

INTRODUCCIÓN

Las frutas y vegetales forman parte importante de la cadena alimenticia, poseen características que los diferencian del resto de los alimentos, y requieren para asegurar su estabilidad, calidad nutricional y organoléptica, un conocimiento de la fisiología del fruto tanto entero como cortado, además de todos aquellos componentes propios del alimento original que pueden afectarse por la manipulación, transporte o almacenamiento. El control de estos factores influye en su calidad, la cual está dada por una combinación de atributos o factores que incluyen apariencia visual, textura, sabor, valor nutritivo e inocuidad, además de las características propias del vegetal, del método de elaboración y condiciones del procesamiento.

Por definición, el producto mínimamente procesado es cualquier fruta u hortaliza, o combinación de ambos, que halla sido físicamente alterado, pero permaneciendo en su estado *in natura*. El procesamiento mínimo es entonces, la transformación *in natura* de partes vegetales, que sufren un mínimo de operaciones de procesamiento.

Los vegetales y frutas frescas cortadas se procesan con el objetivo de proveer al consumidor de un alimento listo para su consumo, - tendencia que se encuentra en crecimiento-, los cuales demandan productos libres de defectos que tengan un grado de madurez óptimo y que posean una elevada calidad organoléptica y nutricional, inocuos y libres de compuestos tóxicos (Watada *et al.*, 1999).

La vida en anaquel de los productos frescos cortados esta limitada por factores como el crecimiento microbiano, deshidratación de la superficie

del producto, cambios de textura, desarrollo de malos olores y sabores, y la decoloración u oscurecimiento de la superficie. El color es el factor principal ya que además de indicar frescura puede informar de otras propiedades, como el grado de madurez y textura (Kays, 1999)

Para asegurar la calidad final de los productos frescos cortados se debe conocer el efecto que el procesado tiene en su elaboración, así como las técnicas básicas necesarias para evitar el deterioro, ya sea durante el procesado como en su conservación, transporte y distribución.

En el desarrollo de este proyecto se pretende establecer los parámetros de adecuación, empaque y almacenamiento en atmósferas modificadas con el fin de extender la vida de anaquel de las rodajas de carambolo fresco cortado para su distribución y comercialización.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El consumo de frutas y hortalizas frescas se ha incrementado en los últimos años tanto en Europa, como en Estados Unidos y España principalmente, gracias al cambio en los hábitos de consumo de la población, lo cual ha tenido como resultado la demanda de alimentos naturales de apariencia y valor nutricional semejante a los productos frescos, sin aditivos, y si estos fueran necesarios, que sean naturales, microbiológicamente seguros, fáciles de consumir y preparar, los cuales se denominan alimentos mínimamente procesados.

La extensión de la vida útil de dichos productos enfrenta dos problemas básicos: el primero es que el tejido vegetal vive y respira tanto entero como cortado, generando procesos de deterioro como la deshidratación, oxidación, elevada velocidad de respiración y actividad enzimática, reacciones que se incrementan durante el procesamiento (pelado y cortado) conduciendo a la pérdida de calidad (Rosen y Kader, 1989, Watada *et al.*, 1996). El segundo problema es que al remover la protección natural del producto, la posibilidad de desarrollo microbiano es mayor proporcionando un riesgo potencial para la salud.

El carambolo es un fruto tropical exótico, de alta demanda por parte del mercado internacional por su suave y delicado aroma y por la forma de estrella que tiene su corte transversal. Actualmente, se comercializa en fresco a nivel nacional y existen algunas exportaciones hacia nichos de mercados muy especializados principalmente de Europa. Sin embargo, es necesario ofrecer alternativas de conservación de este fruto por períodos de tiempo más largos, pero conservando las características del producto fresco.

Actualmente, existen algunos métodos como el enlatado o congelado, que minimizan los problemas de deterioro fisicoquímico y microbiológico, pero que favorecen la pérdida de las características de frescura propias del producto.

