



Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración

M. Rangel-Marrón* y A. López-Malo.

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.
Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés Cholula, Puebla. C.P.72810. México.*

Resumen

Las frutas tropicales frescas cortadas forman parte de los alimentos mínimamente procesados, siendo susceptibles a disminuir su calidad y valor nutricional durante su preparación y almacenamiento. El empacado en atmósfera modificada (EAM) en refrigeración, ofrece la posibilidad de extender la vida de anaquel de este tipo de productos, dado que se puede generar una atmósfera diferente a la normal al disminuir la concentración de oxígeno y aumentar la concentración de dióxido de carbono, afectando la velocidad de respiración del fruto. La adecuada temperatura y composición gaseosa provistas, ayudan a mantener la apariencia, textura, compuestos bioactivos, calidad sensorial y estabilidad microbiológica de las frutas tropicales. El objetivo de la presente revisión es dar a conocer los principales químicos, microbiológicos y sensoriales de las frutas tropicales frescas cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración.

Palabras clave: frutas tropicales frescas cortadas, atmósfera modificada, empacado, refrigeración.

Abstract

Tropical fresh-cut fruits are part of so-called minimally processed foods, being susceptible to decrease its quality and nutritional value during their preparation and storage. The modified atmosphere packaging (MAP) in refrigeration temperatures, offers the possibility of extending the shelf life of these products, providing a different atmosphere throughout the reduction concentration of oxygen and the increased concentration of carbon dioxide, and affecting the respiration rate of the fruit. Temperature and gas composition, help to preserve the appearance, texture, bioactive compounds, sensory quality and microbiological stability of tropical fresh-cut fruits. The aim of this review is to present the main chemical, microbiological and sensory changes of tropical fresh-cut fruits packaged in modified atmosphere during their storage in refrigeration.

Keywords: tropical fresh-cut fruits, modified atmosphere, packaging, refrigeration.

*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: marcela.rangelmn @udlap.mx

Introducción

La demanda del mercado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas es un área de oportunidad que ha venido en desarrollo por la necesidad de obtener productos con una alta calidad en todos los aspectos. Por lo tanto, ha atraído el interés de muchas facetas de la industria alimentaria, incluyendo áreas tan diversas como fabricantes, almacenistas de productos, restaurantes, establecimientos de alimentos para llevar y en especial, a los consumidores quienes demandan productos frescos con aceptables atributos de calidad, (apariencia, textura y sabor) listos para ser consumidos, de fácil manejo y almacenamiento.

Los frutos tropicales son parte del mercado de los frutos frescos cortados mínimamente procesados. Estos productos son manipulados mediante diversas operaciones unitarias (selección, lavado, pelado, deshuesado y corte), higienizados y almacenados a temperaturas de refrigeración, lo cual mantiene sus atributos y cualidades de producto fresco por un tiempo relativamente corto. Las frutas tropicales después de haber sido cosechadas y aún después de haber sido mínimamente procesadas, continúan lentamente su proceso metabólico de respiración, transpiración y maduración, ocasionando cambios en color, sabor y calidad nutricional, siendo favorecidas en algunos casos las condiciones para la proliferación de microorganismos.

Una opción para incrementar la vida útil de los productos mínimamente procesados es el empaque en atmósferas modificadas. Este método de conservación consiste en cambiar la composición gaseosa dentro del empaque, la cual puede ser modificada de manera pasiva (a través de la respiración de los tejidos vegetales) o activa (generando la composición gaseosa antes de cerrar el empaque). Diferentes investigaciones (Lucera *et al.*, 2011; Sandhya, 2010) han demostrado que dependiendo del tipo de atmósfera que se

genere, el oxígeno remanente se consumirá y el dióxido de carbono producido cubrirá el material vegetal hasta alcanzar el equilibrio con una atmósfera modificada; dicho equilibrio va a depender tanto de los cambios de temperatura como de la permeabilidad del material de empaque a los gases. La atmósfera generada será efectiva para mantener la apariencia visual y para reducir el crecimiento microbiano de muchas frutas y hortalizas frescas cortadas.

El objetivo de la presente revisión es dar a conocer los principales cambios químicos, microbiológicos y sensoriales de las frutas tropicales frescas cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración.

Revisión bibliográfica

1. Aspectos generales de la atmósfera modificada

Farber *et al.* (1993) definieron que un alimento almacenado en atmósfera modificada es un alimento perecedero almacenado en un ambiente de composición diferente a la del aire (78.08% N₂, 20.96% O₂, 0.03% CO₂ y trazas de gases inertes). El envasado en atmósfera modificada (EAM) es un proceso dinámico que puede generarse de manera activa o pasiva, alterando la composición gaseosa dentro del empaque (película plástica), ya sea por la sustitución de un gas, o de una mezcla de gases; la selección del gas o mezcla de gases a emplear dependerá del tipo de producto a empacar y almacenar. La atmósfera gaseosa cambia continuamente durante todo el período de almacenamiento por la influencia de diferentes factores, como son la respiración del producto envasado, los cambios bioquímicos en el producto, la difusión de los gases a través de la película plástica en función de su espesor y área superficial expuesta, la masa del producto

envasado, y la temperatura de almacenamiento (Martín-Belloso y Oms-Oliu, 2005; Caleb *et al.*, 2012).

La atmósfera modificada pasiva consiste en la utilización de películas plásticas de diferente permeabilidad a los gases para crear de forma pasiva una atmósfera modificada favorable por efecto de la permeabilidad del envase, la respiración y actividad bioquímica del producto, entre otros factores (Day, 2000). Sin embargo, cuando la atmósfera modificada de equilibrio no se consigue antes de que se activen las reacciones que llevan al deterioro del producto, tales como el obscurecimiento enzimático o la pérdida de textura, se puede modificar de manera activa la atmósfera de envasado (Martín-Belloso y Oms-Oliu, 2005). En este caso, la atmósfera de equilibrio se consigue mediante la substitución mecánica del aire que rodea al producto por una mezcla adecuada de gases, de tal manera que la atmósfera en el envase se puede variar en función de las necesidades y respuesta del producto (Parry, 1993; Day, 2000). Otras formas de lograr la modificación activa de la atmósfera consisten en la incorporación de ciertos aditivos en el envase para modificar su atmósfera interior. Entre ellos se encuentran los

absorbedores de oxígeno y/o etileno, los absorbedores o emisores de CO₂, y los generadores de vapores de etanol, entre otros (Kader, 2002; Caleb *et al.*, 2012).

Para modificar la atmósfera interior del envase es fundamental conocer las características de permeabilidad de la película plástica y del producto a los gases. Se sabe que la permeabilidad a los gases de un material de empaque depende de la naturaleza del gas, la estructura y espesor del material, la temperatura y la humedad relativa (Martín-Belloso y Oms-Oliu, 2005). La Fig. 1 representa el sistema general de envasado del producto y el intercambio de gases a través de la película polimérica utilizada.

Entre los materiales poliméricos utilizados para el EAM se encuentran: polietileno de alta y baja densidad (por sus siglas en inglés HDPE - LDPE), polietileno de baja densidad lineal (por sus siglas en inglés LLDPE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), poliéster, tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilideno (PVDC), poliamida (Nylon) y acetato de celulosa entre otros (Mangaraj *et al.*, 2009; Rodríguez-Félix *et al.*, 2005).

