

## Evaluación de un agente oxidante atmosférico sobre la pérdida fisiológica de peso en poscosecha de papaya, chicozapote, jitomate y guayaba

Federico Nieto

### INTRODUCCIÓN

La aplicación de agentes oxidantes atmosféricos (AOA) en la tecnología poscosecha de frutas y hortalizas es una práctica utilizada en Estados Unidos y Europa principalmente.

En México, las pérdidas poscosecha de frutas y hortalizas sigue siendo un problema de relevancia nacional; según datos de la FAO del 36% al 69% en países como el nuestro (Kader, 1998).

Dentro del amplio espectro tecnológico que implica la solución a estos problemas, el uso de AOA es una alternativa que permite prolongar la vida útil del producto en almacenamiento, controlando la concentración del etileno producido a través de la remoción de las áreas de almacenamiento y la conversión de éste a otros compuestos.

Este estudio forma parte de los avances preliminares del proyecto "Desarrollo de retardadores de madurez poscosecha en frutas y hortalizas", de la Universidad Simón Bolívar, y su objetivo es evaluar la aplicación de un AOA en frutos que se comercializan en el mercado nacional.

### RESUMEN

Los frutos seleccionados se sometieron a almacenamiento en refrigeración (10 °C) durante veintitrés días, cuantificando la pérdida fisiológica de peso (PFP) diariamente, con y sin la aplicación del agente oxidante atmosférico (AOA). Los resultados mostraron, bajo las condiciones experimentales usadas, una diferencia significativa en la PFP, así como la reducción de su velocidad para la papaya y le chicozapote. En el caso del jitomate y la guayaba se observó asimismo una disminución en la PFP y en su velocidad, pero el efecto del AOA no fue relevante.

El etileno ( $C_2H_4$ ) es considerado una *fitohormona*<sup>1</sup> debido a su capacidad de ser fisiológicamente activo en concentraciones de partes por millón (ppm) y por promover cambios en los procesos biológicos, tales como la maduración de los frutos. Es un miembro de la familia de las *olefinas*<sup>2</sup> gaseosas y tiene por característica alterar el ritmo de crecimiento y desarrollo de las plantas superiores.

El proceso de maduración es la primera fase de la última etapa en el desarrollo de los frutos conocidos como *senescencia*.<sup>3</sup> Durante ésta ocurren una serie de modificaciones irreversibles que tienen como resultado hacer más apetitoso al fruto, y, como última etapa, conduce a la muerte celular e inacceptabilidad sensorial del mismo. Los cambios que ocurren normalmente durante la maduración de los frutos incluyen procesos catabólicos y anabólicos; algunos de ellos pueden ser percibidos a simple vista.

**Cuadro 1.** Procesos catabólicos y anabólicos durante la maduración comercial de los frutos

Procesos catabólicos	Procesos anabólicos
Hidrólisis de almidón	Síntesis de compuestos volátiles
Destrucción de ácidos	Formación de etileno
Destrucción de cloroplastos	Mantenimiento de la estructura mitocondrial
Solubilización de pectinas	Incremento de la actividad del ciclo TCA
Ablandamiento del tejido	Formación de carotenoides y/o antocianinas (color)
Oxidación de sustrato	Incrementa la incorporación de aminoácidos
Inician cambios de permeabilidad en membranas	Incrementa la transcripción de translación
Inactivación por compuestos fenólicos	Preservación de membranas selectivas
Activación de enzimas hidrolíticas	Interconversión de azúcares

<sup>1</sup> El fitohormona: sustancia química orgánica que actúa específicamente sobre el crecimiento de las plantas.

<sup>2</sup> Olefinas: hidrocarburos etilénicos que se caracterizan por ser muy reactivos.

<sup>3</sup> Senescencia: calidad de empezar a envejecer.

El desarrollo de las propiedades deseables, sobre todo las sensoriales, durante la maduración de los frutos, depende de su naturaleza, y en cada uno de ellos es diferente. Sin embargo, existen pautas que permiten agruparlos de acuerdo con su comportamiento. Una de estas pautas de clasificación se basa en la producción de etileno, el cual divide los frutos en climatéricos y no climatéricos.

