

IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO FISIOLÓGICO DE LOS
PRODUCTOS AGRÍCOLAS EN LOS PROCESOS DE MANEJO
POST-COSECHA

MARIO GONZALEZ G.

Ing. Industrial
Gerente Fruselco
Frutas Selectas de Colombia

Armenia, Noviembre de 1989

IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO FISIOLÓGICO DE LOS
PRODUCTOS AGRÍCOLAS EN LOS PROCESOS
DE MANEJOS POST - COSECHA

BIBLIOTECA AGROPECUARIA

1. INTRODUCCION

La fisiología de las frutas y verduras ya recolectadas se ha convertido en los últimos tiempos, en una subdivisión importante de la horticultura y de la fisiología vegetal.

La creciente atención prestada a los aspectos de la horticultura relacionados con la vida de frutos y verduras en etapas posteriores a la cosecha deriva de la constatación de que las manipulaciones defectuosas en estado fresco pueden acarrear pérdidas cuantiosas de productos cuya obtención ha requerido importantes inversiones de capital, maquinaria y mano de obra. Hoy se piensa que es preferible esforzarse en mejorar la conservación tras la cosecha que perseguir un incremento en el volumen de la misma porque es así como conseguiremos obtener mayores beneficios de los recursos (capital, mano de obra y energía) disponibles. El incremento de la eficacia de las técnicas de conservación exige un conocimiento más perfecto de la naturaleza y las causas de las pérdidas sufridas (tanto por alteración como por merma de la calidad) habidas entre la cosecha y el consumo y disponer de más gente entrenada en los aspectos de la horticultura relacionados con la vida de las frutas y hortalizas en las etapas posteriores a su recolección.

Se ha estimado que entre el 25 y el 60% de las frutas y hortalizas frescas producidas se pierden tras la recolección, aunque, como demuestra una reciente encuesta de la FAO, éstos cálculos resultan incompletos e imprecisos. En las regiones tropicales, en las que están incluidos muchos de los países en desarrollo, éstas pérdidas pueden adquirir considerable importancia tanto económica como social.

El objetivo final perseguido es de mantener un suministro continuo de estos productos perecederos. Así pues, el papel fundamental del Profesional, en este campo, es el de establecer procedimientos que restrinjan al máximo la alteración de las frutas y hortalizas durante el período que media entre la cosecha y su consumo. En lo que a los procesos fisiológicos y bioquímicos se refiere, su preocupación básica será la de frenar al máximo los procesos respiratorios.

2. ESTRUCTURA Y COMPOSICION

2.1. DEFINICION DE FRUTAS Y HORTALIZAS

La definición botánica de fruta - el producto del crecimiento de una flor, inflorescencia, angiosperma - resulta demasiado estricta para amparar a todas las que en el comercio se encuentran. Esta definición incluye a las frutas carnosas

Que proceden del desarrollo de otras estructuras distintas del ovario, como el receptáculo manzanas, fresas -brácteas y pendúlo- piña. Ampaza en cambio a los frutos secos, y a los cereales y a las leguminosas, que no son consideradas comerciales como frutas. En la figura 1 se recoge la distinta procedencia de algunas frutas corrientes que derivan del ovario o de los tejidos que lo rodean.

Las hortalizas no pertenecen a un grupo botánico específico y exhiben una amplia variedad de estructuras vegetales. Pueden, sin embargo, agruparse en tres categorías principales: semillas y vainas; bulbos raíces y tubérculos; flores, yemas, tallos y hojas. En muchos casos, las estructuras que generan una determinada hortaliza se hallan notablemente modificadas con respecto a las de un vegetal "ideal". En la figura 2 se recoge la procedencia de algunas hortalizas.

2.2. COMPONENTES CELULARES

Las de las frutas y hortalizas son típicas células vegetales cuyos componentes principales se recogen en la figura 3.

Las células vegetales están rodeadas por una pared más o menos rígida compuesta de fibras de celulosa y otros polímeros, como sustancias pécticas, hemicelulosas y ligninas.

Las células adyacentes quedan unidas a través de las sustancias pécticas que forman las láminas medias. Las masas citoplasmáticas de las células adyacentes están ligadas a través de pequeños canales llamados plasmodesmos.

Dentro del plasmalema se encuentran el citoplasma y una o más vacuolas. Las vacuolas son depósitos de fluidos que contienen varios solutos, tales como azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos, y sales y que se hallan rodeados por una membrana semipermeable, el tonoplasma. El tonoplasto y el plasmalema que es igualmente semipermeable, son los responsables del mantenimiento de la presión hidrostática de la célula, permitiendo el paso del agua, pero restringiendo, en cambio, selectivamente el de los solutos y las macromoléculas tales como los ácidos nucleicos y las proteínas. La turgencia resultante es la responsable de que frutas y hortalizas crujan al ser masticadas.

Del citoplasma forman parte una matriz fluida, constituida por proteínas, otras macromoléculas y diversos solutos, en cuyo seno tienen lugar importantes procesos, como la degradación de los carbohidratos de reserva vía la glucólisis y la síntesis proteica y varios orgánulos que son corpúsculos membranosos previstos de funciones especializadas.