Teniendo en cuenta que el empaque bajo atmósferas modificadas y en condiciones controladas, permite prolongar la vida de anaquel de vegetales frescos cortados, se plantea establecer los parámetros de adecuación, empaque y almacenamiento de rodajas de carambolo fresco, utilizando tres tipos de empaques alternativos. Por tanto, el proyecto investigativo está enfocado a identificar cual sería entre los métodos de conservación de alimentos, el más aplicable al carambolo y, que permita garantizar por un máximo de tiempo, la permanencia de sus características físicas, organolépticas y microbiológicas.

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente el comercio mundial distingue tendencias diferentes en las frutas y verduras, particularmente para muchos productos no tradicionales que han duplicado sus exportaciones en el periodo de 1989 a 2001 (GOBANT, 2004). Entre dichos productos se encuentran las frutas exóticas, que no se producen naturalmente en todos los países del mundo y resultan atractivas para los consumidores de los países no tropicales. Aunque no se han consolidado en los mercados, muestran un paulatino crecimiento desde 1980. Entran en este grupo productos como el mangostino, la granadilla, el maracuyá, el tamarindo, el carambolo, la pitahaya, la uchuva, el darián, el rambután, la cocona, el arazá, los higos y la chirimoya. (CCI, 1998)

La demanda de frutas tropicales cortadas va cada día en aumento; sin embargo, las áreas de producción (trópicos) están alejadas de los mercados potenciales, por lo que ésta industria demanda el desarrollo de tecnologías que aseguren un producto por un periodo suficiente para su distribución y comercialización.

El carambolo, (*Averrhoa carambola L.*), es una fruta producida en varios países, pero por su baja producción, comercialización y consumo, aun se considera exótica. Combinando esta propiedad con el notable desarrollo de los productos mínimamente procesados (PMP) y la creciente demanda institucional de las mismas (casinos, proveedores de restaurantes y servicios de comida rápida), es necesario desarrollar y aplicar nuevos y mejores métodos para mantener la calidad del producto y extender su vida útil. Aunque existen variados métodos de conservación de productos vegetales frescos cortados, el uso de un empaque para contener el

producto es imprescindible para su protección, manipulación, conservación y exhibición.

Por esta razón, aplicando el método de conservación en atmósfera modificada, se pretende extender la vida útil de las rodajas de carambolo fresco cortado para ofrecer una alternativa de consumo en el mercado nacional e internacional, que actualmente exige estándares de calidad de productos conservados similares a aquellos recién cosechados.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL:

Caracterizar y determinar la vida útil de rodajas de carambolo (*Averrhoa carambola L.*) fresco cortado, durante el almacenamiento a granel, vacío y en atmósfera modificada a fin de retardar el proceso de maduración de la fruta, sin deteriorar sus características fisicoquímicas y evitar o disminuir las pérdidas durante almacenamiento.

3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO:

3.2.1 Evaluar la evolución de los parámetros fisicoquímicos: Peso, tasa de respiración, actividad de agua, °Brix, % humedad, acidez titulable, pH, cenizas, color, textura, perfil aromático, contenido de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) y de ácidos orgánicos no volátiles (ácido oxálico y ácido ascórbico); enzimáticos: polifenoloxidasas (PPO) y peroxidasa (POD); y microbiológicos: recuento de mesófilos, psicrófilos, hongos y levaduras, y esporas *Clostridium*; durante el almacenamiento en atmósfera modificada, a vacío y granel de las rodajas de carambolo fresco cortado.

4. ANTECEDENTES

4.1 Mercado del carambolo, *Averrhoa carambola*

El carambolo es una fruta exótica muy cotizada en los mercados internacionales, conocida popularmente como "fruta estrella" o "star fruit". Es una fruta de gran empleo en la decoración de diversos platos exquisitos debido a su forma curiosa, ovalada, alargada, con cinco aristas o alas; y al corte, de estrella de cinco puntas. Es de pequeño tamaño, con una longitud que oscila entre 7 y 12 centímetros con una piel fina, lustrosa y comestible, de color entre verde o dorado y amarillo-anaranjado cuando está madura. La pulpa es crujiente, de suave textura de color amarillo vidrioso (www.frutas.consumer.es, 2006).

