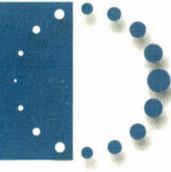


Capítulo 2



Cambios físicos y químicos que ocurren durante el crecimiento y maduración de los productos hortifrutícolas y su relación con la calidad

Aída Esther Peñuela M.



Es importante conocer las características físicas y químicas de los productos hortifrutícolas al momento de la cosecha, porque éstas determinan su calidad final y por tanto, su comportamiento durante la poscosecha y el almacenamiento. Dado lo anterior, surge la necesidad de utilizar índices de madurez que, además de dar información sobre el producto, permiten estimar el momento de la cosecha de acuerdo con el objetivo comercial requerido.

Los atributos de calidad de las frutas y hortalizas frescas incluyen apariencia, textura, sabor y valor nutritivo (23), tal como se describen a continuación:

- **Apariencia**, que está influenciada por el color para la mayoría de las frutas. Además, considera el tamaño y la forma.
- **Textura**, que incluye factores como firmeza, frescura y jugosidad.
- **Sabor**, que involucra componentes como el grado de dulzura, acidez, astringencia, amargor, aroma y sabores residuales.
- **Valor nutritivo**, que está determinado por el contenido de vitaminas (de las cuales la A y la C son las más importantes para las frutas), minerales, fibra, carbohidratos y proteínas.

Las características de las frutas al momento de la cosecha, definen la calidad inicial del producto y se convierten en la referencia para determinar las variaciones en la calidad del producto al final de la cadena de comercialización. Estos cambios se pueden identificar por medio de la

pérdida de agua o jugosidad, daños físicos o pérdida de textura, y variaciones en acidez y dulzor.

Las frutas se definen botánicamente como el ovario desarrollado de la flor, haya o no sido fecundado. En general el fruto se forma a partir del crecimiento de las paredes del ovario, en los cuales desde el momento de la fecundación empieza una gran actividad de división celular que determina los primeros aumentos de tamaño (6). En el presente capítulo se explicará su proceso de desarrollo, el cual está dividido en tres principales estados fisiológicos después de la formación del fruto, que son: crecimiento, maduración y senescencia. De ellos, se hace una ampliación acerca de los dos primeros estados, debido a su aplicación en esta investigación.

Las hortalizas se definen como las partes de la planta que pueden ser consumidas por el ser humano, tales como las inflorescencias, las flores, los tallos, las hojas y las raíces. Al igual que las frutas, las hortalizas pasan por las etapas de crecimiento, madurez y senescencia, aunque se explicarán las etapas que influyen directamente sobre la calidad final del producto, como el crecimiento. En la Figura 1, se observan las etapas de crecimiento y desarrollo de los productos hortifrutícolas relacionadas con el tiempo.

