y no climatéricos. Cambios asociados a la maduración

Las frutas se clasifican en climáticas y no- climáticas, según su patrón respiratorio y de producción de etileno durante la maduración organoléptica o de consumo (figuras). Las frutas climatéricas incrementan marcadamente su ritmo respiratorio y producción de etileno durante la maduración organoléptica. De igual manera, los cambios asociados con esta etapa de desarrollo (color, sabor, aroma, textura) son rápidos, intensos y variados.

Por el contrario, en las frutas no-climáticas, los procesos de desarrollo y maduración organoléptica son continuos y graduales; manteniendo éstas, en todo momento, niveles bajos de respiración y de producción de etileno.

Figura . Patrón respiratorio y de producción de etileno en frutas.



Las frutas climatéricas pueden ser maduras organolépticamente en la planta o después de cosechadas. Las frutas no-climatéricas sólo maduran para consumo en la planta.

Tabla. Clasificación de algunas frutas en función de su comportamiento respiratorio.

FRUTAS CLIMATERICAS	FRUTAS NO CLIMATERICAS
Aguacate (<i>Persea americana</i>) Chirimoya (<i>Anona cherimolia</i>) Granadilla (<i>Passiflora edulis</i>) Mango (<i>Magnifera indica</i>) Melón (<i>Cucumis melo</i>) Papaya (<i>Carica papaya</i>) Plátano (<i>Musa</i> spp.) Maracuyá (<i>Passiflora edulis</i>)	Limón sutil (<i>Citrus aurantifolia</i>) Mandarina (<i>Citrus reticulata</i>) Naranja dulce (<i>Citrus sinensis</i>) Sandía (<i>Citrullus vulgaris</i>) Piña (<i>Ananas comosus</i>) Pomelo (<i>Citrus paradisi</i>) Toronja (<i>Citrus grandis</i>) Uva (<i>Vitis vinifera</i>)

En la producción y comercialización en gran escala de los frutos se recurre a la maduración artificial para controlar el ritmo de maduración y poder así planear cuidadosamente las operaciones de transporte y distribución.

Principales cambios durante la maduración de los frutos

Durante la maduración se dan una serie de transformaciones que modifican la composición química y la estructura del fruto y hacen posible que éstos, que al principio estaban verdes, duros, de sabor y olor poco intensos se transformen en la maduración en coloreados, blandos y perfumados y con la calidad sensorial deseada del consumidor.

Durante la maduración, el fruto sufre una serie de modificaciones fisicoquímicas (Wills *et al.*, 1998). Entre estos cambios se mencionan:

1. **Cambio de color**, por degradación de la clorofila, por medio de sistemas químicos o enzimáticos. Se desenmascaran los pigmentos carotenoides (naranja y amarillo) y los antocianos (azules, rojos). También habrá nueva síntesis de pigmentos. El color es el más manifiesto entre los cambios experimentados por muchos frutos durante la maduración, y con frecuencia, el más importante de los criterios utilizados por el consumidor para decidir si el fruto está maduro o no, es el del color.
2. **Pérdida de firmeza** como consecuencia de la degradación de protopectinas insolubles que pasan a pectinas solubles, con lo cual la pulpa tendrá menos dureza cuando el fruto es maduro. Durante la maduración la firmeza de los frutos generalmente tiende a disminuir debido a enzimas que actúan a nivel de pared celular, la cual da las principales características de firmeza. La firmeza está directamente relacionada con la textura, el término textura indica las propiedades que se perciben a través del sentido del tacto, es un atributo importante de calidad que influye en los hábitos alimentarios, la salud oral y la preferencia del consumidor. Las enzimas responsables del proceso de ablandamiento de las frutas son la poligalacturonasa o pectinasa y la pectin metil esterasa.
3. **Pérdida de peso**. La pérdida de peso es una consecuencia directa de la de agua. Durante la postrecolección ocurre una pérdida de peso que se acompaña por otros cambios como pérdida de firmeza. Su consecuencia, además de una reducción en peso, es el arrugamiento en la superficie y el ablandamiento de las frutas.
4. **Modificación del sabor**. El fruto sufre una serie de cambios organolépticos, principalmente de olor y sabor, que están ligados a una variación de concentraciones o modificaciones de las siguientes sustancias: hidratos de carbono, ácidos, taninos, productos orgánicos volátiles.