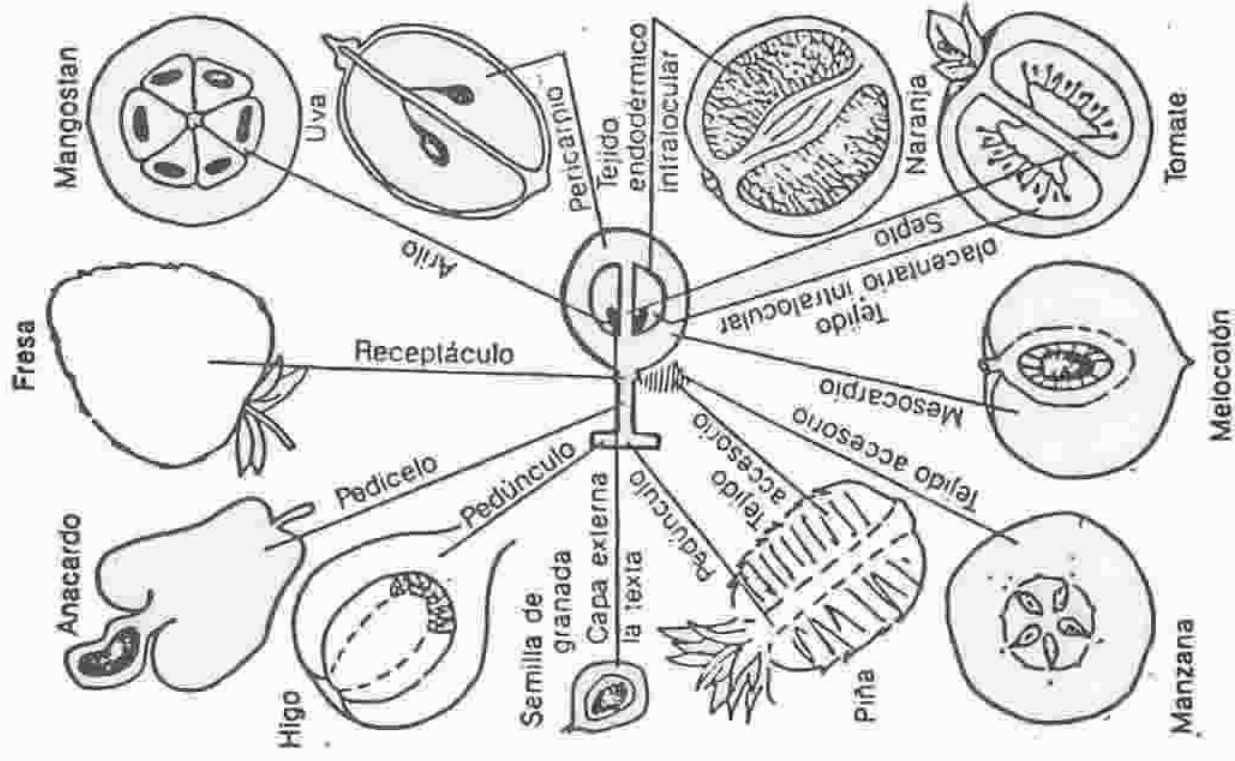


Figura 1. Tejidos de los que derivan algunos frutos (Combe, B.G. "The Development of fleshy fruits". *Ann. Rev. Plant Physiol.* 27, 1976, 507—8. Con autorización).

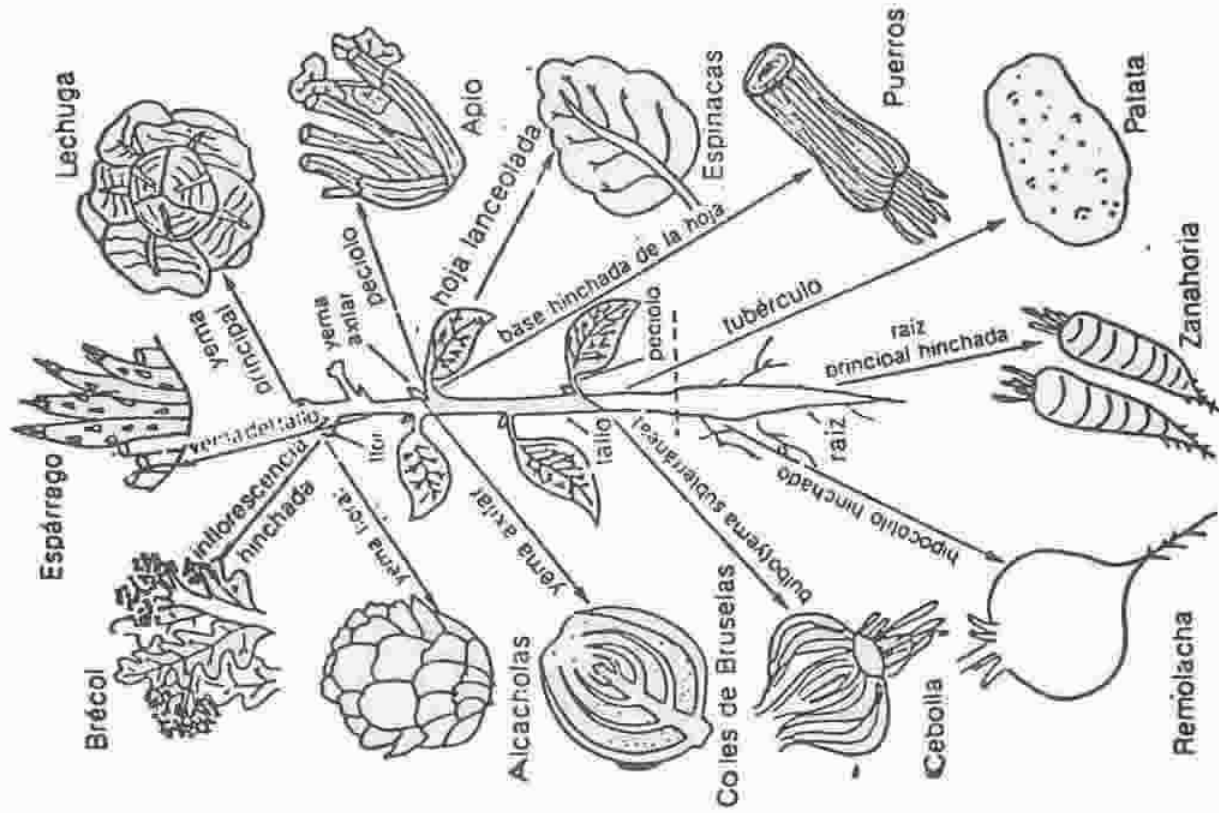


Figura 2. Proccendencia de algunas hortalizas.