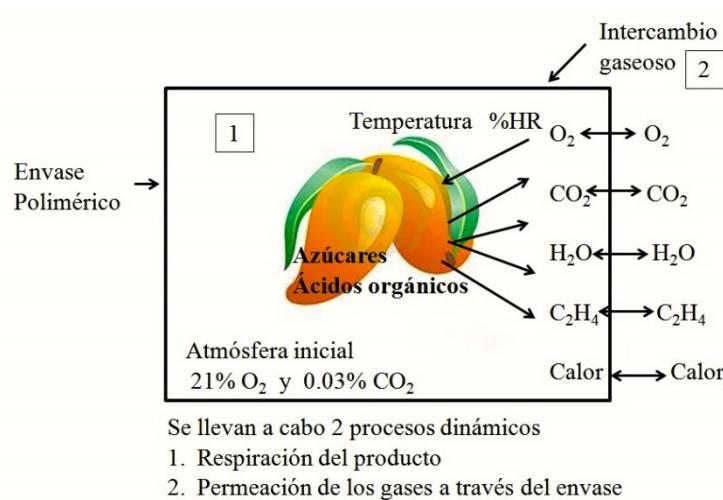


Fig. 1. Sistema de envasado en atmósfera modificada. Adaptado de Rodríguez-Félix *et al.* (2005).

Cada uno de estos polímeros forman películas que tienen distintas características, tales como, permeabilidad a los gases y al vapor de agua (permeabilidad de barrera), resistencia mecánica, claridad o transparencia, durabilidad (propiedades físicas), facilidad de sellado y empañamiento (resultado de la respiración del producto) (Mangaraj *et al.*, 2009). Uno de los gases utilizado comercialmente es el oxígeno, el cual desencadena reacciones de óxido-reducción degradativas. Con niveles bajos de oxígeno, las condiciones de envasado hipobáricas (productos envasados a presión y temperatura bajas, y HR alta) o superatmosféricas (elevadas concentraciones de oxígeno > 21%), reducen la respiración del producto y evitan el desarrollo de microorganismos aerobios. Así mismo, el oxígeno (O_2) es un inhibidor de los microorganismos anaerobios y del metabolismo fermentativo de los vegetales (Kader, 2002; Martín-Belloso y Oms Oliu, 2005).

El dióxido de carbono (CO_2) es otro gas ampliamente utilizado por sus propiedades bacteriostáticas y fungísticas; éste se disuelve rápidamente en agua (1.57 g/kg a 100 kPa y 20°C) lo cual retarda el crecimiento de hongos y bacterias aerobias. El CO_2 actúa retardando la fase lag del crecimiento microbiano, aunque éste efecto depende de la temperatura y su concentración (Al-Altı y Hotchkiss, 2002; Rodríguez-Félix *et al.*, 2005; Caleb *et al.*, 2012). Sin embargo, varios investigadores coinciden en que la acumulación excesiva de CO_2 genera daño en la membrana celular y en la fisiología del producto, ocasionando pérdida de firmeza y un severo oscurecimiento enzimático (Kader, 1986; Yahia, 2006; Sandhya, 2010).

El nitrógeno (N_2) se utiliza fundamentalmente para desplazar el oxígeno. Además de retrasar la oxidación y prevenir el enranciamiento, se utiliza para almacenar frutos secos. Tiene la característica de inhibir el crecimiento de microorganismos aerobios, más

no previene la proliferación de bacterias anaerobias; una de las funciones principales de este gas inerte consiste en actuar como relleno para evitar el colapso del envase y es importante mencionar que es necesario tener una concentración suficiente de nitrógeno en la mezcla de gases con el objetivo de balancear el volumen de CO_2 que se disuelve en el alimento dentro del empaque.

El monóxido de carbono (CO) y el empleo de gases nobles como helio (He), argón (Ar), xenón (Xe) y neón (Ne) tienen aplicaciones en el EAM; el CO se caracteriza por ser incoloro, inodoro, altamente tóxico y inflamable, además de ser poco soluble en agua. En EE.UU su empleo ha sido autorizado para prevenir el oscurecimiento en lechuga; sin embargo, su aplicación comercial esta restringida.

Dentro de los gases nobles, el argón que es más soluble en agua y en aceite que el nitrógeno, compite con el oxígeno por tener propiedades y tamaño similares, lo desplaza y previene la oxidación en productos con alto contenido de grasa. Así mismo, previene el crecimiento de microorganismos aerobios; de manera particular, los gases nobles han tenido aplicaciones en el empacado de botanas a base de papa (Lee *et al.*, 2008; Sandhya, 2010). Qadir y Hashinaga (2001) reportan que el uso de Ar y óxido nitroso (N_2O) favorece la actividad de los agentes antimicrobianos; por lo tanto, su uso tiene un efecto directo sobre la extensión de la vida útil de las frutas. Rocculi *et al.* (2004) encontraron efectos benéficos en la calidad de rebanadas de manzana "Golden Delicious" almacenada a 10°C durante 10 días cuando utilizaron las siguientes AM: 90% N_2O , 5% O_2 , 5% CO_2 ó 65% N_2O , 25% Ar, 5% O_2 , 5% CO_2 . En la Tabla I se muestran las concentraciones gaseosas recomendadas como atmósfera modificada para frutas tropicales frescas cortadas.

En la Tabla I se observan diversas composiciones gaseosas utilizadas para el

Tabla I. Composiciones gaseosas recomendadas como atmósfera modificada para frutas tropicales frescas cortadas.

Producto	Envase	Atmósfera			Temperatura °C	Referencia
		% O ₂	% CO ₂	% N ₂ O		
Coco	Bolsas PE-Nylon alta barrera	7 - 16	0 - 4	-	4	Sinigaglia <i>et al.</i> , 2003
Guayaba Kumagai	LDPE	3	5	-	10	Jacomino <i>et al.</i> , 2001
Guayaba Roja	Charolas PET	7.5	18	-	5	Pereira <i>et al.</i> , 2004
Kiwi	Charolas PP cubiertas con película PPP	5	5	90	4	Rocculi <i>et al.</i> , 2005
	PE laminado y PET (extruidos)	17	3	-	5	Del Nobile <i>et al.</i> , 2007
	Polietileno laminado	15	5	-	1.5	Pesis <i>et al.</i> , 2002
Mandarina Palazelli	Charolas PP cubiertas con poliolefina	11.7 - 18	3 - 8.3	-	4	Del Caro <i>et al.</i> , 2004
Mango <i>Carabao</i>	Charola de PE	0	3.5 y 10	-	5 y 13	Poubol e Izumi, 2005
Mango <i>Keitt</i>	Cryovac PD-941	4	10	-	5	Martínez-Ferrer <i>et al.</i> , 2002
Mango <i>Kent</i>	Frascos de vidrio	2	10	-	5	Rattanapanone <i>et al.</i> , 2001
Mango <i>Tommy Atkins</i>	Frascos de vidrio	4	10	-	5	Rattanapanone <i>et al.</i> , 2001
	Película polimérica	5-10	25	-	8	Brecht <i>et al.</i> , 2003
Naranja <i>Shamouti</i>	Charolas PP cubiertas con poliolefina	15.7-19.3	1.6-6-1	-	4	Del Caro <i>et al.</i> , 2004
Papaya	PE y PET	3	6	-	6	Chauhan <i>et al.</i> , 2006b
Piña	PET	6	14	-	4	Chonhenchob <i>et al.</i> , 2007
Piña roja	Cryovac B-900	4	10	-	5	Martínez-Ferrer <i>et al.</i> , 2002
Plátano	PE laminado y PET (extruidos)	17	1	-	4	Del Nobile <i>et al.</i> , 2007
Tangelo Minneola	Charolas PP cubiertas con poliolefina	15.4 - 20	1 - 6	-	4	Del Caro <i>et al.</i> , 2004

envasado y almacenamiento de frutas tropicales frescas cortadas. El tipo de envase utilizado y la temperatura de almacenamiento son variables que tienen un efecto sobre el metabolismo del fruto y la velocidad de respiración. Estas variables influyen en el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio de la composición gaseosa del producto y la atmósfera que lo rodea, ya que las diferentes frutas cortadas o no, poseen cierta resistencia a la difusión de los gases a través de sus tejidos por efecto de la temperatura (Rodríguez-Félix *et al.*, 2005).