Durante la maduración los frutos climatéricos —como el aguacate, plátano, tomate y chicozapote— presentan un incremento considerable en la producción de etileno y en sus tasas respiratorias, mientras que en los frutos no climatéricos dichas tasas permanecen constantes o tienden a disminuir —como en la piña, cítricos y uvas.

Esta diferencia se fundamenta en que los frutos climatéricos poseen dos sistemas de producción de etileno, mientras que los frutos no climatéricos poseen sólo un sistema.

El sistema en los frutos no climatéricos inicia la biosíntesis de etileno debido a un factor interno, involucrado genéticamente en el proceso de senescencia del tejido. El segundo sistema —característico de los frutos climatéricos únicamente— les confiere la capacidad de producir grandes

cantidades endógenas de etileno; como respuesta a la presencia de etileno exógeno (fuera del fruto), dispara la producción de etileno en los tejidos del fruto (endógeno); por otro lado, el propio fruto, al producir etileno endógeno, eleva la concentración de etileno exógeno; esto es, la atmósfera que rodea al fruto se enriquece de etileno —sólo bastan cantidades traza para que este fenómeno se inicie—. La respuesta del fruto climatérico ante este fenómeno es la producción de grandes cantidades endógenas de etileno.

Cuando se les aplica etileno de forma exógena a los frutos climatéricos, se promueve la tasa respiratoria y la producción de etileno endógeno; es decir, se incrementa la velocidad de los procesos catabólicos y anabólicos, y esto trae como consecuencia la reducción del tiempo de maduración, pero sin alterar las magnitudes de las respuestas —como el cambio en el color por la biosíntesis de pigmentos.

Por otro lado, la aplicación de etileno exógeno en los frutos no climatéricos provoca un incremento en la magnitud en la tasa respiratoria, pérdida de color verde y acumulación de azúcares reductores; no obstante, el etileno endógeno no se incrementa. El segundo sistema de producción de etileno de los frutos climatéricos les brinda la

capacidad de continuar por sí mismos el proceso de maduración al ser removidos de la planta, lo cual no ocurre con los frutos no climatéricos.

En los frutos climatéricos los patrones de maduración son bastante uniformes, ya que los cambios anabólicos y catabólicos se presentan a la par o después del incremento en la producción de etileno y tasa respiratoria; por el contrario, en los frutos no climatéricos se presentan perceptibles diferencias.

Estos últimos se caracterizan por un prolongado periodo de crecimiento y proceso de maduración, en el cual los cambios —producidos por la maduración— traen como consecuencia la desorganización de cloroplastos y el contenido de pigmentos, separados de otros cambios de maduración, como es el de la degradación de pectina.

En el caso del higo y la uva, la expansión celular y el crecimiento ocurren en paralelo con algunos aspectos de maduración. En la uva, el incremento respiratorio, los cambios de color y textura, la pérdida de acidez y la acumulación de azúcares se asocian con el disparo del crecimiento.

Los niveles en la producción de etileno de estos frutos se encuentran por debajo de una parte por millón; es decir, en niveles traza, pero éstos pueden ser suficientes para acelerar los procesos catabólicos del producto.

En los frutos climatéricos los niveles traza de etileno se observan en el preclimatérico, y durante el climatérico se incrementan logarítmicamente.

El Cuadro 2 refleja la producción y sensibilidad cualitativa al etileno de varios frutos y hortalizas, lo que permite dar una idea de la naturaleza de su comportamiento durante la maduración.

**Cuadro 2.** Producción y sensibilidad cualitativa de etileno de varios frutos y hortalizas

	Producción de etileno	
	Alta	Fuerte
Aguacate tropical	Alta	Fuerte
Alcachofa	Muy baja	Fuerte
Albaricoque	Alta	Fuerte
Arándano	Baja	Fuerte
Cereza	Muy baja	Fuerte
Calabaza	Baja	Fuerte
Ciruela	Alta	Fuerte
Chirimoya	Muy alta	Fuerte
Clementina	Muy baja	Media
Col	Muy baja	Fuerte
Coliflor	Muy baja	Fuerte
Espárrago	Muy baja	Media
Kiwi	Alta	Fuerte
Limón	Muy baja	Media
Mango	Moderada	Fuerte
Manzana	Alta	Fuerte
Melocotón	Alta	Fuerte
Nectarina	Alta	Fuerte
Melón cantalupe	Moderada	Media
Melón común	Media	Fuerte
Naranja	Baja	Media
Papaya	Alta	Fuerte
Pera	Alta	Fuerte
Piña	Baja	Fuerte
Plátano	Moderada	Fuerte
Toronja	Baja	Media
Sandía	Baja	Media
Tomate	Moderada	Fuerte
Uva	Muy baja	Fuerte

La producción de etileno y la maduración se inician en alguna área de los tejidos del fruto, y su progresión, a células distantes, ocurre por difusión de este gas a través de los mismos tejidos.