Iberoamérica se encuentra entre las áreas de mayor producción de frutas y hortalizas en el mundo, siendo las de origen tropical y subtropical, las que mayor demanda tienen en los mercados internacionales. Durante el periodo de 1990-2002, el consumo de productos hortícolas ha crecido significativamente en los diferentes mercados internacionales, debido principalmente a sus buenas características organolépticas, nutricionales y beneficios en la salud humana (Gorny, 2002).

4.2 Estudios fisicoquímicos del carambolo, *Averrhoa carambola*

Londoño (2004) evaluó las propiedades físicas de los frutos de carambolo, (*Averrhoa carambola L.*), variedad Icambola reportando los siguientes valores: diámetro axial de 10,3 cm; diámetro ecuatorial de 6,2 cm; la firmeza de los frutos disminuye desde 3.45 kgF en frutos verdes hasta

1.22 kgF en frutos maduros; su forma en la sección longitudinal es ovalada y transversal en forma de estrella; el volumen real promedio es de 82.21 cm³ y el volumen aparente de 393.26 cm³; la densidad promedio del fruto es de 0.9941 g/ml y su área superficial promedio de 159.49 cm²; el contenido de pulpa o material precipitable es de 65.31% para frutos verdes aumentando según su grado de madurez hasta 86.41%. El contenido de ácido oxálico varía de 0.05 a 0.21% según su grado de madurez. El contenido de sacarosa varía de 1.04 a 1.9% según su estado de madurez al igual que la glucosa y fructosa que varían de 1.3 a 2.7%, es por este comportamiento que el autor clasifica el carambolo como un fruto climatérico. En contraste con la clasificación anterior, otros autores (Lam y Wan, 1983; Oslund y Davenport, 1983; Lam y Wan, 1987; Watson *et al.*, 1990; García y Mejía, 2005) han reportado un comportamiento no climatérico para el fruto entero debido a los patrones típicos de un fruto de este tipo tales como la producción de etileno, dióxido de carbono y su índice de maduración.

Los niveles del azúcar siguen siendo constantes durante almacenamiento, aunque el carambolo continúa perdiendo clorofila y desarrollando carotenoides después de su cosecha. La acidez puede declinar durante el almacenamiento, y ésta es a menudo indeseable pues puede ser asociada a su pérdida de firmeza.

4.3 Vegetales frescos cortados almacenados bajo atmósfera modificada

El mercado de los frutos cortados está en constante expansión debido a los cambios de estilo de vida que implica menor tiempo para preparar los alimentos. Estos productos listos para consumir, reúnen las exigencias de

los consumidores, por lo que representan una alternativa potencial de los productos frescos intactos (Gorny, 2002).

El principal problema de los productos cortados es el alto carácter perecedero, que se incrementa después de los procesos de pelado y cortado como consecuencia del aumento de las reacciones metabólicas que limitan la vida de anaquel del producto (Watada, 1996; Gorny, 2002).

El consumo de frutas y hortalizas cortadas dio inicio hace 2 décadas en los países desarrollados como Francia, Inglaterra, Holanda y Estados Unidos de Norteamérica y se conoce muy poco sobre las condiciones y los métodos de conservación, así como los procedimientos adecuados para productos de origen tropical y subtropical.

Para ello se requiere de técnicas adecuadas para controlar estos procesos de deterioro, por lo que la conservación de estos productos en el anaquel representa un reto muy importante en la industria de los alimentos en Ibero América. Esto debido a los grandes volúmenes producidos en estas regiones, así como el crecimiento continuo de su mercado y demanda de productos listos para consumir. Actualmente, existe un nicho de mercado muy importante que no ha sido explotado en algunos países de Iberoamérica (www.ciad.mx).

La modificación de la atmósfera para extender la vida poscosecha de frutos enteros como manzana y pera se inició en 1930 expandiéndose rápidamente en Estados Unidos, en 1950 a Nueva York y al noreste del pacífico. Posteriormente, en 1985 su empleo se extendió a frutas y hortalizas cortadas y entre 1985 – 1990 representó el área de mayor crecimiento en el mercado francés de alimentos envasados en atmósferas modificadas, con 40.000 toneladas, donde las lechugas y las ensaladas representan el mayor porcentaje (Brody, 1999).