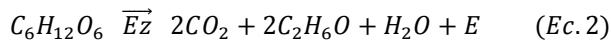
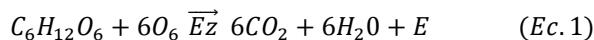
2. Efecto de la atmósfera modificada sobre la velocidad de respiración de las frutas frescas cortadas

El término respiración se utiliza en las frutas y hortalizas frescas e involucra cambios en la composición gaseosa, como producto del metabolismo del material vegetal se libera CO₂, energía y calor, con o sin consumo de oxígeno. Esto implica la oxidación enzimática de las moléculas orgánicas como los carbohidratos

(azúcar y almidón), ácidos grasos y proteínas. Además, la respiración provee las necesidades básicas del tejido y células del fruto para mantener sus actividades fisiológicas y metabólicas (Zhuang *et al.*, 2011). En general, la vida útil de un producto EAM es inversamente proporcional a la velocidad de la respiración; la velocidad de respiración es un excelente indicador de la actividad metabólica del fruto, siendo un proceso bioquímico complejo que es afectado por numerosos factores tales como el tamaño del corte del producto, la severidad de los procesos utilizados en su preparación, variedad del fruto, madurez y tipo de tejido; además, la velocidad de respiración permite establecer la vida de anaquel del fruto, e indica el final de su vida útil cuando el producto ha alcanzado una madurez completa (Day, 2000; Bai *et al.*, 2001).

Existen dos tipos de respiración en el EAM de frutos frescos cortados, y ambos van a depender de si utilizan O₂ en su proceso

fisiológico, es decir, respiración aerobia (presencia de oxígeno) o respiración anaerobia (ausencia de oxígeno < 1-3% O₂). Las ecuaciones 1 y 2 muestran los productos generados en los dos tipos de reacciones:



Donde Ez es enzimas y E es energía.

La respiración aerobia (Ec. 1) utiliza la materia orgánica presente en los tejidos vegetales, originando cambios o pérdida de fitonutrientes; si aumenta la concentración de O₂, aumenta la velocidad de respiración, y existirá pérdida de nutrientes, en cambio si disminuye el O₂ (1-5%), se reduce la tasa de respiración y consecuentemente, aumenta la vida de anaquel del producto. Por otro lado, la respiración anaerobia (Ec. 2) genera productos de fermentación (etanol, acetaldehído y lactato) (Rodríguez-Félix *et al.*, 2005; Zhuang *et al.*, 2011).

La respiración difiere considerablemente dependiendo del tipo de producto y las condiciones de temperatura, humedad relativa (HR) y atmósfera a la que es expuesto. El objetivo del EAM es disminuir la respiración del producto y reducir los efectos del etileno (C₂H₄) (Rodríguez-Félix *et al.*, 2005). El etileno desempeña un papel central en el inicio de la maduración y es fisiológicamente activo en concentraciones traza (0.1 ppm), su producción decrece a medida que la concentración de O₂ se encuentra alrededor del 2.5%; al disminuir la presencia de O₂ se reduce la velocidad de respiración del producto fresco, con lo cual se logra retardar su maduración y al mismo tiempo se inhibe la producción y acción del etileno (Sandhya, 2010; Lucera *et al.*, 2011). Así mismo, los procesos metabólicos son sensibles a la temperatura y humedad relativa (HR); generalmente, las reacciones biológicas se

incrementan de dos a tres veces por cada 10°C de aumento en la temperatura. Otro factor que interviene en la velocidad de respiración del fruto, es la difusión de los gases a través de la película de empaque, la difusión, depende de la temperatura y la concentración de éstos, al aumentar la temperatura se incrementa la difusión de CO₂ respecto a la del O₂. Por el contrario, una alta HR favorece la condensación del vapor de agua dentro del empaque, afectando la permeabilidad de la película plástica a los gases (Zagory y Kader, 1988; Sandhya, 2010).

La velocidad de respiración indica el consumo de O₂ o la producción de CO₂, se expresa como mL O₂/kg·h ó mL CO₂/kg·h a una temperatura específica, y la relación de CO₂ producido con respecto al O₂ consumido se conoce como coeficiente respiratorio (CR) y puede variar de 0.7 a 1.3, dependiendo del sustrato metabólico utilizado (Zagory y Kader, 1988; Kader, 2002). Además el EAM contribuye a reducir la incidencia de los desórdenes fisiológicos, alteraciones microbiológicas y deterioros bioquímicos, que solos o en conjunto originan cambios en el color, textura, y calidad sensorial del producto (Varoquaux y Wiley, 1994).

Chonhenchob *et al.* (2007) empacaron frutas tropicales frescas-cortadas tales como mango, piña, melón y mezcla de frutas en tres diferentes empaques rígidos, que por sus siglas en inglés son PET (polietereftalato de etilenglicol), OPS (poliestireno orientado) y OPLA (polilactida orientada)), y reportaron que las frutas tienen en promedio una velocidad de respiración de 64.47, 29.56, 26.92, y 38 mL de CO₂/kg·h a 10°C, para mango, piña, melón y la mezcla de frutas respectivamente cuando utilizaron empaques de PET. Paralelamente, determinaron el tiempo de equilibrio de la atmósfera y la composición gaseosa en los empaques de PET a 10°C, reportaron un tiempo de equilibrio de 6-13 días, alcanzando una composición gaseosa de 7% O₂ y 18% CO₂

para mango, 6% O₂ y 14% CO₂ para piña, 14% O₂ y 8% CO₂ para melón, y 8% O₂ y 18% CO₂ para la mezcla de frutas.

Por otro lado, Agar *et al.* (1999) estudiaron la influencia de bajas concentraciones de oxígeno en el metabolismo respiratorio y atributos de calidad de rodajas de kiwi frescas cortadas. Encontraron un aumento en el contenido de acetaldehído y etanol durante 12 días de almacenamiento cuando fueron empacadas en 0.5 kPa de O₂ como composición gaseosa a 2°C, las rodajas de kiwi alcanzaron una vida útil de 9-12 días, si además, recibían tratamientos previos con CaCl₂ al 1% o lactato de calcio al 2%.