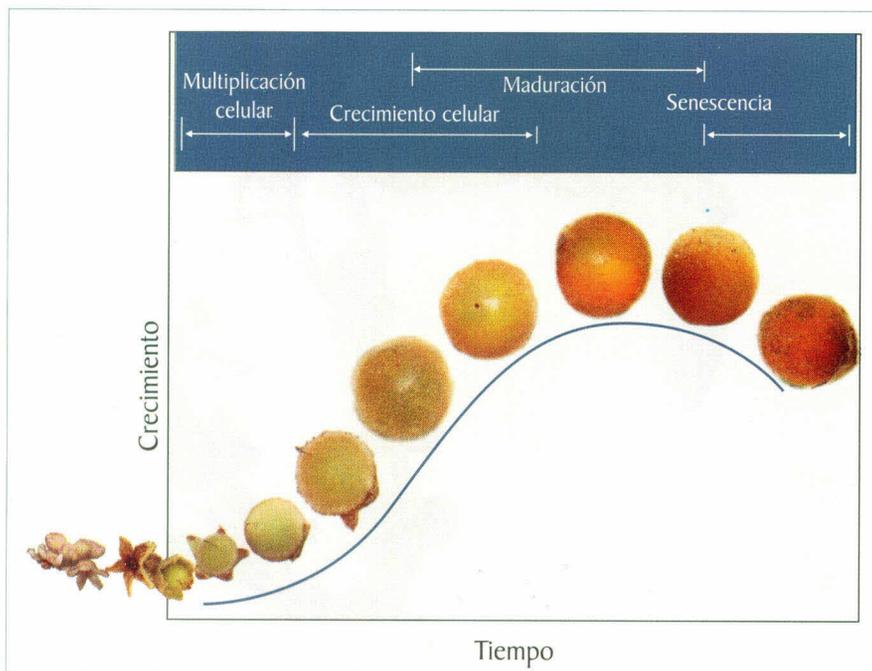


Figura 1

Etapas de desarrollo de los productos hortifrutícolas.

CRECIMIENTO

□ VARIACIONES DE TAMAÑO

El tamaño final de los frutos depende de muchos factores que ocurren durante el proceso de desarrollo; dentro de éstos se destaca la expansión del fruto debido al incremento en el volumen celular, asociado directamente con el aumento del contenido de agua de las células, también conocido como expansión celular. Lo anterior explica que en una misma planta hayan frutos de diferentes tamaños y con algunas variaciones de forma (29).

Así mismo, las variaciones en el tamaño de los frutos se ven influenciadas por los siguientes factores (58):

- **Genéticos**, considerados como los más determinantes, debido a la influencia de género y especie en las características finales de tamaño. Casi todos los frutos de una misma variedad se pueden encontrar dentro de un rango de formas y tamaños.
- **Edáficos**, el tipo de suelo y sus características físicas y químicas pueden favorecer o limitar el desarrollo de las raíces y la nutrición de las plantas, y la expresión de su potencial genético; por tanto, influyen sobre el tamaño de los frutos.
- **Ambientales**, tales como la radiación solar, la temperatura, la precipitación y la humedad relativa. Se ha determinado su influencia sobre la velocidad de crecimiento y tamaño final.
- **Fisiológicos**, tales como el porcentaje de cuajamiento y número de frutos por planta.

El registro de dimensiones como peso, longitud y diámetro, permite identificar las características de tamaño de los diferentes productos estudiados. La relación entre estas dimensiones determina:

- El rango de tamaño específico.
- La forma característica de cada especie, lo cual permite diferenciar las variedades.
- Los calibres de cada producto de acuerdo a una de estas dimensiones.
- El comportamiento de la producción y así ordenar el mercado de acuerdo con la oferta de tamaños, agrupados en los calibres determinados para cada producto.

MADURACIÓN

La maduración es el proceso que ocurre en los frutos después del estado de crecimiento; este proceso se evidencia por cambios en la composición, color, textura u otros atributos sensoriales.

Ocurre cuando se ha dado la formación completa de un organismo, es decir, el momento en el que sus células contienen suficientes elementos bioquímicos para funcionar correctamente.

La maduración se evidencia con diversos cambios en los productos y esos cambios han sido interpretados por el ser humano como señal de calidad para consumo. Es así como los gustos y preferencias de los consumidores

definen en sentido práctico (comercial), la madurez del producto.

Los cambios en la maduración se pueden conocer desde el punto de vista celular y del fruto en general, como se describe a continuación:

- Nivel celular, en los frutos ocurren cambios que caracterizan la madurez de la célula (28), tales como:

