



Generalidades de fisiología poscosecha

Las frutas y vegetales son tejidos que siguen desarrollando todas sus funciones vitales una vez cosechados, para lo cual necesitan energía que toman de las reservas de azúcares que hayan logrado acumular. Por lo tanto, la vida útil o tiempo en que logran conservar su calidad dependerá de la velocidad a la que consuman estas reservas y estará determinada de manera directa por la intensidad de la respiración y transpiración. Estos procesos fisiológicos condicionan la vida útil de los productos hortofrutícolas y tienen una alta repercusión en las pérdidas que se presentan en las cadenas de abastecimiento.



Respiración

Es la toma de oxígeno por parte de la fruta para transformar los azúcares o reservas alimenticias almacenadas en energía, a fin de seguir desarrollando las actividades metabólicas vitales. Además de la energía, la respiración también libera dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), tal como se representa en la ecuación 1. La intensidad respiratoria (IR) se cuantifica en mg de CO_2 producido por kg de producto por hora ($\text{mg CO}_2/\text{kg}/\text{h}$) y se considera que un producto presenta una alta tasa de respiración cuando esta IR supera los 20 $\text{mg CO}_2/\text{kg}/\text{h}$.



Azúcares + oxígeno \rightarrow agua + CO_2 + energía

(1)

De acuerdo con la ecuación 1, entre más alta sea la intensidad respiratoria, las reservas alimenticias se consumirán más pronto, lo cual significa que se agotarán rápidamente y por ende el producto se deteriorará y llegará a la pérdida total en corto tiempo. De otra parte, la energía generada durante la respiración es mayor a la requerida para continuar los procesos metabólicos, por lo cual esa energía sobrante es liberada en forma de calor, lo que incrementa la temperatura del producto. En la tabla 1 se reporta la IR de frutas sometidas a diferentes temperaturas de almacenamiento.

Tabla 1 Intensidad respiratoria (IR) de algunas frutas a diferentes temperaturas expresadas en $\text{mL CO}_2/\text{kg}/\text{h}$

Producto / Temperatura	5°C	10°C	20°C
Arándano azul	9-12	23-35	52-87
Arándano rojo	4-6	8	12-20
Carambola	10-19	15-29	
Chirimoya		47-190	138-460
Fresa	9-10		43 - 45
Mango	10-22	23-46	75-151
Papaya	4-6		9-18
Piña	2	4-7	19-20

Fuente: Thompson (2015)



Los factores que afectan la IR son:

- **Temperatura.** Factor de mayor peso en la IR. A mayor temperatura, mayor IR y por ende menor tiempo de vida útil. Un aumento de 10 °C en la temperatura del producto reduce la vida útil hasta en una tercera parte. Además, entre mayor sea la IR, más energía se libera, lo que aumenta la temperatura de la fruta y del sistema, y reinicia el ciclo, pues el incremento de temperatura eleva la respiración y esta a su vez aumenta la temperatura, reduce la vida útil y conduce rápidamente al deterioro total.
- **Área superficial.** Frutas u hortalizas con áreas superficiales grandes (como las hortalizas de hoja) respiran más rápido que otras con áreas superficiales más pequeñas (como zanahoria, papa o cítricos).
- **Tamaño.** Frutas pequeñas de la misma especie y variedad presentan una IR mayor que las frutas grandes. Al mezclarlas, las pequeñas, que respiran más rápido, incrementan la temperatura del sistema, aumentando la respiración de las pequeñas y las grandes, y esto acelera la senescencia de todas. Por tanto, la clasificación por tamaño ayuda a controlar los procesos de respiración, a reducir la velocidad de deterioro y a ampliar la vida útil de los productos.
- **Estado de madurez.** Frutas verdes o en estados tempranos de madurez presentan tasas de respiración más altas que las maduras (Kader, 1998), de modo que los productos también se deben clasificar por estado de madurez, ya que así se tiene mayor control de la tasa de respiración y se logran tiempos de vida útil más amplios y menores pérdidas de producto.
- **Estado general de la fruta.** Las frutas con algún tipo de daño mecánico como magulladuras, cortes, punzones o abrasión tienen mayor IR, lo cual aumenta la temperatura del medio. Esto incrementa la tasa de respiración de todas las frutas presentes y las conduce rápidamente al deterioro. Adicionalmente, las heridas facilitan la entrada de microorganismos patógenos que se encuentran a la espera de condiciones propicias para infectar los productos. Estas son las razones por las que se recomienda evitar cualquier tipo de daño mecánico en el producto durante toda la cadena de abastecimiento.
- **Composición de los gases o del aire alrededor del producto.** La presencia de oxígeno (O₂) siempre acelera la respiración, de modo que reducir su concentración en el entorno disminuye la IR. Los empaques