3. FISILOGIA

Una correcta manipulación de las frutas y hortalizas tras su recolección precisa tener en consideración que se trata de estructuras vivas. Las frutas y hortalizas no solo se encuentran vivas cuando se hallan unidas a la planta de que proceden; tras la recolección continúan estando y siguen desarrollando los procesos metabólicos y manteniendo los sistemas fisiológicos que operaban mientras se hallaban unidos al vegetal de procedencia.

Una característica importante de los vegetales, y por tanto de las frutas y hortalizas en general es el hecho de que respiran tomando oxígeno (O_2) y desprendiendo dióxido de carbono (CO_2) y calor. También respiran, es decir pierden agua. Mientras permanecen unidas a las plantas de procedencia las pérdidas ocasionadas por la respiración y la transpiración se compensan mediante el flujo de la savia que contiene agua, productos fotosintetizados (especialmente sacarosa y aminoácidos) y minerales. Tras la recolección continúan respirando y transpirando y, como han perdido contacto con la fuente de agua, productos de la fotosíntesis y minerales, dependen exclusivamente de sus reservas alimenticias y de su propio contenido en agua. Por tanto, las pérdidas de sustratos respirables no se compensan y se inicia el deterioro. En otras palabras, las frutas y hortalizas son productos perecederos.

3.1. DESARROLLO FISIOLÓGICO

La vida de las frutas y hortalizas puede dividirse en tres etapas fisiológicas fundamentales subsiguientes a la germinación: El crecimiento, la maduración y la senescencia, sin que sea fácil establecer una clara distinción entre las tres.

El crecimiento implica la división celular y el subsiguiente desarrollo de las células que dan cuenta del tamaño final alcanzado por el producto. La maduración fisiológica suele iniciarse antes de que termine el crecimiento e incluye diferentes actividades en los distintos productos. Al crecimiento y la maduración fisiológicas suele hacerse referencia conjunta hablando del "desarrollo". La senescencia se define como una fase en la que los procesos bioquímicos (sintéticos) dan paso a los catabólicos (degradativos) conduciendo al envejecimiento y finalmente a la muerte tisular. El idioma inglés destaca el término "ripening" para hacer referencia, en las frutas, al proceso por el que adquieren las características organolépticas (color, olor, sabor, textura, etc.) que los definen como comestibles, proceso que, generalmente comienza durante las etapas finales de la maduración fisiológica y que constituye el pórtico de la senescencia.

El crecimiento y la maduración de la fruta solo se completan cuando permanece unida a la planta de que procede pero la maduración organoléptica y la senescencia pueden proseguir una vez separada de aquella. Las frutas se recogen solo fisiológica o fisiológica y organolépticamente maduras pero algunas frutas que son consumidas como hortalizas se recolectan incluso antes de que la madura

ción haya comenzado. A las hortalizas se les aplica una terminología similar, pero en ellas no se da el proceso de maduración organoléptica y es, por consiguiente, mucho más difícil delimitar el tránsito de la maduración a la senescencia. Las hortalizas se recolectan en muy diversos estadios fisiológicos, avances en períodos muy anteriores al comienzo de la madurez y en otras al inicio de la senescencia. - Figura 4

3.2. LA MADURACION ORGANOLEPTICA DE LAS FRUTAS

Las frutas sufren tras la recolección numerosos cambios físico-químicos determinantes de su calidad al ser adquiridos por el consumidor. La maduración organoléptica es un proceso dramático en la vida de la fruta; transforma un tejido fisiológicamente maduro pero no comestible, en otro visual olfatorio y gustativamente atractivo. Señala el final del desarrollo de una fruta y el comienzo de su senescencia y ordinariamente es un proceso irreversible.

La maduración es el resultado de un complejo conjunto de transformaciones, muchas de las cuales son probablemente independientes entre sí.

3.2.1 FISILOGIA DE LA RESPIRACION

La respiración es un proceso metabólico fundamental tanto en el vegetal vivo. Puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células, como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua con la consiguiente liberación de energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas para las reacciones sintéticas celulares. La respiración puede tener lugar en presencia de oxígeno (respiración aeróbica) o en su ausencia (respiración anaeróbica, a veces denominada fermentación).

La velocidad a que transcurre la respiración de un producto constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos y una guía útil de su vida comercial. Si se sigue la actividad respiratoria de una fruta u hortaliza a través del consumo de oxígeno o el desprendimiento del dióxido de carbono por unidad de tiempo a lo largo de su desarrollo la maduración fisiológica y organoléptica y la senescencia se obtendrá una pauta respiratoria característica. La actividad respiratoria es más alta en las fases previas a la maduración y declina luego con la edad. Un grupo significativo de frutas entre los que se incluye el plátano, el mango y la manzana, al igual que el tomate, muestra una variante del esquema descrito, en cuanto que la actividad respiratoria aumenta de un modo muy acusado durante la maduración organoléptica. A este incremento de la actividad respiratoria se le adjetiva de climatérico y al grupo de frutos que lo ofrecen se les clasifica como frutos climatéricos. La intensidad y duración de la respiración climatérica, descrita por vez primera para la manzana en 1925, varía ampliamente con las diversas especies. Su comienzo coincide aproxima-

damente con el aumento en que la fruta alcanza su tamaño máximo y es durante su período de persistencia cuando tiene lugar el resto de las modificaciones características de la maduración organoléptica tanto la respiración climatérica como la maduración organoléptica tanto la respiración climatérica como la maduración organoléptica pueden tener lugar lo mismo como fruto todavía adherido a la planta de procedencia como tras su recolección. Aquellas frutas que, como la piña, la fresa o los cítricos, no exhiben un fenómeno de esta naturaleza son clasificadas como no climatéricas y aunque manifiestan la mayor parte de las transformaciones características de la maduración organoléptica éstas transcurren a un ritmo más lento. En la tabla 1 se clasifican algunas frutas en climatéricas y no climatéricas. Todas las hortalizas ofrecen una pauta respiratoria no climatérica.