En el estudio realizado por Pereira *et al.* (2004) para guayaba deshidratada osmóticamente (DO) y guayaba fresca EAM a 5°C alcanzaron una velocidad de respiración de 79 ± 8 y 53 ± 11 mL CO₂/kg/h, respectivamente obteniéndose un incremento en la producción de CO₂ causado por el daño mecánico previo (corte de la fruta) a la deshidratación osmótica. Por una razón similar, los productos dañados o cortados presentan una mayor actividad respiratoria que los productos enteros. De acuerdo a los estudios realizados por Rodríguez *et al.* (2006) determinaron que el impacto del EAM en papaya fresca y papaya deshidratada osmóticamente (DO) a 50°Bx a 23°C; así como también señalan que la fruta fresca por debajo de 5°C incrementa significativamente ($p<0.05$) su velocidad de respiración a diferencia de la papaya DO. Las muestras de papaya DO causaron una modificación interna de la composición gaseosa obteniendo 1% O₂ y 13.62% de CO₂, mientras que para las muestras de papaya fresca alcanzaron 12.91% de O₂ y 5.35% de CO₂. Pereira *et al.* (2004) y Rodríguez *et al.* (2006) concluyen que el incremento del CO₂ se atribuyen al daño mecánico previo a la deshidratación osmótica.

En la investigación realizada por Bender *et al.* (2000) para mango de las variedades Haden

y Tommy Atkins, se observó que la atmósfera reducida de O₂ (2-3 kPa) a 15°C y 12°C, aumenta la tasa de producción de etanol para ambas variedades de mango, lo cual se atribuye a la regulación positiva de alcohol por la isoenzima deshidrogenasa, observando que las variedades de mango tienen una baja demanda de energía, lo que limita el flujo de carbono a través de la vía glucolítica.

Otros investigadores han utilizado como EAM la aplicación de concentraciones de O₂ superatmosférico (elevadas concentraciones de oxígeno ≥ 70 kPa de O₂). Sugieren que la atmósfera puede estimular, no tiene efecto o disminuye la velocidad de respiración y producción de etileno dependiendo de factores tales como la madurez y naturaleza del fruto, de la concentración de O₂, CO₂ y C₂H₄ presentes en la atmósfera, y del tiempo y la temperatura de almacenamiento. La concentración de los gases pueden prevenir reacciones fermentativas e inhibir el crecimiento microbiano de bacterias psicrófilas. Oms- Oliu *et al.* (2008) empacaron melón fresco cortado y lo almacenaron a atmósferas de 2.5 kPa de O₂ y 7 kPa de CO₂, 21 kPa de O₂ y 70 kPa de O₂ (siendo estas últimas dos concentraciones superatmosféricas de oxígeno) y CO₂ reducido a 4°C y observaron que la generación de CO₂ de la fruta alcanzó una vida útil de 14 días empacada a 70 kPa de O₂ y una atmósfera reducida en CO₂.

3. Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmósfera modificada y almacenadas en refrigeración

3.1. Cambios en color y textura

Las características de color y textura de las frutas tienen un rol muy importante en la evaluación de calidad y aceptabilidad por parte del consumidor. El color deriva de los pigmentos naturales de las frutas, a muchos de los cuales cambian a través de la maduración de la planta y fuera de ella. Pereira *et al.* (2004) concluyen que el color siempre ha sido

uno de los principales criterios de evaluación de la calidad de un fruto. De acuerdo a Chauhan *et al.* (2006a), la superficie de los frutos mínimamente procesados es susceptible al obscurecimiento por la pérdida acelerada de los pigmentos afectando la aceptabilidad del producto en términos de color. Los pigmentos primarios que confieren calidad al color del vegetal son las clorofillas (verdes) y los carotenoides (amarillos, naranjas y rojos). Dentro de los pigmentos solubles en agua se encuentran las antocianinas (rojas y azules), flavonoides (amarillos) y betalainas (rojas) (Barret *et al.* 2010). Por otro lado, Lin y Schyvens, (1995) reportaron que la textura es uno de los atributos más importantes de calidad ya que la pérdida de turgencia del tejido del fruto afecta la aceptabilidad del mismo. La firmeza está asociada al contenido de agua, así como a la actividad de distintas enzimas (transformación de protopectina a pectinas solubles en agua), los cuales inducen cambios en los componentes de la pared celular que ocurren durante la senescencia, generando descenso de la cristalinidad de la celulosa, disminución del contenido de ácido galacturónico, reducción en el volumen celular y adelgazamiento de la pared celular; estos aspectos son afectados en el fruto cortado manifestándose como ablandamiento del tejido vegetal (King y Bolin, 1989; Varoquaux y Wiley, 1994).

Pereira *et al.* (2004) estudiaron los cambios de color en guayabas DO y EAM así como en guayabas empacadas con aire atmosférico; la preservación del color lo atribuyeron a la baja concentración de oxígeno, que evita la degradación de los carotenoides, los cuales son los responsables del color característico de la guayaba.

En la investigación realizada por Bender *et al.* (2000), reportan que al evaluar la tolerancia a niveles reducidos de oxígeno (2,3,4,y 5 kPa de O₂ más N₂) ó 25 kPa CO₂ más aire como atmósfera controlada y el control (aire) de dos

variedades de mango Haden y Tommy Atkins; observaron que a niveles de oxígeno menores de 5kPa presentan poco efecto en la textura del mango verde para ambas variedades del fruto, a diferencia del empacado con aire. Por otro lado las mismas condiciones ó 25 kPa de CO₂ lograron reducir los cambios de color durante 12 días a 15°C.

Chauhan *et al.* (2006a) evaluaron los cambios de color y textura en rebanadas de mango utilizando una composición gaseosa compuesta de 4% de O₂, 6% de CO₂ y 90% N₂ como AM activa, observándose obscurecimiento en la superficie del fruto, así como disminución del color amarillo, siendo significativos los cambios de color durante el almacenamiento a 8°C (p<0.05). Con respecto a la textura, ellos observaron disminución de la turgencia del fruto y este comportamiento lo asocian a una lenta respiración del producto.

En otra investigación reportada por Jiang y Fu (1999) para la prevención del obscurecimiento de lichi EAM, se encontró que la composición gaseosa de 3 a 5 % de O₂ y 97-95% CO₂ almacenado a 1°C y 90% de HR controla el obscurecimiento y se mantiene la calidad del fruto por más de 30 días. Los estudios realizados por Duan *et al.* (2004) sugieren que litchi variedad Huaizhi almacenado en oxígeno puro (100% O₂ y 0% CO₂) por 6 días a 28°C mantiene el color del epicarpo (capa que rodea al fruto) sin presentar obscurecimiento, los autores concluyen que el haber utilizado O₂ puro inhibe la actividad enzimática de PPO y de las antocianinas, siendo las responsables del obscurecimiento del fruto.

Aharoni y Houck (1982); Kader y Ben-Yehoshua (2000) reportan el uso de 40-80 kPa de O₂ (niveles de oxígeno superatmosférico) como una aplicación para mejorar el color del endocarpo y jugo de naranja por 4 semanas a 15°C, las naranjas expuestas a las condiciones anteriores lograron extender su vida de

anaquel por 2 semanas adicionales, observando que el color se intensifica en el jugo cuando se mantuvo a 80 kPa de O₂.

Rocculi *et al.* (2005), estudiaron el efecto de almacenar kiwi a 4 °C utilizando una mezcla de gases (90% N₂O, 5% O₂ y 5% CO₂) como atmósfera modificada mostrando que el N₂O ayuda a mantener el color inicial del fruto.

Chauhan *et al.* (2006b) reportan una disminución de la pérdida de textura en papaya empacada en bolsas de polietileno (PE) y PET utilizando 3%O₂, 6%CO₂ y 91% N₂ como atmósfera modificada durante el almacenamiento a 6°C.