Desde sus inicios, se han llevado a cabo trabajos en frutos frescos cortados en los cuales se han observado diversos efectos así como beneficios, los cuales pueden ser mayores si se toman en cuenta todos los factores que afectan la calidad del producto (González-Aguilar *et al.*, 2005). Algunos de los principales trabajos realizados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Efecto de almacenamiento en atmósferas modificadas y Controladas en la calidad de frutas cortadas. (González-Aguilar *et al.*, 2005)

Producto	Presentación	Envase	Temp. en °C	atmósfera		Beneficio	Referencia
				%O ₂	%CO ₂		
Coco	Rebanadas	Bolsas de PE-Nylon alta barrera	4	7 a 16	0 a 4	Retrasa amarillamiento y mantiene atributos sensoriales	Sinigaglia et. al, 2003
Guayaba roja	Mitades sin cáscara y sin semillas	Charolas PET	5	7.8 a 10	13 a 19	Reduce pérdida de peso, mantiene color	Pereira et. al, 2004
Jicama	Cilindros de 1,8 * 4,5 cm	Fascos de vidrio	5	0.3, 3 y aire	10	Retrasa oscurecimiento enzimático	Aquino-Bolaños et. al, 2000
Kiwi	Rebanadas	Charolas PP cubiertas con película de PP	4	5	5 y 90 N ₂ O	Reduce la pérdida de peso, disminución de firmeza, cambios en color, oscurecimiento y disminución de SST	Rocculi et. al, 2005
Tangelo Minneola	Segmentos	Charolas PP cubiertas con poliolefina	4	15.4 a 20	1 a 6	Incrementa el contenido de flavonoides totales, mantiene la acidez titulable y el pH, retrasa la disminución de SST y ácido ascórbico	Del caro et. al, 2004
Mandarina palazelli	Segmentos	Charolas PP cubiertas con poliolefina	4	11.7 a 18	3 a 8.3	Incrementa el contenido de flavonoides totales, mantiene el contenido de ácido ascórbico, acidez titulable, pH y SST	Del Caro et. al, 2004
Mango Kent	Cubos de 2 * 2 cm	Fascos de vidrio	5	2	10	Retrasa oscurecimiento y disminución de la calidad visual	Rattanapan one et. al, 2001
Mango Tommy	Cubos de 2 * 2 cm	Fascos de vidrio	5	4	10	Retrasa oscurecimiento y disminución de la calidad visual	Rattanapan one et. al, 2001
Mango Carabao	Cubos de 2 * 2 cm	Charola de PE	5 y 13	0	3.5 y 10	Extiende la vida de anaquel no afecta la TR, textura y	Poubol E Izumi., 2005

						mantiene el contenido de etanol y vitamina C	
Manzana Golden Delicious	Rebanadas de 5 mm	Bolsa de plástico Cryobac	4	100 N ₂		Retrasa el oscurecimiento enzimático	Solliva – Fortuny et. al, 2002
Manzana Jonagored	Cubos	Frasco de vidrio	4	2	12	Reduce pérdida de peso y firmeza, Disminuye los cambios de color y de SST, retrasa el oscurecimiento	Rocha y De morais., 2000
Manzana Jonagored	Cubos	Frasco de vidrio	4	2	12	Reduce los cambios de color y el oscurecimiento. Inhibe la actividad de polifenol oxidasa	Rocha y Morais., 2001
Melón Cantaloupe	Cubos	Frasco de plástico con película de Cryobac LDX-5406	5	4	10	Retiene el color, reduce apariencia traslúcida y la tasa de respiración	Bai et. al, 2001
Melón Honeydew	Cubos	Frasco de plástico con película de Cryobac LDX-5406	5	5	5	Mantiene calidad visual y retrasa el desarrollo de apariencia traslúcida	Bai et. al, 2003
Manzana Shamouti	Segmentos	Charolas PP cubiertas con poliolefina	4	15.7 a 19.3	1.6 a 6.1	Incrementa el contenido de flavonoides totales, mantiene el contenido de ácido ascórbico, SST y acidez titulable	Del caro et. al, 2004
Sandía Summer	Cubos de 5 cm	Contenedores de PE rígidos con cubiertas con cierre seguro	2	10 a 17.3	3.3 a 10	Retrasa la disminución de color, pérdida de licopeno y de SST	Perkins - Veazie y Collins., 2004