y recubrimientos son una buena opción para controlar la tasa de respiración ya que ellos crean una barrera que reduce la disponibilidad de O_2 para el producto. En el empaque, el producto continúa respirando, consumiendo O_2 y liberando CO_2 , de modo que la concentración de oxígeno disminuye mientras aumenta la de dióxido de carbono. Esta condición reduce la tasa de respiración, con los respectivos beneficios para la vida útil del producto. Las tecnologías que incluyen el uso de empaques o recubrimientos se conocen como *atmósferas modificadas*. Una variación de esta tecnología consiste en almacenar el producto en cuartos herméticos donde se fijan y mantienen las concentraciones de CO_2 y O_2 , para controlar la tasa de respiración y prolongar la vida útil. Esto se denomina *atmósfera controlada*. La tabla 2 muestra las concentraciones de O_2 y CO_2 recomendadas para la conservación de algunos productos y el tiempo de vida útil que alcanzan bajo estas condiciones.

Tabla 2. Condiciones recomendadas para el almacenamiento de frutas y hortalizas en atmósfera controlada

Producto	Rango óptimo de temperatura (°C)	O_2 (kPa)	CO_2 (kPa)	Vida útil (semanas)
Manzana (americana)	-1 - 0	1 - 3	1 - 5	24 - 28
Aguacate	5 - 13	2 - 5	3 - 10	2 - 3
Banano	12 - 14	2 - 5	2 - 5	2 - 4
Brócoli	0 - 5	1 - 2	5 - 10	2
Zanahoria	0 - 1	5 - 10	0 - 3	20 - 30
Limón	11 - 15	5	0 - 5	6 - 15
Mango	10 - 14	3 - 5	5 - 10	2 - 3
Papaya	10 - 15	5	10	2 - 3
Piña	10 - 15	5	10	2 - 4
Fresa	0 - 5	10	15 - 20	1
Papa	4 - 6	3 - 5	10	1 - 2
Lechuga	0 - 2	2 - 5	0	2 - 3

Fuente: Cantwell & Suslow (2002), Bhande et al. (2008)

El etileno es otro gas producido por las frutas, que tiene la particularidad de acelerar la respiración y maduración de los productos climatéricos (productos que siguen madurando una vez cosechados) (Hernández & Bedoya, 2014; Gavin et al., 2021). De aquí que la concentración de etileno deba mantenerse baja en los lugares de almacenamiento y que no se deban mezclar productos



1. Generalidades de fisiología poscosecha

que liberen etileno con aquellos sensibles a este gas (tabla 3), para evitar que estos últimos maduren o se deterioren rápidamente. Para reducir la concentración del gas y evitar su acumulación, es preciso reducir la temperatura y ventilar los cuartos de almacenamiento.

De acuerdo con la información reportada en la tabla 3, en un mismo cuarto no se debe almacenar aguacate con fresa o tomate con brócoli, pues mientras unos son altos productores de etileno, los otros son sensibles a este gas; mientras que el mango, por ejemplo, sí se puede guardar con piña.

Tabla 3. Producción y sensibilidad de frutas y hortalizas al etileno

Producto	Producción de etileno	Sensibilidad al etileno	
		Dosis de etileno ($\mu\text{L/L}$)	Sensibilidad
Fruta climatérica			
Aguacate, melón, maracuyá	***	>0,4	**
Banano, mango	**	0,003 - 0,1	**
Papaya, tomate, durazno, ciruela	**	>0,4	**
Vegetales y frutas no climatéricas			
Brócoli, coles, repollo, zanahoria, coliflor, pepino, lechuga, papa, espinaca, fresa	*	0,01 - 0,02	***
Espárragos, frijol, cítricos, apio, berenjena	*	0,04 - 0,2	**
Mora, cereza, uva, piña, pimienta	*	>0,2	*

Producción o sensibilidad al etileno: (*) baja; (**) media; (***) alta.