A medida que numerosas frutas crecen y maduran, se hacen progresivamente más sensibles al etileno.

Para actuar a nivel celular, el etileno se liga con un sitio receptor a través de una proteína que fija metales de transición, como el cobre (Cu(I)) o el zinc (Zn(I)), para lo cual se requiere la presencia de O<sub>2</sub> molecular (Brug y Brug, 1965).

El control del etileno en almacenamiento refrigerado, tiene por objetivo proteger al fruto de los efectos catabólicos que este gas tiene sobre él, deteniendo su producción natural o removiendo el producido.

Se han establecido cuatro alternativas para el manejo de etileno (Yang y Hoffman, 1984):

1. Manipulación de la expresión del gen que controla la síntesis y la actividad del etileno (ingeniería genética).

2. Modificación de las características del enlace con el que el etileno se une al receptor o bien modificar la cantidad del receptor (uso de metales o compuestos catalizadores).

3. Control del nivel de etileno en el tejido por estimulación o inhibición de la biosíntesis del mismo (aplicación de tratamientos).

4. Control del nivel de etileno en el tejido y/o almacenamiento por adición o remoción.

Para llevar a cabo la última de las alternativas, se han establecido tres estrategias (Abeles, Morgan y Saltveit, 1992):

**1. Prevención.** Se refiere al cuidado en la logística —cosecha, clasificación y empaque del fruto u hortaliza—, así como a la selección del índice adecuado de madurez. Evitar el daño mecánico, el cual estimula la biosíntesis de etileno.

Asimismo se debe poner especial atención en la temperatura de almacenamiento y no mezclar productos incompatibles (no climatéricos y climatéricos).

**2. Inhibición.** Se refiere al uso de atmósferas controladas y/o modificadas.

**3. Remoción.** Se refiere a la erradicación del etileno de las áreas de almacenamiento por ventilación con aire fresco libre de etileno; o bien mediante la depuración de la atmósfera con dispositivos que lo capturan; o a través de la conversión del mismo a otros productos. El permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ) es usado comercialmente en la práctica como depurador por no ser sensiblemente corrosivo.

El  $\text{KMnO}_4$  debe de adsorberse en un portador adecuado, con una gran área superficial como la celita, sepiolita, vermiculita, sílica gel y vidrio expandido. Los depuradores de  $\text{KMnO}_4$  están disponibles comercialmente con presentaciones en filtros, bolsitas y otros dispositivos que permiten la captura del etileno.

La ventaja de este método radica en que no requiere de una instalación especial para su aplicación, sólo es necesario colocarlo en la parte posterior del difusor de la cámara de almacenamiento.

Para que el etileno sea capturado con eficiencia, el aire debe pasar a través del depurador que, junto con el portador y el metaperyodato de sodio, permite visualizar un cambio de color —de púrpura profundo a café— cuando el ion  $\text{MnO}_4^-$  se reduce a  $\text{MnO}_2$ , indicando que el etileno fue capturado y transformado químicamente.

La razón por la que el  $\text{MnO}_4^-$  se reduce a  $\text{MnO}_2$  —lo que provoca un cambio en color— se debe a que el etileno se oxida, transformándose en etilenglicol, y, posteriormente, este último se convierte en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  con la ayuda del metaperyodato de sodio.

El etileno es atraído más fuertemente por el ion  $\text{KMnO}_4$  del complejo adsorbedor, que por el metal de transición (zinc o cobre) unido al sitio receptor de etileno en el tejido del fruto; esto se debe a que el manganeso (Mn), que es asimismo un metal de transición, posee un número de oxidación (+7) mayor que el del cobre y el del zinc (+2).