Brecha *et al.* (2003), determinaron que las atmósferas modificadas y controladas óptimas para productos frescos varían de acuerdo a la especie, su madurez, la temperatura y el tiempo de exposición. Ya que existen numerosos estudios que evalúan el efecto de la atmósfera modificada sobre los frutos frescos cortados, se clasificaron las fuentes de acuerdo al efecto fisicoquímico que analizan:

Tasa respiratoria

Hakim *et al.* (2004) determinaron que en una atmósfera de 2.5% de O₂, 5% de CO₂ y a 1°C de refrigeración, se reduce la tasa respiratoria y la

producción de etileno de las rebanadas de tomate Solarset en un periodo comprendido entre 5 y 10 días de almacenamiento comparado con las rebanadas almacenadas en condiciones ambientales. Fonseca et al. (2005) mostraron que las bajas concentraciones de O₂ (1 a 3%) y temperatura de 20°C disminuyen en la hoja de col Galega rayada la tasa de respiración en comparación con las almacenadas en aire. Kim et al. (2005) almacenaron lechuga romana cortada a 5°C bajo tres atmósferas alternativas y encontraron que la menor tasa respiratoria corresponde a la lechuga almacenada bajo un porcentaje de oxígeno menor de 2.5% en comparación con las atmósferas de 10 y 21%.

Bai *et al.* (2001) estudiaron cubos de melón cantaloupe y demostraron que tanto el empleo de atmósfera modificada activa (4% O₂ + 10% CO₂) como pasiva para empacar, reduce la tasa respiratoria al almacenar a 5°C por 12 días.

Pardeamiento enzimático

De Almeida T *et al.* (2006) establecen que la principal restricción en el uso de carambolo fresco cortado es su susceptibilidad al pardeamiento debido a la oxidación mediada por la polifenol oxidasa en presencia de compuestos fenólicos del tejido. Dicha susceptibilidad representa una limitación a la aceptación visual que indica una necesidad para su control durante el procesamiento del carambolo.

El pardeamiento y los cambios en la composición del carambolo tanto fresco cortado como entero bajo refrigeración a 4.4°C por cuatro semanas fue estudiado por Weller A *et al.* (1997) pero no se conocen datos de pardeamiento enzimático de rodajas de carambolo fresco cortado almacenado bajo atmósferas modificadas.

Quicazán *et al.* (2002) determinaron en el proceso de elaboración de pulpa del fruto de carambolo que el uso de ácido ascórbico en una concentración de 400 ppm funciona muy bien como agente inhibidor del pardeamiento, y que una concentración de 300 ppm de benzoato de sodio es suficiente para la adecuada conservación de la pulpa.

Actualmente se han trabajado productos frescos con alta sensibilidad al pardeamiento enzimático. Cantwell (1992) observó que niveles bajos de oxígeno menores al 5% en combinación con concentraciones de 5 a 10% de CO₂, retrasan el oscurecimiento y aumentan la vida anaquel de la lechuga y otros productos. Soliva-Fortuny *et al.* (2002) observaron inhibición casi completa de la producción de etileno durante el almacenamiento a 4°C de rebanadas de manzana Golden delicious empleando empaque en atmósfera modificada activa (100% N₂). Rocculi *et al.* (2005) compararon el efecto de la sustitución de nitrógeno por N₂O o Ar en el empaque de atmósferas modificadas activas por 12 días a 4°C de rebanadas de kiwi y concluyeron que el empaque en atmósfera modificada con 90% de N₂O + 5% de O₂ y 5% de CO₂ tuvo el mayor efecto en la disminución del oscurecimiento del producto y mantuvo el color verde durante el periodo de almacenamiento.