TABLA 1: Clasificación de algunos frutos comestibles de acuerdo con el comportamiento de su respiración durante la maduración organoléptica.

FRUTOS CLIMATERICOS	FRUTOS NO CLIMATERICOS
Manzana (<i>Malus Sylvestris</i>)	(<i>Vaccinium Sorymbosum</i>)
Albaricoques (<i>Prunus Armeniaca</i>)	Cereza: Dulce (<i>Prunus avium</i>)
Aguate (<i>Persea americana</i>)	(<i>Prunus cerasus</i>)
Plátano (<i>Musa sp.</i>)	Papino (<i>Cucumis Sativus</i>)
Chirimoya (<i>Annona Cherimolia</i>)	Uva (<i>Vitis vitifera</i>)
(<i>Actinidia Cheneasis</i>)	Limón (<i>Citrus Limonia</i>)
Feijoa (<i>Acca Sellowiana</i>)	Piña (<i>Ananas Comosus</i>)
Higos (<i>Ficus Carica</i>)	Mandarina batsuma (<i>Citrus reticulata</i>)
Mango (<i>Magnifera indica</i>)	Fresa (<i>Fragaria sp.</i>)
Melón (<i>Cucumis melo</i>)	Naranja dulce (<i>Citrus Sineasis</i>)
Papaya (<i>Carica Papaya</i>)	Tamarillo (<i>Cyphomandra batacea</i>)
Granadilla (<i>Passiflora edulis</i>)	
Melocotón (<i>Prunus Persica</i>)	
Pera (<i>Pyrus Communis</i>)	
(<i>Diospyros Kakai</i>)	
Ciruella (<i>Prunus sp.</i>)	
Tomate (<i>Lycopersicon esculantum</i>)	
Sandía (<i>Citrullus Lanatus</i>)	

La división de las frutas en dos clases sobre la base de la pauta seguida por los cambios de su actividad respiratoria es arbitraria, pero ha estimulado la investigación orientada a descubrir los cambios bioquímicos que controlan el esquema

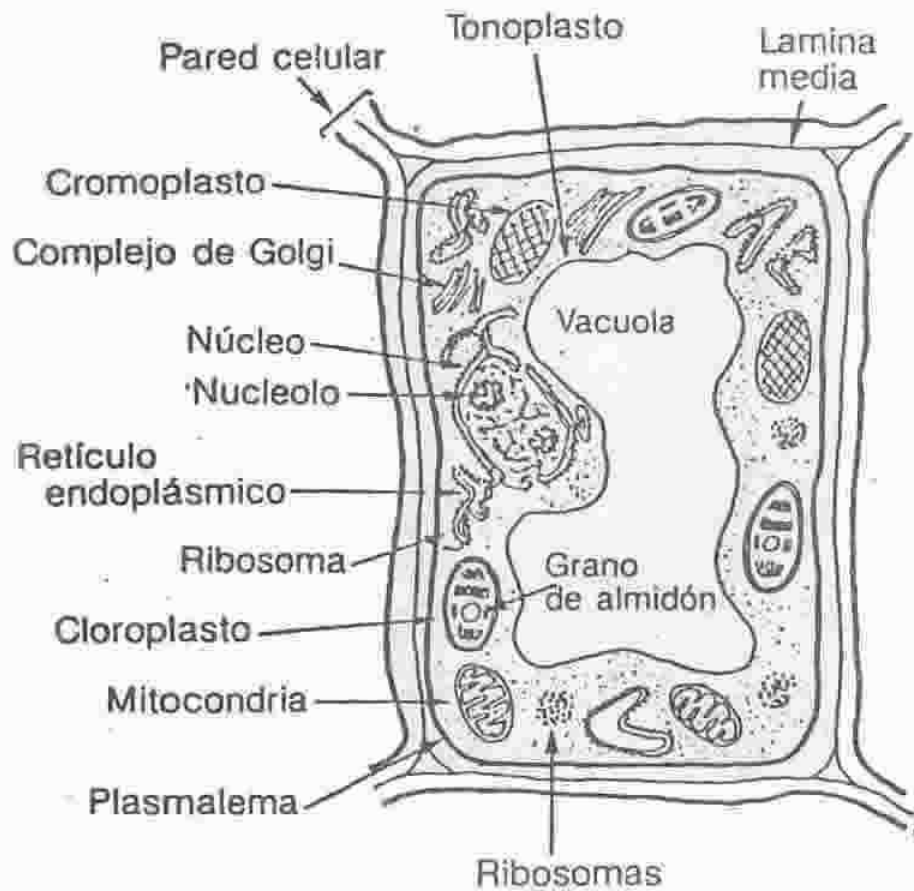


Figura 3. Representación esquemática de una célula vegetal.