- Pérdida de clorofila, si las células contienen cloroplastos.
- Lixiviación de la membrana celular, es decir, salida de los contenidos de nutrimentos de la célula.
- Hidrólisis de macromoléculas o síntesis de nuevas sustancias.
- A nivel del fruto, la pulpa en los primeros estados de desarrollo contiene muy pequeñas cantidades de azúcar y grandes cantidades de almidón, ácidos y fenoles, que no proporcionan los atributos sensoriales para su consumo. En la mayoría de los frutos, cuando se alcanza la madurez, las células de la pulpa se alargan considerablemente y los contenidos de azúcar se incrementan mientras el almidón, los ácidos y los fenoles disminuyen. Además, ciertos componentes volátiles se desarrollan dando a las frutas características de aroma. Así mismo, se presenta la degradación en los pigmentos en la piel y en la pulpa, cambiando el color de los frutos.
- **Madurez fisiológica.** Se refiere a la etapa del desarrollo de la fruta u hortaliza en la cual se ha producido el máximo crecimiento y desarrollo (40). El producto se encuentra totalmente desarrollado y cuenta con todos los elementos bioquímicos que le permitirán iniciar la producción de aromas, sabores y cambios de color (34).
- **Madurez de cosecha.** Se conoce como el momento en el que el producto todavía en la planta presenta una serie de cualidades apreciables visualmente, mediante las cuales puede comercializarse, tales como tamaño, color y forma.
- **Madurez comercial.** Es el grado con el cual el producto es comúnmente comercializado, ya que satisface las necesidades del consumidor debido a que cuenta con los atributos requeridos.
- **Madurez de consumo.** Estado en el cual el fruto ha adquirido sus características propias de apariencia, consistencia, textura, sabor y aroma.

Una vez se establecen estas diferencias se requiere determinar las características internas del fruto, para lo cual se utilizan **índices de madurez**, importantes para decidir cuándo un producto dado puede ser cosechado, de tal forma que se puedan proveer los diferentes mercados y asegurar que la calidad del producto sea aceptada por el consumidor.

Los índices de madurez son también características de calidad externa (aparencia), que se relacionan con factores como; el color, la ausencia de defectos y el deterioro.

El envejecimiento de los tejidos inicia después de la maduración, etapa que se conoce como senescencia, y se caracteriza por la pérdida del contenido celular, oscurecimiento de los tejidos debido a la oxidación, deformación por la pérdida de turgencia y aparición de pudriciones causadas por hongos y bacterias. Esta etapa indica que la calidad de un producto hortifrutícola es un atributo temporal (34).

Existen diferentes conceptos sobre el proceso de maduración, en respuesta a las diferentes necesidades que tienen los consumidores sobre un producto. Por tanto, es necesario establecer algunas definiciones para interpretar la maduración respecto no sólo a la parte anatómica y fisiológica del producto sino de su uso propuesto.

Las definiciones son las siguientes:

Es importante tener en cuenta que los índices de madurez deben ser objetivos, para asegurar la aceptabilidad de su calidad ante el consumidor. Éstos, deberán incluirse en las normas para frutas frescas ya que permiten definir los criterios de calidad para los productos.

Los índices de madurez comúnmente utilizados son:

- Cambios en el color externo.
- Consistencia o textura de la pulpa.
- Contenido de pulpa o jugo.
- Contenido de azúcar.
- Contenido de almidón.
- Contenido de acidez.

Estos índices pueden ser utilizados individualmente o estableciendo relaciones entre ellos.

■ CAMBIOS EN EL COLOR EXTERNO

La mayoría de los frutos presentan un cambio de coloración en la cáscara o piel indicando que se está realizando la maduración interna. La maduración conlleva a la degradación de la clorofila (color verde), revelando la presencia de otros pigmentos como β -carotenos (amarillos), xantofilas (anaranjado) y antocianinas (rojos y azules).

Dependiendo del tipo de síntesis, clase y concentración final de los pigmentos en la conversión de cloroplastos a cromoplastos, se pueden presentar los siguientes cambios de color, de acuerdo a las frutas estudiadas:

- De verde a anaranjado, en la naranja, tangelo, piñas, uchuva, lulo.
- De verde a amarillo, en granadilla, pitahaya amarilla.
- De verde a rojo o morado, en tomate de árbol, mora, fresa, higo.

Las transformaciones de color, que pueden apreciarse visualmente, coinciden en la mayoría de los casos con variaciones en las características internas de maduración del fruto. Estos cambios se dan principalmente en los siguientes aspectos:

■ CONTENIDO DE PULPA O DE JUGO

Al avanzar el proceso de maduración en la planta, en la mayoría de los frutos se incrementa el contenido de pulpa o de jugo. Este aumento se debe a la degradación del almidón y la pectina desde los primeros estados, y a la síntesis de agua como uno de los productos del metabolismo, lo que hace que la fruta sea más blanda y jugosa cuando está madura (23).