La investigación realizada por Ranasinghe *et al.* (2005) con plátano variedad Embul tratado con aceite esencial de orégano y EAM, recomiendan la combinación de los tratamientos como una alternativa para conservar el fruto por más de 21 días en refrigeración y por 14 días a 28°C sin afectar el color y la textura.

3.2. Cambios en la composición

Los contenidos de sólidos solubles y de ácidos de los frutos frescos cortados pueden incrementar o disminuir en el tejido vegetal desde el momento del corte, almacenamiento y hasta su consumo, ya que involucran reacciones enzimáticas que son favorecidas por el daño físico, generando cambios en sabor y por lo tanto en la aceptabilidad por parte de los consumidores (Beaulieu y Baldwin, 2001)

Según Kader (1986) en las frutas frescas empacadas en atmósfera modificada se reduce la pérdida de acidez, cuando la concentración de CO₂ es menor del 5%. De acuerdo a Martínez-Ferrer *et al.* (2002) en su investigación realizada para mango y piña EAM compararon distintos tratamientos (control, altos niveles de CO₂, vacío y la

composición gaseosa de 10% CO₂, 4% O₂ y 86% N₂) a 5 °C, reportan que la acidez disminuye y el contenido de sólidos solubles aumenta al disminuir los almidones presentes durante el almacenamiento, concluyen que el tratamiento de 10% CO₂, 4% O₂ y 86% N₂ fue el que presentó el menor cambio de acidez y sólidos solubles.

Bender *et al.* (2000) en su investigación realizada para la tolerancia a la reducción de oxígeno (2, 3, 4, kPa de O₂ ó 25kPa de CO₂) en mango (Haden y Tommy Atkins) almacenados a 15°C, encontraron que los niveles de azúcar no fueron afectados significativamente en comparación al empacado con aire, cuando ambas variedades fueron sometidas a bajas y altas concentraciones de O₂ y CO₂, respectivamente. En contraste, la acidez titulable se afectó significativamente ($p<0.05$) para ambas variedades en los tratamientos de bajo O₂ y alto CO₂.

Rocculi *et al.* (2005) observaron que los sólidos solubles totales de rebanadas de kiwi se mantienen al aplicar EAM activo con óxido nitroso (90% N₂O, 5% O₂ y 5%CO₂) por 12 días a 4°C en comparación con EAM pasivo y activo.

En la investigación realizada por Del Caro *et al.* (2004) para cítricos tangelo Minneola (híbrido entre mandarina y pomelo), mandarina Palazelli y naranja Shamouti, concluyen que el EAM pasivo mantiene el contenido de sólidos solubles y acidez titulable hasta 12 días a 4°C.

3.3. Cambios en los compuestos bioactivos

Además de una gran cantidad de vitaminas, minerales, fibra, proteína y carbohidratos, las frutas contienen un grupo compuesto por fitonutrientes (sustancias orgánicas activas) que son los responsables de proveer el color, olor, sabor y aroma. Estos compuestos

bioactivos incluyen compuestos fenólicos, flavonoides, isoflavonoides, tioles, carotenoides, ácido ascórbico, tocoferoles, indoles, iso-tiocianatos y glucosinolatos (Yang, 2011). Los fitonutrientes tienen mecanismos complementarios de la actividad antioxidante, eliminando radicales libres, iones metálicos, inhibición o reducción de diferentes enzimas (lipoxigenasas, xantina-oxidasa, ciclo-oxigenasas) e inducción a la actividad enzimática (oxidación o reducción) (Sadik *et al.*, 2003).

Los compuestos fenólicos incluyen una serie de metabolitos que son biosintetizados a partir de los carbohidratos en las frutas, como el ácido fenólico, flavonoides y taninos, así como sus correspondientes flavonas, catequinas, antocianinas, e isoflavonoides, entre muchos otros (Hollman y Arts, 2000; Yang, 2011). Los carotenoides son los pigmentos naturales solubles en grasa provenientes de las plantas y algas susceptibles a la oxidación, se localizan en los cromoplastos y son responsables del color amarillo, naranja y rojo de muchas frutas y vegetales; se clasifican en carotenos sin oxígeno (α y β - caroteno y licopeno) y con oxígeno (xantofilas) Por ser antioxidantes naturales llegan a prolongar la vida de anaquel de los productos frescos cortados. Además, proveen provitamina A (retinol) al ser humano (Di Mascio *et al.*, 1989; Ong y Tee, 1992).

El EAM se caracteriza por disminuir el contenido de clorofila y la biosíntesis de carotenoides presentes en las frutas y verduras (Kader, 1986). Pretel *et al.* (1998) observaron la influencia de la atmósfera modificada en la preservación de carotenoides en naranja procesada cuando en la composición gaseosa, se han reducido los niveles de oxígeno, generando un aumento del nivel de dióxido de carbono durante 11 días de almacenamiento.

Kader y Ben-Yehoshua (2000) encontraron que a altas concentraciones de oxígeno hay un

efecto benéfico en la retención de ácido ascórbico. De acuerdo al estudio realizado por Agar *et al.* (1999) al evaluar la influencia de varias condiciones de envasado sobre el contenido de ácido ascórbico en rodajas de kiwi, encontraron que disminuyó, después de 12 días de almacenamiento, alrededor de 7, 12 y 18% cuando se envasó en atmósferas de 0.5, 2 y 4 kPa de O_2 , respectivamente.

Investigaciones en mango fresco cortado (González-Aguilar *et al.*, 2000; Martínez-Ferrer *et al.*, 2002) demostraron que el almacenamiento en refrigeración (7-10°C) en AM, tratado con estabilizadores de color (ácido ascórbico), pueden extender la vida de anaquel hasta por 10 días sin presentar cambios aparentes en su calidad, pero con pérdidas del 10 y 5% en carotenos y vitamina C respectivamente.

Gil *et al.* (2006) estudiaron los cambios en la calidad y retención de nutrientes en piña, reportaron que, cuando el fruto alcanzó 6 días de almacenamiento a 5°C, presentó pérdida de carotenos (carotenos totales y β -caroteno) y vitamina C hasta del 25 y 10% respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos por los autores, sugieren que el EAM podría tener beneficios en la calidad del fruto y así evitar la pérdida de nutrientes principales.

3.4. Calidad sensorial

Calidad en los alimentos se define como la composición de las características individuales que diferencian un producto y se determina por su grado de aceptabilidad. La forma más directa de medir la calidad de un producto alimenticio es mediante la evaluación que el ser humano realiza con sus sentidos de los atributos sensoriales del producto a través de la evaluación sensorial. En las frutas y hortalizas existen 4 atributos que permite distinguir su calidad: 1) color y apariencia, 2) *flavor* (sabor y aroma), 3) textura y 4) valor

nutricional (Barret *et al.*, 2010). En especial, las frutas frescas cortadas deben tener una apariencia atractiva, sabor y aroma aceptables, textura apropiada y mantener su valor nutricional.

Según Crisosto *et al.* (2003) el color y apariencia del fruto atraen al consumidor hacia el producto porque indica calidad en sabor y frescura, por lo tanto en las frutas frescas son atributos que tienen influencia en la toma de decisión sobre la compra y consumo de un fruto. De la misma manera, el sabor y aroma están relacionados con la madurez de los frutos frescos cortados. De acuerdo a Barret *et al.* (2010), un defecto en la textura origina un rechazo total. Desafortunadamente, el valor nutricional de las frutas no tiene forma de ser distinguido de manera individual, es decir, cuál de ellas tiene mayor contenido de vitamina C, fibra, o fitonutrientes. Los efectos del EAM sobre la calidad de los frutas frescas cortadas han sido estudiados por numerosos autores, y a continuación se hará referencia de algunos de sus estudios.