Degradación de pigmentos

Bai *et al.* (2001) mostraron que el empleo de empaque en atmósfera modificada activa (4% O₂ + 10% CO₂) durante el almacenamiento a 5°C fue mas efectivo que el empaque en atmósfera modificada pasiva, ya que prolongó la vida de anaquel y presentó mayor retención del color, menor traslucencia del tejido y desarrollo de microorganismos. Perkins-veazie y Collins (2004) observaron que los cubos de sandía empacados en atmósfera modificada pasiva (5% O₂, 5% CO₂) pueden mantenerse en buenas condiciones por 10 días a 10°C, sin embargo a partir del día 7 se

presentó una ligera disminución del color y en el contenido de licopeno lo que se asoció con la senescencia del tejido.

Textura

Zagory (1995) reportó que la reducción en los niveles de oxígeno tiene un efecto benéfico en la textura, ya que puede disminuir el ablandamiento de muchas frutas y el endurecimiento de otras hortalizas.

Soliva-Fortuny *et al.* (2002) concluyeron que la combinación de empaque en atmósfera modificada activa (100% N₂) y aditivos químicos extiende la vida de anaquel de rebanadas de manzana Golden delicious por tan solo 3 semanas a 4°C, debido a que después de este periodo se producen malos olores debido a la respiración anaeróbica.

El uso del empaque en atmósfera modificada pasiva (1% O₂ + 5-10.5% CO₂) disminuyó la pérdida de firmeza de tiras de chile pimiento durante el almacenamiento por 21 días a 5 °C, así mismo mantuvo la calidad y el contenido de ácido ascórbico (González-Aguilar *et al.*, 2004).

Rocculi *et al.* (2005) al almacenar rebanadas de kiwi durante 12 días a 4°C, encontraron que el empaque en atmósfera modificada con 90% de N₂O + 5% de O₂ +5% de CO₂ arrojó los mejores beneficios en la vida de anaquel de kiwi observando un retraso en la disminución de firmeza de las rebanadas de kiwi en estas condiciones, las cuales presentaron una disminución del 10% después de ocho días y mantuvieron los mejores valores hasta los 12 días de almacenamiento.

Azúcares

Se han realizado múltiples trabajos de evaluación de azúcares en vegetales frescos cortados mostrando el efecto positivo en la conservación

de sólidos solubles que tiene el empaque en atmósferas modificadas sobre las frutas cortadas mas no sobre las hortalizas cortadas.

Habibunnisa-Baskaran *et al.* (2001) mostraron que el empleo de atmósfera modificada en atmósfera pasiva (2-7% O₂ + 15% de CO₂) extiende la vida de anaquel de cubos de calabaza a 20 días a 5°C, y redujo los cambios en sólidos solubles totales y ácido ascórbico. Al retrasar los principales procesos de respiración que utilizan como sustratos los azúcares y ácidos orgánicos, los niveles de éstos compuestos se mantienen por un mayor periodo confiriendo una mayor calidad.

Del Caro *et al.* (2004) concluyeron que el empaque en atmósfera modificada pasiva de cítricos Tangelo Minneola, mandarina Palazelli y naranja Shamouti, mantienen el contenido de sólidos solubles totales y acidez titulable, retrasando su pérdida durante el almacenamiento por 12 días a 4°C.

Perkins-Veazie y Collins (2004) mostraron que el empaque en atmósfera modificada pasiva (5% O₂ + 5% CO₂) durante el almacenamiento de cubos de sandía puede mantener el producto en buenas condiciones por 10 días a 2°C, con una ligera reducción en el contenido de sólidos solubles totales a partir de los 7 días.