Fuente: Martínez-Romero et al. (2007)

Así pues, son varios los factores que se pueden controlar para reducir la tasa de respiración y de deterioro de los productos hortofrutícolas y con ello aumentar su vida útil y reducir las pérdidas en los diferentes eslabones de la cadena de suministro.



Transpiración

Este proceso fisiológico consiste en la pérdida de agua en estado de vapor a través de la superficie del producto y hacia el medio ambiente. Esto genera deshidratación, pérdida de peso, deterioro de la apariencia, modificación de la textura y firmeza, causando el rechazo por parte de los consumidores, y con ello el incremento de las pérdidas en poscosecha (figura 1). Los factores que afectan la tasa de transpiración son los mismos de la respiración, aunque aquí la humedad relativa y la temperatura son los factores de mayor importancia.



Figura 1. Frutas deshidratadas producto de la transpiración.
a. Mango; **b.** Gulupa.

Fotos: María Cristina García M.

- **Humedad relativa.** Este factor es determinante en la reducción de pérdidas por deshidratación. Entre más seco el aire, menor humedad relativa, más alta la velocidad de deshidratación del producto y mayores las pérdidas. Dada la dificultad de controlar la humedad relativa del ambiente, es recomendable el uso de barreras físicas (como empaques o recubrimientos) para reducir la pérdida de agua. Solo se requiere un empaque con baja permeabilidad al vapor de agua para disminuir la deshidratación del producto y las respectivas pérdidas. Otra opción es instalar cortinas de agua o nebulizaciones en los cuartos de almacenamiento, con lo cual se mantiene una alta humedad relativa y se reduce la transpiración y deshidratación del producto.

En caso contrario, cuando la humedad relativa del ambiente es muy alta y no se ha hecho un adecuado manejo higiénico y sanitario del producto, o si los procesos de desinfección de las superficies en contacto con el alimento y del ambiente no son los indicados, se favorece el desarrollo de hongos, lo cual también conduce a pérdidas por podredumbres.

- **Temperatura.** Este factor también es determinante en la reducción de la deshidratación. Entre más alta sea la temperatura del aire, menor será su humedad relativa y mayor la capacidad de remover agua del producto, lo que trae su rápida deshidratación y el incremento de las pérdidas.

El área superficial, el tamaño, el estado de madurez y el estado general de la fruta tienen un efecto en la tasa de transpiración similar al reportado en la tasa de respiración: a mayor área superficial, mayor transpiración y pérdida más alta de agua. Frutas pequeñas presentan mayor tasa de pérdida de agua que frutas grandes; frutas en estados tempranos de madurez transpiran más rápido que las maduras, y frutas con algún tipo de daño tienen mayor pérdida de agua que las sanas, bajo las mismas condiciones.

Conocer estos procesos fisiológicos y los factores que los afectan es clave en la tecnología de conservación de alimentos. Aunque existe una amplia gama de alternativas tecnológicas en la conservación de alimentos, prácticas muy sencillas como proteger o reducir la exposición del producto a los rayos directos del sol, a altas temperaturas, a la lluvia, a altas concentraciones de etileno, y al contacto con fuentes de contaminación en suelo, agua, aire, arvenses, reducen la tasa de respiración y transpiración, y amplían la vida útil de los productos frescos. Sumando a lo anterior, el mantener instalaciones limpias, desinfectadas, ventiladas, y mantener los productos libres de daños mecánicos de cualquier tipo, reducen también la tasa de respiración y transpiración, aumentan la vida útil y favorecen la entrega de un producto de calidad al consumidor. Esto redundará en una disminución de pérdidas de alimentos y en una mayor confianza en los procesos de comercialización, todo lo cual permite mayores ingresos para los productores y más acceso de los consumidores a alimentos nutritivos y de buena calidad, lo que favorece la seguridad alimentaria y nutricional.