Martínez-Ferrer *et al.* (2002) evaluaron la diferencia de mango y piña EAM con 10% CO₂, 4% O₂ y 86% N₂ con respecto a los frutos frescos utilizando una escala de 10 puntos; los panelistas evaluaron textura, apariencia y color entre los tratamientos por cada fruta, y encontraron diferencias significativas ($p<0.05$) para el mango con respecto al control a diferencia de la comparación entre piña EAM y sin AM. Marrero y Kader (2006) estudiaron el efecto de la temperatura de almacenamiento y las concentraciones de 8 kPa de O₂ y 10 kPa CO₂ al empacar y almacenar piña, los investigadores reportan que la composición gaseosa utilizada, permite conservar las piezas del fruto por más de 2 semanas a 5 °C sin presentar cambios indeseables en la calidad del producto.

Chauhan *et al.* (2006b) investigaron el

efecto sinérgico de la atmósfera modificada (3% O₂, 6%CO₂, 91% N₂ o aire) y el procesamiento mínimo con pre-tratamientos de agentes reafirmantes (CaCl₂), antimicrobianos (sorbato de potasio y benzoato de sodio) y antioxidantes (ácido ascórbico), sobre la calidad de papaya cortada. Demostraron que no hubo pérdida de la calidad sensorial de la fruta cuando ésta recibió los pre-tratamientos y fue expuesta a la mezcla de gases compuesta por (3%O₂, 6%CO₂, 91% N₂) como atmósfera modificada a 6°C.

3.5. Estabilidad microbiológica

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas han sido catalogadas como posible vehículo de algunos microorganismos patógenos, así como el desarrollo de bacterias Gram-negativas, ácido lácticas y levaduras. Al mismo tiempo, estos alimentos son almacenados a temperaturas de refrigeración, por lo que son susceptibles a contaminación con microorganismos psicrotrofos como *Pseudomonas fluorescens* o *Listeria monocytogenes* si no existe un buen control de la temperatura (Nguyen-the y Carlin, 1994). Las frutas, a diferencia de las hortalizas, contienen mayores cantidades de azúcar y un pH más ácido (4.6 o inferior). Este pH junto con los ácidos orgánicos provenientes de la naturaleza del fruto, hacen que normalmente se inhiba el crecimiento de las bacterias que no sean las ácido lácticas. Por consiguiente, los hongos son los microorganismos predominantes en las frutas (Brackett, 1987).

El control de crecimiento de los mohos en el EAM, está sujeto a la concentración de CO₂ dentro del empaque; los mohos se caracterizan por ser microorganismos aerobios y pueden llegar a inhibirse a una alta concentración de CO₂ (>10%) y a una baja concentración de oxígeno (< 3%) (Littlefield *et al.*, 1966; Nguyen-the y Carlin, 1994).

En el EAM a muy bajas concentraciones

de O_2 pueden desarrollarse algunos microorganismos patógenos. Farber (1991) y Szabo *et al.* (2000) señalan como patógenos potenciales *Yersinia enterocolitica*, *Aeromonas*, *A. caviae* y *L. monocytogenes*. Microorganismos patógenos como *L. monocytogenes*, *E. coli* y *C. botulinum* llegan a desarrollarse en atmósferas reducidas de O_2 (Al-Altı y Hotchkiss, 2002). Cuando la concentración de oxígeno es suficientemente baja, la atmósfera modificada será afín a los anaerobios facultativos u obligados. El empleo de bajas temperaturas durante el almacenamiento incrementa los efectos inhibitorios del EAM al aumentar la solubilidad del CO_2 en la fase líquida que rodea al alimento. Por lo tanto, la temperatura a la que se mantienen las frutas frescas cortadas y EAM es el factor más importante porque afecta el crecimiento microbiano (Sandhya, 2010)

Pereira *et al.* (2004) en su estudio realizado para guayaba con y sin DO y empacada en AM y aire a 5°C, reportaron que no hubo presencia de *Salmonella* ni de bacterias coliformes. Las guayabas empacadas en aire fresco presentaron crecimiento de 4.4×10^4 UFC/g para mohos y levaduras. Las guayabas EAM (7.5% O_2 y 18% CO_2) mostraron estabilidad microbiana.

En la investigación realizada por Martínez-Ferrer *et al.* (2002) en mango y piña mínimamente procesadas y empacadas en atmósfera modificada (10% CO_2 , 4% O_2 y 86% N_2), reporta una mínima contaminación microbiana (10^4 - 10^5 UFC/g) al ser expuestas a altas concentraciones de CO_2 (10%) para ambas frutas.

En la investigación realizada por Montero-Calderón *et al.* (2008) para piña fresca cortada y almacenada a 5°C durante 20 días, utilizaron dos tipos de atmósfera: activa (oxígeno al 11.4 y 40%) y pasiva (aire y recubrimiento comestible), encontraron que no hubo

diferencia significativa ($p>0.05$) entre las diferentes condiciones de empacado. Sin embargo si presentaron diferencias significativas ($p<0.05$) durante el tiempo de almacenamiento, donde obtuvieron recuentos iniciales de 10^3 - 10^4 UFC/g para mohos y levaduras en el día cero, alcanzando una población máxima de 10^7 UFC/g, comportamiento similar presentaron las bacterias mesófilas y psicrófilas (10^7 UFC/g) después de 18 días de almacenamiento a 5°C.

Rodríguez *et al.* (2006), estudiaron el efecto de empacar papaya deshidratada osmóticamente (DO) a 50°Bx durante 15 días a 5°C, utilizando soluciones de sacarosa que contenían lactato de calcio (0.05M) y ácido láctico (0.02M) en tres tipos de empaques (PVC, LDPE y PET), empleando la composición gaseosa del aire como AM. Observaron, que las muestras de papaya (DO) y empacadas en contendores de PET, alcanzaron el 1% O_2 y 13.62% CO_2 como atmósfera modificada en el interior del empaque, lo cuál generó una mayor resistencia a la contaminación por mohos y levaduras en comparación con los otros empaques, alcanzando una detección menor de 10^2 UFC/g.

Bico *et al.* (2009) investigaron el efecto combinado de sumergir plátano variedad Cavendish en un solución compuesta de cloruro de calcio (1% w/v), ácido ascórbico (0.75% w/v) y cisteína (0.75% w/v), como segundo tratamiento, utilizaron la solución anterior y al mismo tiempo emplearon el EAM (3% de O_2 y 10% CO_2) y como un tercer tratamiento, la combinación de las dos anteriores más el empleo de carregenia (0.5% w/v) como recubrimiento comestible. Los análisis microbiológicos mostraron en el día cero la presencia de microorganismos mesófilos aerobios en todas las muestras de plátano las cuales alcanzaron un mínimo de 10^1 UFC/g, en el segundo día fue significativo ($p<0.05$) el crecimiento de mesófilos aerobios

en el control con respecto a los tres tratamientos llegando a alcanzar una población máxima de 3×10^2 UFC/g al 5 día de almacenamiento a 5°C; comportamiento similar obtuvieron para el recuento de coliformes totales, mohos y levaduras, donde observaron que en el segundo día de almacenamiento en refrigeración, los tratamientos propuestos presentaron los menores recuentos, logrando alcanzar una población inferior a 1.5×10^2 UFC/g correspondiente a los tratamientos dos y tres.