a) Hidratos de carbono. Durante la maduración hay degradación en el contenido de carbohidratos poliméricos, almidón y hemicelulosas, particularmente frecuente en la casi total conversión del almidón en azúcares. Este cambio cuantitativamente es el más importante

asociado con la maduración de frutas y hortalizas (Albi y Gutiérrez, 1991). Estas transformaciones tienen el doble efecto de alterar tanto el gusto como la textura, ésta mejora al principio al producirse un ablandamiento y empeora cuando éste se hace excesivo. A pesar del consumo de una parte de los azúcares por la actividad respiratoria, se produce un aumento de su contenido que hace a los productos más dulces y aceptables, este aumento proviene de la hidrólisis ya sea del almidón o bien de hemicelulosas de paredes celulares. El almidón acumulado durante el crecimiento cuando llega la maduración y senescencia se degrada a azúcares solubles, principalmente glucosa, sacarosa, fructosa, esto es afectado por la condición fisiológica de las frutas y vegetales al igual que por la temperatura y el tiempo de almacenamiento. La hidrólisis del almidón es uno de los cambios más comunes que acompaña la maduración de muchos frutos climatéricos. El hecho de que los azúcares, glucosa, fructosa y sacarosa sean transformados en los tejidos vegetales, es la causa de que se produzcan variaciones en sus perfiles y que se acumulen unos u otros en las diferentes clases de frutos durante la maduración. Debido a que el dulzor de cada azúcar es diferente, es frecuente no encontrar buena correlación entre el sabor dulce y el contenido de sólidos solubles.

b) Ácidos. La maduración de la fruta es acompañada por cambios en los ácidos orgánicos. Estos alcanzan su máximo durante el crecimiento y desarrollo de la fruta en el árbol. La maduración presupone un descenso de la acidez, debido a que los ácidos orgánicos son degradados o bien convertidos a azúcares disminuyendo, consiguientemente, su concentración en el curso de la misma siendo este incremento en el contenido de azúcares responsable de la dulzura de las frutas. En el momento de la maduración la acidez alcanza un valor promedio de 3 miliequivalentes por 100 g de fruta, según la variedad de que se trate.

c) Sustancias volátiles. Los componentes orgánicos volátiles que aparecen durante el desarrollo y la maduración fisiológica de los frutos, cuyo metabolismo se activa con la maduración organoléptica, son responsables del aroma de las frutas y al aumentar su concentración y variando su perfil junto con el contenido de azúcares y ácidos y la riqueza en taninos (astringentes), son los responsables más importantes o al menos los que van a incidir más en la calidad sensorial de aquellos. Están constituidas principalmente por ésteres, alcoholes, aldehídos y cetonas. Estos compuestos sólo representan una baja fracción de la emisión volátil de las frutas, el carbono desprendido bajo esta forma sólo representa del 0.1 al 1% del carbono desprendido bajo la forma de anhídrido carbónico y además está constituido por un 80% de etileno desprovisto de olor. Entre los compuestos no volátiles que contribuyen al sabor de las frutas, hay que mencionar preferentemente los flavonoides, constituyentes fenólicos astringentes, que desaparecen en parte durante la maduración.

Otros cambios que se pueden dar durante la maduración son: pérdida de vitamina C, disminución de los elementos minerales, síntesis de proteína en aumento debido a que se da la síntesis de muchas enzimas. Todas estas modificaciones varían según las variedades y otros factores agronómicos y climáticos.

Los cambios fisiológicos más importantes son los de la actividad respiratoria y los del ritmo de producción de etileno (Wills, 1977).