El aumento en el número de oxidación de un elemento incrementa su carácter no metálico y disminuye su carácter metálico. Los no metales tienen mayor facilidad para aceptar los electrones; es decir, para reducirse y oxidar al compuesto que se los dona —en este caso particular al etileno.

## OBJETIVO

Evaluar la pérdida fisiológica de peso en poscosecha de papaya, chicozapote, jitomate y guayaba, con y sin la aplicación de un agente oxidante atmosférico y bajo condiciones de refrigeración (10 °C).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los lotes de frutas seleccionadas —papaya (*Carica papaya*), chicozapote (*Achras sapota*), jitomate (*Lycopersicon esculentum*) y guayaba (*Psidium guajava*)— se adquirieron en la Central de Abastos de la Ciudad de México. Se clasificaron bajo los siguientes criterios: papaya verde-cambiante, 25% de su superficie verde con 9 a 10 °Brix en la pulpa; la dureza del chicozapote, entre 1.1 a 1.4 kg/cm<sup>2</sup> (1.1 a 1.4 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>); jitomate verde-pinto (con 8 a 10 °Brix en la pulpa); y guayaba verde con 7 a 9 °Brix en la pulpa. Las frutas seleccionadas se clasificaron en dos grupos: el primero se sometió al tratamiento con el AOA, y el segundo no; de esta manera se formaron dos lotes por cada fruta.

Se utilizó un refractómetro manual de tres rangos de 0 a 90 °Brix, modelo H-02940-32 (*Cole-Palmer Instruments*) y un penetrómetro manual diseñado y construido en la USB. Una vez caracterizados, los lotes fueron divididos y pesados. Se envasaron en recipientes herméticos, con una relación 1:3 (fruto-volumen), para someterlos al tratamiento bajo la siguiente condición de refrigeración: temperatura 10 °C, para lo cual se utilizó una cámara frigorífica con control de temperatura. La cantidad de AOA utilizada fue de 3 g/kg de fruto. El AOA está constituido por permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>) y metaperiodato de sodio (NaIO<sub>4</sub>), los cuales se encuentran adsorbidos en sepiolita (Mg<sub>4</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>15</sub>(OH)<sub>2</sub>·6 (H<sub>2</sub>O)) y cuya forma geométrica es de *pellet*.

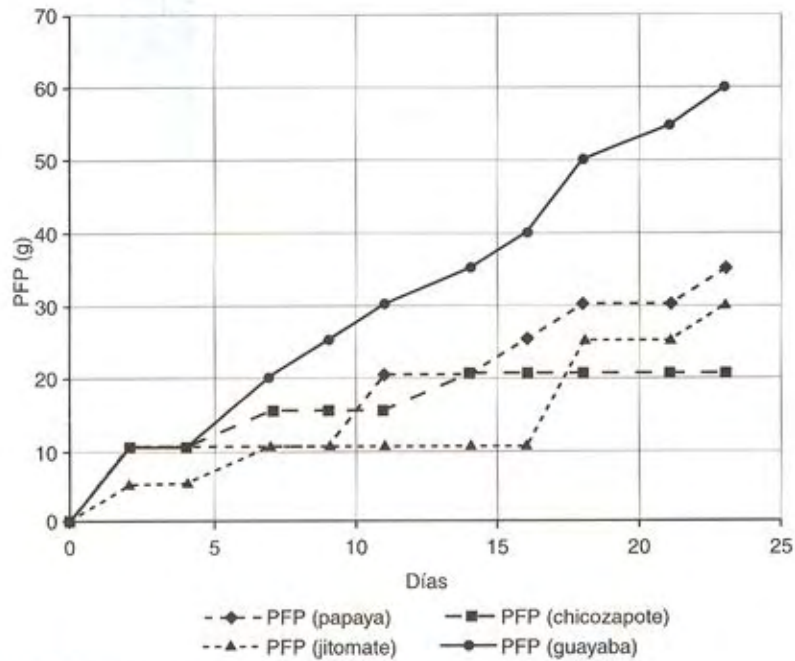
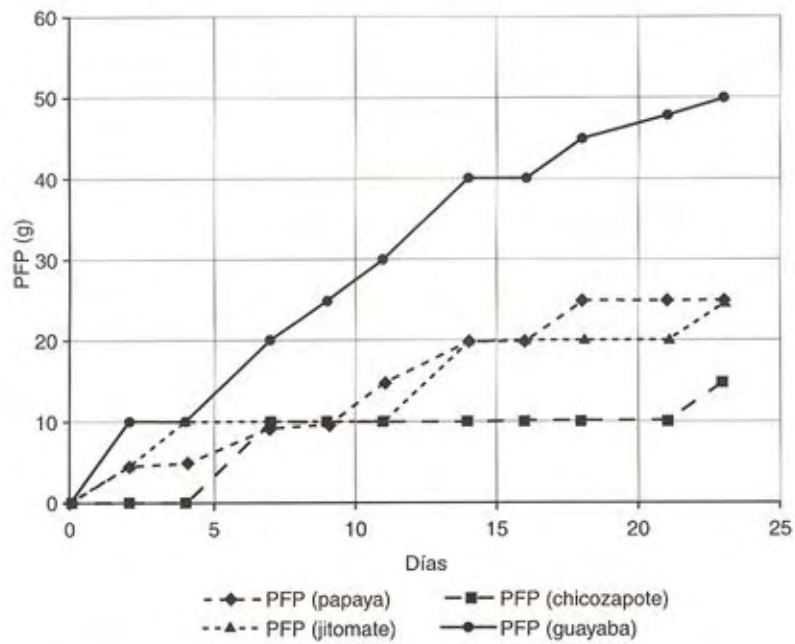
Una vez formados los ocho lotes, a cuatro de ellos se les incorporó el AOA en la proporción antes indicada. El seguimiento de la pérdida fisiológica de peso (PFP) se hizo diariamente hasta alcanzar los veintitrés días. El diseño experimental aplicado fue un análisis de varianza factorial; primer factor: con y sin AOA; segundo factor: tiempo (nivel de confianza 95%).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran una reducción en la PFP para los cuatro frutos (Gráficas 1 y 2).