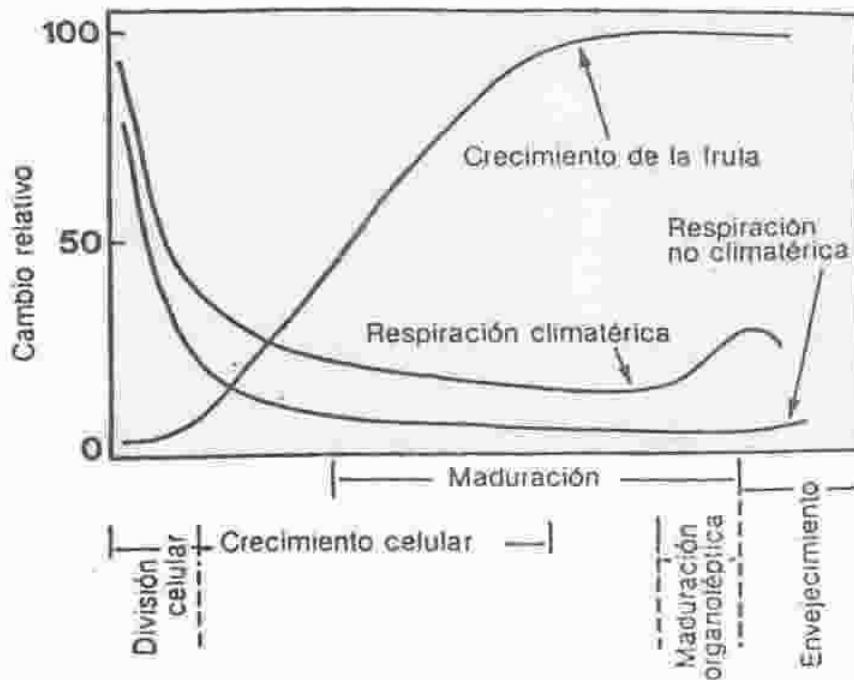


Figura 4. Cambios sufridos por la respiración y el crecimiento durante el desarrollo de la fruta. (De Biale, J.B. "Growth, maturation and senescence in fruits". Science 146: 880-8: 1964. Con autorización).

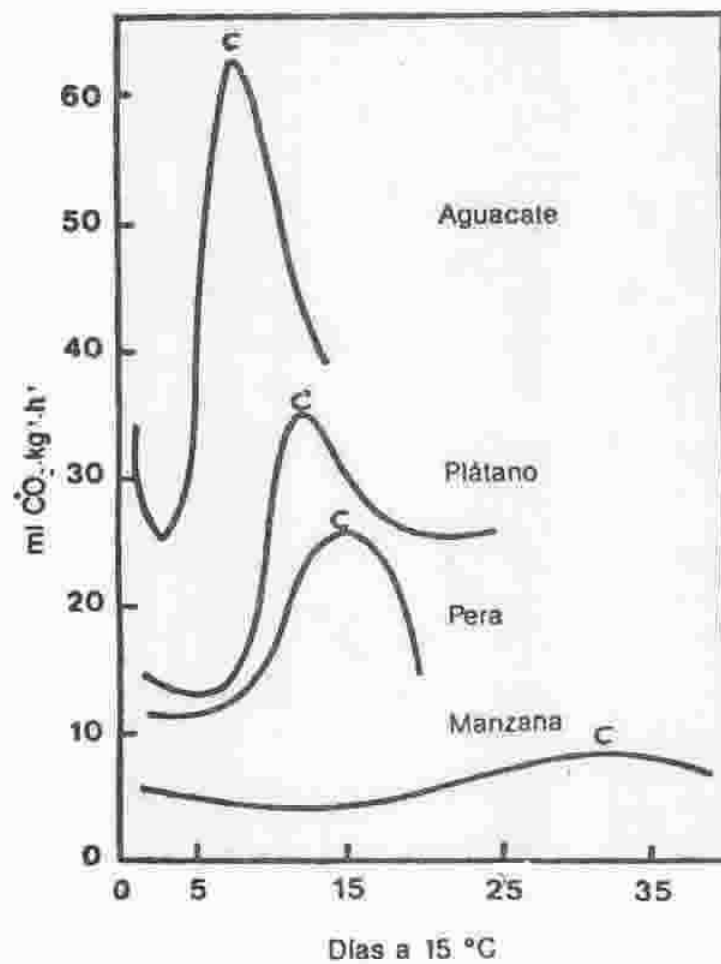


Figura 5. Cambios respiratorios de algunas frutas climatéricas. (De Biale, J.B. "Postharvest physiology and biochemistry of fruits". Ann. Rev. Plant Physiol. 1: 183-206; 1950. Con autorización).

respiratorio climatérico. - Figura 5

3.2.2. PROCESO RESPIRATORIO

Todos los seres vivos precisan de un suministro continuo de energía. La energía recibida permite llevar a cabo las reacciones metabólicas precisas para el mantenimiento de la organización celular, el transporte de metabolitos y el mantenimiento de la permeabilidad de la membrana.

La mayor parte de la energía que las frutas y hortalizas necesitan les es suministrada por la respiración aeróbica, que implica la degradación oxidativa de ciertas sustancias orgánicas almacenadas en los tejidos. El sustrato normal de la respiración es la glucosa; si su oxidación es completa, la reacción global es la siguiente:



La respiración es básicamente una operación inversa a la de la fotosíntesis por la que la energía luminosa procedente del sol se almacena en forma de energía química, principalmente en carbohidratos constituidos por unidades de glucosa. La plena utilización de la glucosa implica dos secuencias de reacciones fundamentales:

1. GLUCOSA - PIRUVATO, vía la ruta de Embden Meyerhof parnas (EMP) localizada en el citoplasma.
2. Piruvato - Dióxido de Carbono, a través del ciclo de los ácidos tricarbóxicos (TCA) cuyas enzimas se encuentran localizadas en las mitocondrias.

3.2.3. FACTORES QUE AFECTAN LA RESPIRACION

La respiración se afecta por factores internos al producto, como variedad, grado de madurez en recolección y variable de pre-recolección como los ecológicos y agrotécnicos de cultivo y por otros factores externos al producto o ambiente tales como son la temperatura, la composición de la atmósfera, el nivel de etileno exógeno, los daños mecánicos y las podredumbres.