Un resumen de estos cambios se menciona en la siguiente tabla:

Tabla. Cambios durante la maduración

Azúcares	Fructosa, glucosa y sacarosa	Dulzor. Aumentan con la maduración
Ácidos	Málico Cítrico	Acidez. Disminuyen con la maduración
Compuestos fenólicos	Ac. Caféico Taninos	Astringencia. Bajan con la maduración.
Polisacáridos	Almidón Pectinas	Dan consistencia firme a los frutos. Se hidrolizan durante la maduración
Colorantes	Clorofila	En frutas verdes. Se degrada en la maduración.
Vitaminas	C	Baja en la maduración
Aromas	Complejos	Aumentan en la madurez
Varios	Ácidos, Fenoles, Pectinas, Clorofila	Su degradación se exalta en el climaterio respiratorio
Varios	Azúcares Carotenoides, Antocianinas Aromas	Su biosíntesis se exalta en el climaterio respiratorio

Fuente: Primo Yúfera, 1997

Degradación del almidón

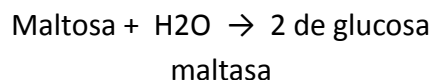
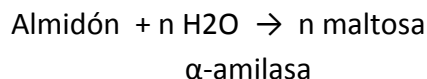
La liberación metabólica de la glucosa del almidón es esencial para permitir la utilización del almidón como una fuente de energía. Como se ha señalado para la biosíntesis, las reacciones de degradación pueden tener lugar como un proceso dinámico con biosíntesis o pueden estar separados temporalmente. Esto requiere una coordinación metabólica más estricta y el control del proceso dinámico, en contraposición al proceso temporalmente separado. La degradación del almidón de la hoja debe ser libremente reversible para permitir que se produzcan reacciones de biosíntesis. Por lo menos parte del aumento en la degradación del almidón en tejidos de reserva se debe a la síntesis de la enzima. La degradación de los tejidos por lo general

se produce durante la degradación del almidón almacenado que se opone al continuo control metabólico y contribuye a la naturaleza menos reversible del proceso (Preiss y Levi, 1980).

La degradación del almidón se inicia en el gránulo de almidón y requiere la participación conjunta de α -amilasa, β -amilasa, fosforilasa, maltasa y de la liberación de glucosa y glucosa-1-fosfato como producto final. Muchas de estas enzimas están en apariencia continuamente presentes en los tejidos de la planta en las proximidades de los gránulos de almidón. Al parecer, la maltosa, el producto final de las enzimas amilasa, inhibe la actividad de las amilasas. La maltasa rompe la maltosa en dos de sus componentes residuos de glucosa, y por lo tanto la tasa de degradación de maltosa regula la actividad de la amilasa.

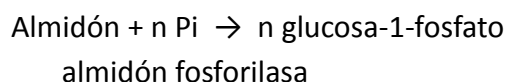
a. Disolución del gránulo de almidón

La amilosa y la amilopectina existen conjuntamente muy unidas en los gránulos de almidón, en una estructura semicristalina. Para que la glucosa pueda ser liberada a partir de almidón, los residuos glucosilo en el gránulo almidón deben ser solubilizados, empezando por las superficies exteriores de los gránulos. La función de la α -amilasa en la disolución del gránulo de almidón es para fragmentar rápidamente la amilosa en maltodextrinas y luego más lentamente degradar las maltodextrinas de cadena más larga, sobre todo en maltosa (también se puede producir pequeñas cantidades de glucosa y maltotriosa). Durante el proceso, la molécula de agua extraída de residuos glucosilo en la biosíntesis del almidón se sustituye. La maltosa se descompone en dos moléculas de glucosa por la acción de la maltasa:



b. La degradación del almidón soluble

La misma enzima puede degradar aún más las maltodextrinas liberadas de los gránulos de almidón, α -amilasa, o pueden ser degradadas por β -amilasa y fosforilasa. La actividad enzimática de β -amilasa es básicamente la misma que la descrita para la α -amilasa. La fosforilasa rompe las maltodextrinas del extremo no reductor de la glucosa-1-fosfato, y requiere de P_i para la actividad. A diferencia de la escisión hidrolítica mostrada por las enzimas amilasa, la fosforilasa incorpora un grupo fosfato, y no agua, durante la degradación del almidón:



Al igual que las enzimas amilasa, la fosforilasa carece de la capacidad de romper el α -1,4 : α -1,6 glucosil, punto de ramificación de la amilopectina.