Sin embargo, para el jitomate y la guayaba, la magnitud fue la misma 16.67% (Tabla 1), lo cual no es congruente con la teoría, pues la guayaba presenta una mayor producción de etileno (>180 ml/kg-h) que el jitomate (22 ml/kg-h).

Esto hace pensar que las condiciones de almacenamiento no se presentaron como las más adecuadas para estos frutos, ya sea por la temperatura (que osciló en magnitud de ± 5 °C) o la relación fruto-volumen (1:3), puesto que la aplicación del AOA se realizó en atmósfera estática (envase hermético). Para la papaya y el chicozapote la reducción en la PFP fue superior al 20% con el uso del AOA.

**Gráfico 1.** Pérdida fisiológica de peso (sin AOA)**Gráfico 2.** Pérdida fisiológica de peso (con AOA)**Tabla 1.** Pérdida fisiológica de peso a los veintitrés días de almacenamiento a 10 °C

Fruto	PFP sin AOA	PFP con AOA	Reducción PFP
Papaya	35 g	25 g	28.57%
Chicozapote	20 g	15 g	25.00%
Jitomate	30 g	25 g	16.67%
Guayaba	60 g	50 g	16.67%

Por otro lado, el análisis de varianza mostró que para el jitomate y la guayaba no hubo diferencia significativa de PFP respecto a la aplicación del AOA, donde se obtuvieron niveles significativos ( $\alpha = 0.5943$  y  $\alpha = 0.1967$ , respectivamente) (Tabla 2).

Sin embargo, para la papaya y el chicozapote, el impacto sobre la PFP por el AOA fue significativo ( $\alpha = 0.0039$  y  $\alpha = 0.0000$ , respectivamente).

El efecto del tiempo sobre la PFP fue congruente en los cuatro frutos: se observaron diferencias significativas en periodos de dos a cinco días de almacenamiento.

El supuesto de linealidad entre el tiempo y la PFP se realizó con el fin de hacer un análisis cualitativo y no con el objetivo de obtener un modelo (Tabla 3). Se puede observar que para la papaya y la guayaba se obtuvieron los coeficientes de correlación más cercanos a la unidad, seguidos del jitomate y por último del chicozapote.

Sin embargo, como ya se observó, el jitomate y la guayaba no presentaron una respuesta significativa ante la presencia del AOA, pero sí disminuyeron sus velocidades de PFP, que en ambos casos es menor al 16%.