3.2.2.1 Temperatura

La Temperatura es el factor que más afecta a la intensidad respiratoria, puesto que influye en la velocidad de las reacciones que dan lugar a las transformaciones bioquímicas durante la respiración, sólo pueden en las células vivas, a las temperaturas suficiente bajas del fruto, en comparación con las que se necesitarían para producir la reacción en el laboratorio, gracias a la presencia de es

estimulantes del metabolismo, como son las enzimas de naturaleza proteica y de elevado poder catalizador. La velocidad de tales reacciones puede regularse con la temperatura, de conformidad con la Ley de Arrhenius que termina en el aumento exponencial de la velocidad de reacción enzimática (K), con la inversa de la temperatura absoluta.

$$K = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

Donde: A = Constante.
 e = Base de los logaritmos neperianos
 E_a = Energía de activación necesaria para que el componente de la reacción tenga una alta probabilidad de formar el producto
 T = Temperatura absoluta, en grados Kelvin

Dicha ecuación se expresa en la práctica en términos del factor llamado Q₁₀ o "cociente de la temperatura", definido por Van't Hoff en 1884 como el cociente entre dos velocidades de reacción para intervalos de 10 C de temperatura, es decir:

$$Q_{10} = \frac{K_{t+10}}{K_t} = \frac{\text{Período de conservación a } t \text{ C}}{\text{Período de conservación a } (t+10) \text{ C}}$$

No obstante, los primeros estudios para obtener la respiración a cualquier temperatura, tomando como base la respiración a 0 C, se deben a Berthelot en 1962 quien estableció la relación:

$$\text{Log } y_t = \text{Log } y_0 + a \cdot t$$

Siendo: y_t la respiración a t C y y₀ la respiración a 0 C

a constante

Posteriormente, el científico Gore en 1911, determinó experimentalmente el valor de a = 0,9376, con lo que la Ley de Berthelot, para t = 10 C viene a coincidir con el Q₁₀ de Van't Hoff, es decir:

$$Q_{10} = \frac{y_{10}}{y_0} = 10^{10a} = 2,38$$

3.2.3.2. Oxígeno

Concentraciones de oxígeno inferiores a la normal del aire (21%), provocan

una reducción de la IR, un retraso en la maduración y un aumento de la vida comercial de los productos vegetales, siendo la respuesta más o menos pronunciada según la especie y variedad de que se trate.

Concentraciones de oxígeno superiores a la normal del aire pueden o no elevar la intensidad respiratoria y acelerar la maduración. En el caso de los limones, por ejemplo, inducen la aparición de un pseudoclimaterio, caracterizado por un aumento sensible en la producción de anhídrido carbónico que va acompañado del amarilleamiento de los frutos.

Concentraciones de oxígeno inferiores al 2,5% - 3% aumentan la producción de anhídrido carbónico y generan sabores anormales como consecuencia del establecimiento de un proceso fermentativo por falta de oxígeno. A niveles de 1% de oxígeno se pueden detectar sabores alcohólicos en manzanas, plátanos, aguacates, alcachofas y pimientos. Por todo lo expuesto, es por lo que salvo casos excepcionales, no se recomienda el empleo prolongado de atmósferas con concentración en oxígeno inferiores al 2%.

Es muy interesante el efecto conjugado de la concentración del oxígeno y de la temperatura sobre la IR de los frutos ya que a bajas temperaturas el efecto de un nivel bajo de oxígeno es menos marcado a medida que la temperatura desciende.

3.2.3.3. Anhídrido Carbónico

Los efectos del anhídrido carbónico sobre la IR de las frutas y hortalizas es complejo, y la respuesta del producto puede ser variable de acuerdo con la especie, la variedad, la concentración del citado gas y el tiempo que permanezca expuesto a su acción.

Así, por ejemplo, en los frutos climatéricos, la crisis respiratoria puede reducirse en intensidad y retrasarse en el tiempo (aguacate) o solamente retrasarse, permaneciendo inalterado el máximo climatérico (plátano).

En el caso de frutos no climatéricos la IR puede reducirse (fresa) o estimularse (limón).

A concentraciones elevadas, del orden del 15% o superiores, pueden producirse sabores anormales en frutos como el plátano, los cítricos y otros, debido a la acumulación de etanol. Sin embargo, otros frutos tales como cerezas y fresas pueden soportar, durante algunos días, concentraciones elevadas de anhídrido carbónico, del orden del 20%, siendo capaces de eliminar de sus tejidos el exceso de dicho gas cuando vuelvan a estar en una atmósfera normal.

3.2.3.4. Etileno

La aplicación de etileno a la atmósfera de conservación de los frutos climatéricos afecta al tiempo requerido para que se alcance el máximo climatérico dentro de la crisis respiratoria. Así, por ejemplo, en el aguacate y el plátano se adelanta la crisis climatérica cuando el etileno se aplica en la fase pre climatérica y en el tomate cuando se aplica en el grado de madurez llamado verde-maduro. Cuando el etileno se aplica después de la crisis climatérica no se observa influencia sobre la IR.

En los frutos no climatéricos, la aplicación de etileno puede estimular la IR en cualquier momento de su vida, una vez recolectados y se produce un aumento sensible en la producción de anhídrido carbónico inmediatamente después de la aplicación.

Los efectos del etileno pueden apreciarse, en bastantes casos, con concentraciones incluso inferiores a 1 ppm, estando su influencia muy reducida, incluso puede decirse que anulada, a temperaturas del orden de 3 C o inferiores.

3.3. CALOR DE RESPIRACION (Q_r)

El calor de respiración, es de considerable importancia en la tecnología post recolección, y debe ser incluido en la estimación de las necesidades de enfriamiento y circulación de aire para mantener la temperatura adecuada durante la conservación frigorífica de los frutos.

La cantidad de calor desprendido varía con ciertos factores: clase de producto, variedad, grado de madurez y fase de maduración, daños físicos y fisiológicos y sobre todo temperatura, como puede comprobarse en la tabla II y figura 6.

La cantidad de calor desprendido a 0 C es capaz de aumentar la temperatura de la manzana en 0,3 C cada 24 horas.