Bases para los CAMBIOS fisiológicos de COLOR en postcosecha

Las verduras siguen siendo los tejidos vivos que respiran después de la separación de la planta a la cosecha. Las rutas metabólicas responsables del desarrollo de color asociado con la maduración y la senescencia pueden seguir funcionando después de esa separación. Además, las respuestas a las mecánicas, físicas, químicas, o tensiones patológicas pueden conducir a cambios de color en los vegetales cosechados.

A. La maduración de vegetales

La maduración es uno de los cambios de color más dramático de hortalizas cosechadas. Un tomate sazón puede cambiar de color de verde a rojo brillante completamente en menos de una semana, sobre todo si se estimula por la adición de gas de etileno en la atmósfera de almacenamiento. Este cambio fisiológico es el resultado de la conversión de un cloroplasto a cromoplasto (Cheung et al. 1993; Khudairi, 1972).

El etileno, inducido catalíticamente en cámaras de maduración comerciales o autocatalíticamente por el propio tejido, induce la maduración. La clorofila, que se encuentra en los tilacoides, se degrada rápidamente a medida que avanza la maduración. El licopeno, un pigmento carotenoides responsable de la coloración roja, se acumula rápidamente en forma de cristales en el cromoplasto durante las últimas etapas de maduración. Si el proceso es más lento, puede haber un período comprendido entre la degradación de la clorofila y la acumulación de licopeno de tal manera que el color amarillo-naranja del β -caroteno se puede observar. Las concentraciones de β -caroteno tienden a cambiar muy poco durante la maduración en frutos retirados de la planta.

Algunos cultivares de tomate tienen niveles mucho más altos de β -caroteno y tienden a madurar a un color naranja brillante en lugar de rojo.

B. Coloración amarillenta de los vegetales verdes

La coloración amarillenta de vegetales de color verde es el resultado de senescencia avanzada. El Brócoli proporciona un claro ejemplo de la pérdida de la calidad y aceptabilidad debido al amarillamiento. Los carotenoides amarillos coexisten con la clorofila en productos recién cosechados de color verde. La clorofila se degrada rápidamente durante la senescencia y se exponen los pigmentos de color amarillo más claro. El Proceso fisiológico es también la conversión de los cloroplastos a cromoplasto, pero sin mayor acumulación de otro pigmento. La mayoría de las verduras verdes se someterán a degradación de la clorofila si se almacenan durante un largo período. La producción de etileno en el brócoli, ya sea por reproducción estructuras tales como los estambres y el pistilo (Tian et al., 1994) o lesiones asociadas con un

mínimo de procesamiento (Bastrash et al., 1993), acelerará el proceso de degradación. Los inhibidores, como las citoquininas, el embalaje, y baja temperatura de almacenamiento, puede inhibir la coloración amarillenta en la cabeza del brócoli (Shewfelt et al., 1983). Bajos niveles de O₂, alto CO₂ pueden inhibir la coloración amarillenta del brócoli cortado en condiciones de bajas temperaturas (Bastrash et al., 1993).