Gómez y Artes (2005), observaron que el contenido de sólidos solubles totales se mantiene en trozos de apio almacenado en bolsas de polipropileno orientado (6% O₂ + 7% CO₂) por 15 días a 4°C. Rocculi *et al.* (2005) observaron que los sólidos solubles totales de rebanadas de kiwi se mantiene al emplear un empaque en atmósfera modificada activa con óxido nitroso (90% N₂O+ 5% O₂ +5% CO₂) en comparación con la disminución significativa observada en condiciones pasiva (0.25 – 11.70%

O₂ + 34 – 54.6% CO₂) y activa (90% N₂ + 5% O₂ + 5% CO₂; CO₂; 90% Ar + 5% O₂ + 5% CO₂) durante el almacenamiento por 12 días a 4°C.

Ácidos orgánicos

Aguayo *et al.* (2004) mostró que el empaque en atmósfera modificada activa y pasiva (3% de O₂ + 0% CO₂ y 3% O₂ + 4% CO₂) no tiene un efecto significativo en el contenido de acidez titulable de rebanadas de tomate calibra, almacenada por 14 días a 0°C. Pero el empleo de atmósfera modificada pasiva fue necesario para mantener un buen sabor, calidad general y textura, al extender a 14 días la vida de anaquel del producto.

Gómez y Artes (2005), observaron que el empaque en atmósfera modificada pasiva en bolsas de polipropileno orientado (6% O₂ + 7% CO₂) por 15 días a 4°C no afecta el contenido de ácidos orgánicos de trozos de apio.

Habibunnisa-Baskaran *et al.* (2001) mostraron que el empleo de atmósfera modificada en atmósfera pasiva (2-7% O₂ + 15% de CO₂) extiende la vida de anaquel de cubos de calabaza a 20 días a 5°C, en comparación con los 7 días del tratamiento almacenado en aire.

Bai *et al.* (2003) observaron que el melón Moneydew cosechado en invierno o verano tiene mayor vida de anaquel al usar una atmósfera activa (5% O₂ + 5% CO₂), tanto a 5 y 10°C en comparación con el empaque en atmósfera modificada pasiva.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 DESCRIPCIÓN DEL CARAMBOLO

5.1.1 Nombre científico

(Averrhoa carambola L.).

5.1.2 Nombres comunes o vulgares

Carambolo (Colombia), Tiriguro (Costa Rica), Árbol de pepino, Carambolera (México), Cornichón (Antillas), Limas de cayena (Brasil), Tamarindo chino (Venezuela, Ecuador) (Watson, *et al.*, 1990)

5.1.3 Otros idiomas

Kamaranga, Kamruk (India), Khe, Khe ta (Vietnam), Spu (Camboya), Nak fuang (Laos-Asia), Carambolier (Francia), Ma fueang (Tailandia), Belimbing batu, Kambola, Caramba (Malasia), Yang-táo (China). (Morton, 1987)

5.1.4 Descripción científica (Watson, *et al.*, 1990)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Oxalidales

Familia: Oxalidaceae

Género: *Averrhoa*

Especie: *A. carambola*

5.1.5 Origen y distribución

La carambola (*Averrhoa carambola L.*) es una fruta originaria y propia de Indonesia y Malasia. Su cultivo se ha extendido a otros países tropicales de Asia y América. Los principales países productores hoy en día son Tailandia, Brasil, Colombia y Bolivia (Figura 1).

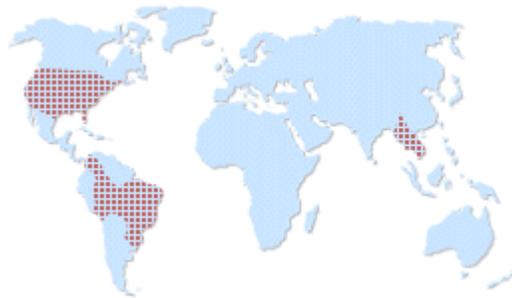


Figura 1. Principales países productores de carambolo, *Averrhoa carambola L.* (frutas.consumer.es, 2006)

5.1.6 Variedades

Se distinguen dos clases de carambolo: el más pequeño, es amargo, rico en sabor, con más cantidad de ácido oxálico; el más grande, conocido como el tipo “dulce”, posee un sabor bastante suave, con menor cantidad de ácido oxálico (Morton, 1987).