Por otro lado, la papaya y el chicozapote presentaron una reducción en sus velocidades de PFP mayor al 16%, así como una respuesta significativa ante la presencia del AOA.

Lo anterior puede ser indicativo de que la temperatura de almacenamiento tiene un efecto sobre la reducción de velocidad de PFP menor al 16%, y que por arriba de este valor la presencia del AOA contribuye en mayor medida.

**Tabla 2.** Análisis de varianza para la PFP

Fruto	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	Nivel de significancia
P a p a y a	Efectos principales					
	Tiempo	72.7273	1	72.7272	13.913	0.0039
	AOA	4365.0000	22	198.4091	37.957	0.0000
	Residuo	115.0000	22	5.2273		
	Total	4552.7273	45			
C h i c o z a p o t e	Efectos principales					
	AOA	290.9090	1	290.9090	49.231	0.0000
	Tiempo	1340.0000	22	60.9090	10.308	0.0005
	Residuo	130.0000	22	5.9090		
	Total	1760.9090	45			
J i t o m a t e	Efectos principales					
	AOA	4.5455	1	4.5455	0.313	0.5943
	Tiempo	302.9998	22	137.7272	9.469	0.0007
	Residuo	320.0000	22	14.5454		
	Total	627.5453	45			
G u a y a b a	Efectos principales					
	AOA	22.0000	1	22.0000	1.913	0.1967
	Tiempo	15260.9996	22	693.6818	60.320	0.0000
	Residuo	253.0000	22	11.5000		
	Total	15535.9996	45			

**Tabla 3.** Velocidad de pérdida fisiológica de peso sin y con AOA

Fruto	Sin AOA (g/día)	Con AOA (g/día)	Reducción de velocidad (%)
Papaya (coef corr.)	1.3784 $R^2 = 0.9339$	1.1513 $R^2 = 0.9611$	16.84
Chicozapote (coef corr.)	0.7208 $R^2 = 0.7749$	1.1513 $R^2 = 0.7187$	21.14
Jitomate (coef corr.)	1.1300 $R^2 = 0.8296$	0.9563 $R^2 = 0.9023$	15.37
Guayaba (coef corr.)	2.5366 $R^2 = 0.9911$	2.1949 $R^2 = 0.9706$	13.47



## CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que el AOA posee un efecto significativo sobre la PFP, así como en la reducción de su velocidad para la papaya y el chicozapote. En el caso del jitomate y la guayaba se observó una disminución en la PFP y en su velocidad, pero el efecto del AOA no fue relevante. La contribución de la temperatura sobre la velocidad y reducción de la PFP fue también significativa, y, como era de esperarse, el tiempo, que es el factor a vencer, contribuyó a la PFP. El AOA demostró su eficiencia en la prolongación de la vida útil de los frutos.

En investigaciones posteriores, los factores a estudiar, además de la PFP, serán el coeficiente respiratorio y la emisión de etileno. Los resultados obtenidos en este estudio preliminar permiten marcar la pauta para trabajos futuros dentro del proyecto "Desarrollo de retardadores de madurez poscosecha en frutas y hortalizas". ☺

## BIBLIOGRAFÍA

- Kader, A. (1998). Postharvest Losses of Horticultural Perishables. *Post Harvest Newsletter*, 2, 8-11.
- Saltveit, M. E. (1992). Regulation of ethylene production. En Abeles, F. B. y Morgan, P. W. *Ethylene in Plant Biology* (pp. 48-117). New York: Academic Press.
- Burg, P. S. y Burg, E. A. (1965). Ethylene action and the ripening of fruits. *Journal of Food Science*, 148, 1190-1197.
- Burg, P. S. y Burg, E. A. (1967). Molecular requirements for the biological activity of ethylene. *Plant Physiology*, 42, 144-152.
- Friend, J. y Rhodes, M. J. C. (1981). *Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables*. New York: Academic, Press.
- Lentz, C. P. y McCullough, R. S. (1971). Study of factors affecting temperature, relative humidity and moisture loss en fresh fruit and vegetable storages. *Journal Food Technology (vol. 4)*, 4, 146-153.
- Yang, S. F. y Hoffman, N. E. (1984). Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Plant Physiology*, 35, 155-189.