C. Magulladuras

Las Magulladuras dan como resultado una coloración parda cuando las células han sido afectadas por daños mecánicos. Las contusiones son particularmente frecuentes en los tubérculos de papa, los cuales se someten a numerosas agresiones mecánicas durante la cosecha y la manipulación (Hyde et al., 1992). El tubérculo de papa está compuesto de células que almacenan almidón en los amiloplastos. La membrana celular y las partes interiores de la célula, mantienen a las enzimas degradantes separadas de los sustratos. Cuando las células se ven afectadas por daños mecánicos durante la cosecha o el transporte, se da la ruptura de las membranas celulares, permitiendo que las enzimas como la polifenol oxidasa (PPO) ataquen sustratos fenólicos como el catecol y la tirosina, que se encuentran en el citoplasma (Chowdhury et al., 1993). El producto resultante, la melanina, es de color marrón a negro y se considera indeseable para los consumidores y por lo tanto para los distribuidores. La decoloración negra de papas dañadas se ha asociado con la acumulación de tirosina libre, que se atribuye a la aceleración de proteinasas y no a la biosíntesis de tirosina (Sabba y Dean, 1994). Otras hortalizas particularmente susceptibles a la decoloración marrón a causa de hematomas son calabazas y lechuga.

D. Heridas

Las heridas pueden dar lugar a otros colores diferentes del marrón. Las heridas de zanahorias durante el troceado y rebanado puede dar lugar a una coloración blanca que aparece en la superficie de corte. El tono blanco de la coloración puede llegar a ser desagradable entre los primeros 3 días de troceado o rebanado (Bolin y Huxsoll, 1991). El desarrollo de la decoloración después del pelado por abrasión se debe a una combinación de deshidratación (Tatsumi et al., 1991) y lignificación (Bolin y Huxsoll, 1991), que se asocia con el aumento de la actividad de fenilalanina amonio-liasa (PAL) (Howard y Griffin, 1993). El uso de revestimientos a base de caseinato (Avena-Bustillos et al., 1993) o la inmersión en soluciones de ácido (Bolin y Huxsoll, 1991) desacelerará el desarrollo del color blanco. La absorción del etileno en atmósferas modificadas no tiene ningún efecto sobre la coloración blanca (Howard y Griffin, 1993).

E. Trastornos fisiológicos

Los trastornos fisiológicos, por lo general en respuesta a condiciones de estrés en el almacenamiento, dan como resultado la decoloración de verduras. Algunos ejemplos específicos incluyen manchas rojizas de la lechuga y las picaduras asociadas con daños por frío de chiltomas. Las manchas rojizas son causadas por una combinación de factores. El mecanismo para el desarrollo incluye heridas, exposición al etileno, y bajas temperaturas de almacenamiento, lo que provoca aumento de la respiración y la actividad del PAL elevada, en última instancia conduce a la lignificación y dorado (Ke y Saltveit, 1989). El daño por frío es un síndrome poco definido definido, con una amplia gama de síntomas en numerosos cultivos susceptibles que resulta de la exposición a bajas temperaturas por encima del punto de congelación (Shewfelt, , 1992). El chiltoma, un cultivo susceptible, desarrolla áreas hundidas en el pericarpio que se extienden hasta el mesocarpio sin rotura de la epidermis (Lurie et al., 1994) cuando se almacena suficiente tiempo a una temperatura perjudicial. Posteriormente, las áreas picadas se vuelven negras, zonas de necrosis, debido a infecciones secundarias. La causa del daño por frío no ha sido plenamente aclarada, aunque la mayoría de las investigaciones sugieren un papel importante de la degradación de las membranas celulares.

Bibliografía

Barta, J., Pilar, C. M., W., G. T., S., S. J., & Sinha, N. K. (2006). Handbook of Fruits and Fruit Processing. Iowa, USA: Blackwell Publishing.

FAO, 2003. Mejoramiento de la calidad e inocuidad de las frutas y hortalizas frescas: un enfoque práctico.

GLOSARIO

Citoquininas: Se definen como citoquininas a los compuestos naturales o de síntesis que en presencia de adecuadas concentraciones de auxinas inducen la división celular en cultivos de tejidos vegetales.

Tilacoide: es la unidad estructural de la fotosíntesis. Procariotas y eucariotas poseen estos sacos/vesículas aplanados en cuyo interior se encuentran los productos químicos intervinientes en la fotosíntesis.