TABLA II
CALOR DE RESPIRACION PARA DISTINTAS ESPECIES, EN FUNCION
DE LA TEMPERATURA

T (C)	CALOR (W/Kg)= Q _r		
	<u>MANZANA</u>	<u>PERA</u>	<u>UVA</u>
0	0,005-0,018	0,07 - 0,014	0,005 - 0,010
+ 5	0,013-0,031	0,08 - 0,17	0,016 - 0,014
+ 15	0,028-0,090		0,036 - 0,048

(Se emplea la equivalencia 1w= (Watio) = 0,680 Kcal/h)

El calor de la respiración se puede obtener indirectamente de la intensidad respiratoria (IR), ya que en la combustión de 1 mol de glucosa (180gr), con formación de 6 moles de CO₂ (264 gr), se producen 673 Kcal, es decir, 255 Kcal/gr CO₂. De tal suerte que la equivalencia es:

$$1 \text{ mg CO}_2 / \text{Kg. h} = 2,55 \text{ Kcal/ t/h}$$

o bien: $Q_r \text{ Kcal/t/24 h} = \text{I. R. mg CO}_2 / \text{Kg/h} \times 55$

La conversión de mg CO₂/Kg/h a Btu/t/día se consigue multiplicando los valores de IR por el factor 220, que es el resultado de multiplicar 2,55 cal/mgCO₂ en la combustión de una hexosa por el factor 86,3, que convierte calorías/Kg/h en Btu/t/día. Es decir:

$$1 \text{ Btu/t/día} = 220 \text{ mg CO}_2 / \text{Kg/h}$$

4. TRANSPIRACION

4.1. DEFINICION DEL PROCESO TRANSPIRATORIO

Los frutos frescos contienen principalmente agua, por término medio se estima en 80-85% del peso fresco, volátiles en pequeña proporción y el resto lo constituyen los sólidos de diferentes naturaleza.

El agua es por lo tanto el constituyente básico de los frutos, confiriéndoles su fragilidad en los tejidos, siendo los productos más perecederos los que normalmente poseen el mayor contenido hídrico como ocurre con los frutos

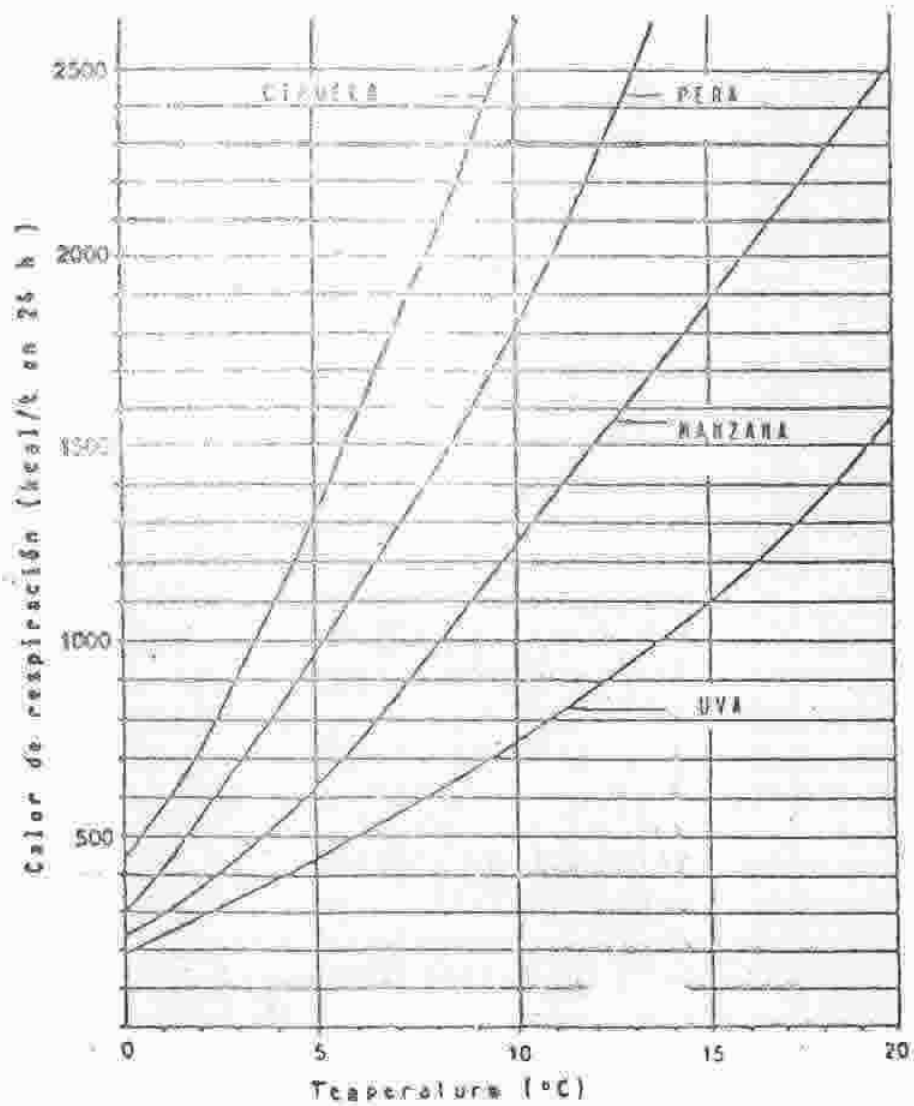


Fig. 6: Calor de respiración de diferentes frutos, en función de la temperatura. (De P.S. WORTHINGTON-SMITH, 1985).

carnosos (frutas de hueso, fresa, etc).

La pérdida de agua desde el producto, se realiza en forma de vapor, por parte de los tejidos vivos, tanto en los que están insertos en la planta madre como en los que se han recolectado (Figura 7). Se conoce este fenómeno con el nombre de transpiración.

La transpiración y la evaporación, son fenómenos análogos.

El primero se aplica a los productos vivos y el segundo a los muertos, si bien las leyes físicas de la evaporación en el caso de hablar de transpiración se ven influenciadas por diversos tipos de resistencias que opone el producto mismo.