Conclusiones y comentarios finales

En la presente revisión se dieron a conocer los principales cambios químicos, microbiológicos y sensoriales de las frutas tropicales frescas cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. De acuerdo a las investigaciones revisadas, se observó que el empacado en atmósfera modificada es una tecnología que permite extender la vida de anaquel de las frutas frescas cortadas, porque conserva los principales componentes bioactivos (ácido ascórbico, carotenoides entre otros), además de mantener las características físicas, aceptabilidad sensorial y estabilidad microbiológica de las frutas tropicales frescas cortadas. Principalmente, el EAM se caracteriza por ser inocua al ser humano, debido a que las condiciones atmosféricas se restablecen al abrir el empaque. Al mismo tiempo, el dióxido de carbono tiene un efecto inhibitorio sobre la respuesta de los microorganismos. Por lo anterior, el EAM es una alternativa idónea que permite extender la calidad de las frutas tropicales frescas cortadas, y conjuntamente puede combinarse con recubrimientos comestibles, que combinados contribuirán a una mayor estabilidad del alimento.

Es importante mencionar que una

inadecuada atmósfera modificada puede causar desordenes fisiológicos y procesos fermentativos, logrando incrementar el riesgo de una contaminación microbiana por un mal manejo de la temperatura y humedad relativa del medio que rodea al fruto empacado. Por lo tanto, es relevante conocer la velocidad de respiración del fruto, así como realizar una adecuada selección del tipo de empaque y atmósfera a emplear con la finalidad de mantener los atributos físicos y nutricionales del producto.

Agradecimientos

Marcela Rangel Marrón agradece al Programa de mejoramiento al profesorado (PROMEP) por la beca doctoral otorgada.

Referencias

- Agar, I. T., Massantini, R., Hess-Pierce, B. y Kader, A. A. 1999. Postharvest CO₂ and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. *Journal of Food Science*. 64 (3):433-440.
- Aharoni, Y. y Houck, L.G. 1982. Change in rind, flesh, and juice color of blood oranges stored in air supplemented with ethylene or in oxygen-enriched atmospheres. *Journal of Food Science*. 47 (6):2091-2092.
- Al-Altı, T. y Hotchkiss, H. 2002. Application of packaging and modified atmosphere to fresh-cut fruits and vegetables. En: O. Lamikanra (Ed.). *Fresh cut fruits and vegetables: Science, Technology and Market*. CRC Press: Boca Raton, FL, EE.UU. pp. 305-338.
- Bai, J., Satner, R., Watada, A. y Lee, Y. 2001. Modified atmosphere maintains quality of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *Journal of Food Science*. 66 (8):1207 – 1211.
- Barret, D. M., Beaulieu, J. C. y Shewfelt, R. 2010. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirability levels, instrumental and sensory measurement, and the

- effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 50 (5):369-389.
- Beaulieu J. C. y Baldwin E.A. 2001 Flavor and aroma of fresh-cut fruits and vegetables. En: O. Lamikanra (Ed.). *Fresh cut fruits and vegetables: Science, Technology and Market.* CRC Press: Boca Raton, FL, EE.UU. pp. 391-426.
- Bender, R. J., Brecht, J. K., Sargent, S. A. y Huber, D. J. 2000. Mango tolerance to reduced oxygen levels in controlled atmosphere storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 125 (6):707-713.
- Bico, S. L. S., Raposo, M. F. J., Morais, R. M. S. C. y Morais, A. M. M. B. 2009. Combined effects of chemical dip and/or carrageenan coating and/or controlled atmosphere on quality of fresh-cut banana. *Food Control.* 20 (5): 508-514.
- Brackett, R. E. 1987. Microbiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *Journal of Food Quality.* 10 (3):195-206.
- Brecht, J. K., Chau, K. V., Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R., Silva, F. M., Nunes, M. C. M. y Bender, R.J. 2003. Maintaining optimal atmosphere conditions for fruits and vegetables throughout the postharvest handling chain. *Postharvest Biology and Technology.* 27 (1): 87-101.
- Caleb, O. J., Opara, U. L. y Withuhun, C. R. 2012. Modified atmosphere packaging of pomegranate fruit and arils: A Review. *Food Bioprocess Technology.* 5 (1):15-30.
- Chauhan, O., Raju, P., Dasgupta, D., Shylaja, R., Rao, S. y Bawa, A. 2006a. Modified/controlled atmosphere storage of minimally processed mango slices (var. Arka anmol). *American Journal of Food Technology.* 1 (2):105-116.
- Chauhan, O., Raju, P., Shylaja, R., Dasgupta, D. y Bawa, A. 2006b. Synergistic effects of modified atmosphere and minimal processing on the keeping quality of pre-cut papaya (*Carica papaya L.*). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 81 (5):903-909.
- Chonhencob, V., Chantarasomboon, Y. y Singh, S.P. 2007. Quality changes of treated fresh-cut tropical fruits in rigid modified atmosphere packaging containers. *Packaging Technology and Science.* 20 (1):27-37.
- Crisosto, C., Crisosto, G. y Metheney, P. 2003. Consumer acceptance of "Brooks" and "Bing" cherries in mainly dependent on fruit SSC and visual skin color. *Postharvest Biology and Technology.* 28 (1):159-167.
- Day, B. 2000. Modified atmosphere packaging of fresh fruit and vegetables. An overview. *Acta Horticulturae.* 553:585-590.
- Del Caro, A., Piga, A., Vacca, A. y Agabbio, M. 2004. Changes of flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity in minimally processed citrus segments and juices during storage. *Food Chemistry.* 84 (1):99-105.
- Del Nobile, M., Licciardello, F., Scrocco, C., Muratore, G. y Zappa, M. 2007. Desing of plastic packages for minimally proceeed fruits. *Journal of Food Engineering.* 79 (1):217-224.
- Di Mascio, P., Kaiser, S. y Sies, H. 1989. Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. *Archives of Biochemistry and Biophysics.* 274 (2):532-538.
- Duan, X .W., Jiang, Y. M., Su, X. G. y Zhang, Z. Q. 2004. Effects of a pure oxygen atmosphere on enzymatic browning of harvested litchi fruit. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 79 (6): 859-862.
- Farber, J. M. 1991. Microbial aspects of modified-atmosphere packaging technology: A Review. *Journal of Food Protection.* 54 (1):58-70.
- Farber, J., Warburton, D., Laffey, P., Purvis, U. y Gour, L. 1993. Modified-atmosphere packaged pasta. A microbiology quality assessment. *Italian Journal of Food Science.* 2:157-167.
- Gil, M., Aguayo, E. y Kader, A. 2006. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 54 (12):4284-4296.
- González-Aguilar, G. A., Wang, C. Y. y Buta, J.G. 2000. Maintaining quality of fres-cut mangoes using antibrowning agents and modified atmosphere packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 48 (3):4204-4208.
- Hollman, P. y Arts, I. 2000. Flavonols, flavones and flavanols-nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 80 (7):1081-1093.
- Jiang, Y.M. y Fu, J. R. 1999. Biochemical and physiological changes involved in browning of litchi fruit caused by water loss. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 74 (1):43-46.