Dependiendo de las características de cada fruta, se expresa como contenido de pulpa o de jugo. Para aclarar estas diferencias, el Ministerio de Protección Social de Colombia registra las definiciones (56):

“La **PULPA** de las frutas es el producto pastoso, no diluido, ni concentrado, ni fermentado, obtenido por la desintegración y tamizado de la fracción comestible de frutas frescas, sanas, maduras y limpias”. Tal es el caso del mango, el melón y la pitahaya, entre otras.

“El **JUGO** es el líquido obtenido al exprimir algunas clases de frutas frescas maduras y limpias, sin diluir, concentrar o fermentar”. Es el caso de los cítricos, la mora y la uchuva.

■ CONSISTENCIA

Al igual que el aumento de la jugosidad, la maduración de los frutos suele estar asociada a un ablandamiento de los tejidos como consecuencia de los cambios químicos, la degradación de la pared celular, la pérdida de turgencia y la degradación de productos de reserva como el almidón, originando constituyentes semilíquidos y sustancias pécticas que

mantiene cohesionadas las células y conducen al ablandamiento y separación de las mismas (29); por tanto, disminuyen la dureza de los frutos.

Existen diversos métodos para determinar la dureza; sin embargo, el más sencillo se realiza con un dinamómetro específico llamado penetrómetro, el cual mide la fuerza necesaria para hacer penetrar con una determinada profundidad un émbolo calibrado, sobre la zona ecuatorial del fruto.

■ CONTENIDO DE AZÚCAR

Así como otras características de los frutos, el contenido de azúcar depende de la variedad, el estado de nutrición de la planta y el estado de desarrollo del fruto. La mayoría de los frutos acumulan almidón durante su desarrollo el cual al hidrolizarse origina azúcares más sencillos antes o durante la maduración; estos azúcares son la fructosa, la sacarosa y la glucosa, de las cuales se considera más dulce la fructosa y como menos dulce la glucosa (50). Las cantidades de estos azúcares varían en cada especie y variedad, siendo identificables mediante métodos analíticos como la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC).

El almidón se presenta en pequeños gránulos en las células de frutos inmaduros y se convierte en azúcar en los frutos maduros. En las frutas ocurre como un comportamiento general el aumento del contenido de azúcar a medida que avanza la madurez, mejorándose las características organolépticas del fruto.

Un método sencillo de identificar el contenido de azúcar es la medida de los Sólidos Solubles Totales - S.S.T. (°Brix), por medio del método refractométrico, ya que los azúcares contenidos en las frutas tienen la propiedad de ser solubles en el agua. Del total de los sólidos solubles que se determinan en el fruto, los azúcares representan entre el 75% y el 80%. El porcentaje restante está compuesto por otras sustancias solubles en el agua como la pectina y los ácidos, entre otros.

CONTENIDO DE ACIDEZ

La mayoría de las frutas son ácidas, aunque existen diferencias en la concentración de los ácidos entre ellas. Así mismo, el contenido de ácido usualmente disminuye durante la maduración, con algunas excepciones como se presentará en el siguiente capítulo. Esta disminución se debe a la utilización de ácidos orgánicos durante la respiración o su conversión en azúcares.

Para determinar los contenidos de ácido en las frutas se puede utilizar la acidez titulable como método de medida, el cual relaciona la acidez percibida por los consumidores. Este método mide la proporción de ácidos presentes en las frutas, por medio de la neutralización total de éstos con una solución base.

El resultado de esta prueba se expresa como el porcentaje del ácido presente en mayor cantidad sobre los demás ácidos, de los cuales están plenamente identificados como los más abundantes el ácido cítrico, el málico y el tartárico, dependiendo del tipo de fruto.

Además de lo anterior, los ácidos orgánicos y la variación en sus contenidos influyen sobre el sistema buffer² y afectan el pH de las frutas, haciendo que éste varíe, al igual que los demás índices en los procesos de maduración.