4.2. FACTORES QUE AFECTAN A LA TRANSPIRACIÓN

Quien determina la intensidad de la transpiración es principalmente la diferencia entre la tensión de vapor de agua en los espacios intercelulares de los tejidos del fruto y la tensión de vapor de agua del medio exterior (déficit de presión de vapor de agua, DPVA). Este concepto de DPVA viene a ser más útil que el de humedad relativa (H. r.), utilizado para descubrir el contenido de vapor de agua de la atmósfera de conservación (porcentaje de saturación de la atmósfera con vapor de agua a cualquier temperatura). La evaporación desde cualquier producto vivo es directamente proporcional al DPVA en su medio ambiente. Una alta h. r. es equivalente con una baja DPVA.

La intensidad de transpiración o nivel de migración del vapor agua, en la dirección de concentración más baja, principalmente a través de las aberturas naturales en la superficie del fruto, está controlada por la DPVA entre el producto y el medio y está gobernada por la temperatura y por la humedad relativa de acuerdo con la expresión:

$$DPVA = \frac{EVA (100-h.r.)}{100} \quad \text{Pascals}$$

(Las presiones se expresan en pascals, conforme al sistema Internacional de medidas, con la equivalencia de 1 mm Hg = 132,6 pa) (Tabla).

La pérdida de agua, que se traduce en pérdida de peso, es más rápida y más importante a temperaturas elevadas que a bajas, incluso cuando la humedad relativa es la misma.

Un ejemplo, acerca la importancia de este concepto. Imaginemos dos cámaras h. r. de 90%, pero una de ellas a 0 C y la otra a +10C. Para estas condiciones, corresponde DPVA de 61 Pa a 0C y de 122 Pa a 10C, por lo que, a igualdad del resto de los factores, los productos pierden agua dos

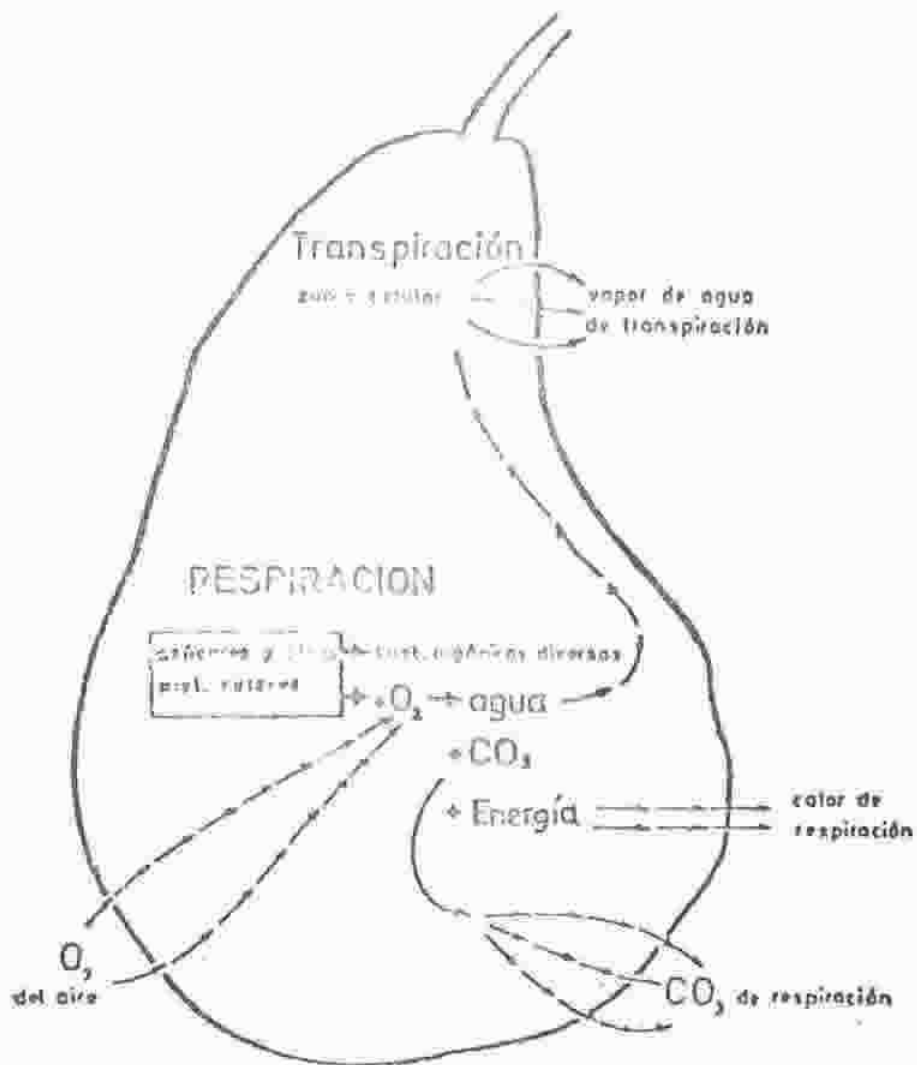


Fig. 7 : Representación esquemática de las funciones de transpiración y respiración de un fruto. (Simplificado de A. MEZZETTI, 1969)

la misma pérdida de peso a las dos temperaturas, la h. r. debería mantenerse en 95% a 10 C y en 90% a 0 C.

Entre un producto comercializado directamente sin enfriar y otro enfriado, las diferencias en pérdidas de peso son considerables, así p. ej. en el caso teórico de 25 C y 30 C h. r., perdería agua 36 veces más de prisa que a 0 C y 90% h. r.

En conclusión, reduciendo la temperatura del aire se consigue rebajar el DPVA y, por tanto, reducir la pérdida de agua durante la conservación de los frutos y el subsiguiente arrugamiento.

Se han construido diagramas psicrométricos que relaciona las diversas propiedades del aire húmedo, cuyo uso permite el cálculo de la pérdida de agua por transpiración.