- Jacomino, A., Kluge, R., Sarantopoulos, C. y Sigrist, J. 2001. Evaluation of plastic packages for guava refrigerated preservation. *Packaging Technology and Science*. 14 (1):11-19
- Kader, A. A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology*. 40 (5):99-104.
- Kader, A. A. y Ben-Yehoshua, S. B. 2000. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 20 (1):1-13
- Kader, A. 2002. Modified atmospheres during transport and storage. En: A. A. Kader (Ed.). *Postharvest technology of horticultural crops*. 3era. Edición. University of California Publication. EE.UU. pp. 135-144.
- King, A. y Bolin, H. 1989. Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetables. *Food Technology*. 43 (2):132-135,139
- Lee, D. S., Yam, K. y Pergiovanni, L. 2008. Vacum/Modified atmosphere packaging. En: D. S. Lee, K. Yam y L. Piergiovanni (Eds.). *Food packaging science and technology*. CRC Press, Boca Raton, FL, EE.UU. pp. 397-424.
- Lin, Z. y Schyvens, E. 1995. Influence of blanching treatments on the texture and color of some processed vegetables and fruits. *Journal of Food Process Preservation*. 19 (6):451-465.
- Littlefield, N. A., Wankier, B. N., Salunkhe, D. y McGill, J. 1966. Fungistatic effects of controlled atmospheres. *Applied microbiology*. 14 (4):579-581.
- Lucera, A., Costa, C., Mastromatteo, M., Conte, A. y Del Nobile, M. 2011. Fresh-cut broccoli florets shelf-life as affected by packaging film mass transport properties. *Journal of Food Engineering*. 102 (2):122-129.
- Mangaraj, S., Goswami, T. y Mahajan, P. 2009. Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: A Review. *Food Engineering Reviews*. 1 (2):133-158.
- Martín-Belloso, O. y Oms-Oliu, G. 2005. Efecto de la atmósfera modificada en las características físicas y nutricionales de la fruta fresca cortada. *Proyecto XI.22 Desarrollo de tecnologías para la conservación de vegetales frescos cortados*. Simposium "Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados". La Habana,Cuba. pp 47-58. Marzo 2005.
- Marrero, A. y Kader, A.A. 2006. Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples. *Postharvest Biology and Technology*. 39 (2):163-168.
- Martínez-Ferrer, M., Harper, C., Pérez-Muñoz, F. y Chaparro, M. 2002. Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *Journal of Food Science*. 67 (9):3365-3371.
- Montero-Calderon, M., Rojas-Graü, M. A. y Martín-Belloso, O. 2008. Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biology and Technology*. 50 (2-3):182-189.
- Nguyen-the, C. y Carlin, F. 1994. The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 34 (4):371-401
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. 2008. Modeling changes of headspace gas concentrations to describe the respiration of fresh-cut melon under low or superatmospheric oxygen atmospheres. *Journal of Food Engineering*. 85 (3):401-409.
- Ong, A. y Tee, E. 1992. Natural sources of carotenoids from plants and oils. *Methods in Enzymology*. 213:142-167
- Parry, R. 1993. Envasado de los alimentos en atmósfera modificada. A. Madrid Vicente. Madrid, España. 331 p.
- Pereira, L., Rodrigues, A., Sarantópolos, C., Junqueira, V., Cunha, R. y Hubinger, M. 2004. Influence of modified atmosphere packaging and osmotic dehydratation on the quality maintenance of minimally processed guavas. *Journal of Food Science*. 69 (4):172-177.
- Pesis, E., Dvir, O., Feygenberg, O., Arie, R. B., Ackerman, M. y Lichter, A. 2002. Production of acetaldehyde and etanol during maturation and modified atmosphere storage of litchi fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 26 (2):157-165.
- Poubol, J., e Izumi, H. 2005. Shelf life and microbial quality of fresh-cut mango cubes stored in high CO₂ atmospheres. *Journal of Food Science*. 70 (1):69-74.
- Pretel, M., Fernández, P., Romojaro, F. y Martínez, A. 1998. The effect of modified atmosphere packaging

- on ready-to-eat oranges. *LWT - Food Science and Technology*. 31 (4):322-328.
- Qadir, A. y Hashinaga, F. 2001. Inhibition of postharvest decay of fruits by nitrous oxide. *Postharvest Biology and Technology*. 22 (3):279-283.
- Ranasinghe, L., Jayawardena, B. y Abeywickrama, K. 2005. An integrated strategy to control post-harvest decay of embul banana by combining essential oils with modified atmosphere packaging. *International Journal of Food Science & Technology*. 40 (1):97-103.
- Rattanapanone, N., Lee, Y., Wu, T. y Watada, A. 2001. Quality and microbial changes of fresh-cut mango cubes held in controlled atmosphere. *Horticultural Science*. 36 (6):1091-1095.
- Rocculi, P., Romani, S. y Dalla Rosa, M. 2004. Evaluation of physico-chemical parameters of minimally processed apples packed in non-conventional modified atmosphere. *Food Research International*. 37 (4):329-335.
- Rocculi, P., Romani, S. y Rosa, M. 2005. Effect of MAP with argon and nitrous oxide on quality maintenance of minimally processed kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*. 35 (3):319-328.
- Rodríguez-Félix, A., Rivera-Domínguez, M. y González-Aguilar, G. 2005. Uso de atmósferas modificadas y controladas. En: G. A. González-Aguilar, A. A. Gardea, F. Cuamea-Navarro (Eds.). *Nuevas tecnologías de Conservación de productos vegetales frescos cortados*. CIAD, A.C. México. pp. 447-474.
- Rodríguez, A. C. C., Pereira, L. M., Sarantópoulos, C. I. G. L., Bolini, H. M. A., Cunha, R. L., Junqueira, V. C. A. y Hubinger, M. D. 2006. Impact of modified atmosphere packaging on the osmodehydrated papaya stability. *Journal of Food Processing and Preservation*. 30:563-581.
- Sadik, C., Sies, H. y Schewe, T. 2003. Inhibition of 15-lipoxygenase by flavonoids: structure-activity relations and mode of action. *Biochemical Pharmacology*. 65 (5):773-781.
- Sandhya. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT - Food Science and Technology*. 43 (3):381-392.
- Sinigaglia, M., Corbo, M., D'Amato, D., Campaniello, D. y Altieri, C. 2003. Shelf-life modelling of ready-to-eat coconut. *International Journal of Food Science and Technology*. 38 (5):547-552.
- Szabo, E., Scurrah, K. y Burrows, J. 2000. Survey for psychrotrophic bacterial pathogens in minimally processed lettuce. *Letters of Applied Microbiology*. 30:456-460.
- Varoquaux, P. y Wiley, R. 1994. Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. En: R.C. Wiley (Ed.). *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Chapman-Hall, New York, EE.UU. pp. 226-268.
- Yahia, E.M. 2006. Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. *Stewart Postharvest Review*. 5 (6):1-10
- Yang, J. 2011. Phytochemical changes of fresh-cut fruits and vegetables in controlled and modified atmosphere packaging. En: A. L. Brody, H. Zhuang y J. H. Han (Eds.). *Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables*. Primera Edición. Wiley-Blackwell, EE.UU. pp. 101-140.
- Zagory, D. y Kader A. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Technology*. 42 (9):70-77.
- Zhuang, H., Barth, M. y Fan, X. 2011. Respiration and browning discoloration of fresh-cut produce in modified atmosphere packaging. En: A. L. Brody, H. Zhuang y J. H. Han (Eds.). *Modifie atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables*. Primera Edición. Wiley-Blackwell, EE.UU. pp 31-56.