El pH es utilizado para indicar el grado de acidez ($\text{pH} < 7,0$) o alcalinidad ($\text{pH} > 7,0$) de una solución, permitiendo la clasificación como ácidas de la mayoría de las frutas, ya que los valores se encuentran por debajo de 7,0.

La medida del pH, es registrada por medio de la técnica potenciométrica, la cual usa un pH-metro para determinar la concentración de iones de hidrógeno (acidez).

Existe una notable diferencia entre las frutas y otros alimentos por la acidez natural que ellas contienen. Éstas se clasifican, en el estado de madurez de consumo, de acuerdo a su pH desde frutos muy ácidos hasta poco ácidos como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1
Clasificación de la acidez natural de las frutas.

CLASIFICACIÓN	pH	EJEMPLOS
Muy ácidos	< 3,0	Lima Tahití
Ácidos	3,0 - 3,7	Lulo
Medianamente ácidos	3,7 - 4,5	Granadilla
Poco ácidos	> 4,5	Pitahaya amarilla

Fuente: Handbook of food and beverage stability. 1986.

Algunas frutas son usualmente cosechadas cuando están maduras fisiológicamente, ya que las características del fruto en ese estado permiten que éstos puedan soportar los sistemas de manejo poscosecha cuando son distribuidas a sitios lejanos.

Por lo anterior es necesario conocer el tipo de comportamiento que presentan una vez son cosechadas; de esta forma las frutas pueden dividirse en dos grupos:

1. **No climatéricas:** frutas que no tienen la capacidad de continuar con los procesos de maduración, una vez son removidas de la planta. Presentan una disminución de la tasa de respiración, ocasionando cambios poco notorios principalmente en los contenidos de azúcares y ácidos. Producen pequeñas cantidades de etileno y no responden a tratamientos con éste, excepto en la degradación de la clorofila o desverdización. Estos frutos deben cosecharse cuando alcancen la madurez comercial, la cual es definida por el consumidor.
2. **Climatéricas:** frutos que pueden ser cosechados en madurez fisiológica y continúan su proceso de maduración fuera de la planta. Presentan un aumento de la tasa de respiración, ocasionando cambios notorios, principalmente en los contenidos de ácidos y azúcares. Producen grandes cantidades de etileno asociado con su proceso de maduración. En tratamientos con esta hormona resulta más uniforme y más rápida la maduración.

² Un sistema buffer es aquel que contiene un ácido débil y su base conjugada y tiende a tener fijo un determinado valor de pH. Las soluciones de éste sistema se conocen como soluciones buffer, soluciones tampón, soluciones amortiguadoras o soluciones reguladoras (55).



Las frutas consideradas en esta publicación se clasifican como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2

Clasificación de las frutas según la continuidad de su proceso de maduración una vez cosechadas.

NO CLIMATÉRICAS	CLIMATÉRICAS
Naranja Valencia	Pitahaya amarilla
Tangelo Mineola	Granadilla
Lima Tahití	Lulo de Castilla
Piña en sus diferentes variedades	Higo
Mora de Castilla	Mango, en sus diferentes variedades
Tomate de árbol	Uchuva
Fresa	Guanábana
Melón	Aguacate

▣ VALOR NUTRITIVO

El aporte nutritivo de las frutas está determinado por el contenido de vitaminas, minerales, agua, carbohidratos y fibra, cuyas cantidades varían dependiendo de factores genéticos (la especie y variedad), ambientales y fisiológicos como el desarrollo y el grado de madurez del fruto.

El valor nutritivo de los frutos se determina por medio de la bromatología, la cual se define como el estudio de los alimentos, por el cual se pueden conocer las características físicas y químicas o sus componentes nutritivos para establecer los aportes a la dieta alimentaria.

Las características de una fruta, en cuanto a sus propiedades físicas (humedad y densidad entre otras) y químicas (fibra, ácidos orgánicos, carbohidratos, minerales, vitaminas, entre otras), son factores indispensables para el conocimiento de cada uno de sus componentes y su aplicación en la evaluación de calidad de un producto.