Otras variedades son: Arkin, B1, B6 B10, Fwang tung, Goleen Star, OCU, Maha, Kaján, Leng bak, Sri Kembangan, Wheeler, Thayer & Newcombe. (Watson, *et al.*, 1990)

En Colombia el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en el Centro nacional de investigación (CNI) de Palmira, el programa nacional de

hortalizas ha desarrollado una nueva variedad denominada Icambola (ICA, 1972).

5.1.6.1 Carambolo Icambola, (*Averrhoa carambola* L.), variedad Icambola

Es un árbol tropical, de crecimiento lento, es siempre verde, de rápida entrada en producción, con la característica de que puede producir en forma continua; los frutos se producen de las porciones de la planta expuestas a la luz solar, incluso en el tronco; la pulpa es traslúcida, jugosa, sin fibra, variando en textura desde blanda a firme (Figura 2). El sabor es agradable, subácido y dulce. Los frutos que maduran en el árbol tienen un sabor más agradable

Antes de la década del 80, la carambola no se consideraba como cultivo comercial. La mejora en las técnicas de cultivo y de post recolección y sobre todo, la selección de cultivares de alta productividad y excelente calidad, ha generado una aceptable demanda. La producción de material de propagación se efectúa con una variedad injertada en carambola común (Profrutales, 2006).



Figura 2. Fruto de carambolo (*Averrhoa carambola* L.), variedad Icambola (Profrutales, 2006).

5.1.7 Composición química

Se han realizado estudios sobre la composición química del fruto de carambolo (*Averrhoa carambola* L) entero en diferentes estados de maduración. Algunos de los datos se encuentran recopilados en la tabla 2.

Tabla 2. Caracterización y composición de frutos de carambolo en estados sucesivos de maduración (Hernández, 2001).

Componente	Unidad	Estado De Madurez		
		Verde	Pintón	Maduro
Diámetro longitudinal	cm	3.84	8.80	8.89
Diámetro transversal	cm	5.38	5.76	5.71
Peso fresco	g	66.36	89.34	95.13
Dureza	Lb/pie	7.92	6.36	5.44
Corteza	%	28.54	26.08	22.7
Semilla	%	5.76	5.33	4.42
Pulpa	%	65.56	68.66	72.87
Acidez total	Ácido cítrico anhidro	1.48	1.90	2.31
pH		1.79	1.90	2.0
Sólidos solubles	°Brix	4.00	5	6.5
Azúcares reductores	%	1.48	1.90	2.31
Azúcares totales	%	1.14	1.61	2.06
Vitamina C	mg/100 g pulpa	14.31	16.91	12.82
Materia seca	%	4.76	4.87	4.81
Proteína cruda	% bs	7.04	7.47	7.28
Cenizas	% bs	3.7	3.57	3.50
Extracto etéreo	% bs	1.8215	2.3212	2.511
Fibra	% bs	31.07	38.3	31.87
Calcio	mg/100 g pulpa	31.8	40.05	33.95
Cobre	mg/100 g pulpa	0.325	0.35	0.5
Magnesio	mg/100 g pulpa	94.2	92.15	84.25
Potasio	mg/100 g pulpa	1.1699	1.165	1.0799
Hierro	mg/100 g pulpa	3.7	2.7	2.85
Sodio	mg/100 g pulpa	0.6	0.25	0.65

5.1.8 Físicoquímica del fruto

Las propiedades físicoquímicas del carambolo (*Averrhoa carambola L*) previamente reportadas se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Propiedades físicoquímicas del carambolo, (*Averrhoa carambola L.*) (Profrutales, 2000).

Propiedad	Unidad	
Longitud	cm	8.60
Anchura	cm	5.0
Relación L/A		1.72
Peso	g	92.33
Textura de la corteza	1-8 UCR	2.9
Color de la corteza	Munsell	5 YR 7/11 (Naranja fuerte)
Corteza	g	16.93
Corteza	%	18.33
Corteza	mm	0.50
Longitud entre vértices lomos opuestos	cm	4.42
Distancia entre lomos	cm	3.06
Color de la pulpa	Munsell	5 YR 7/11 (Naranja fuerte)
Textura de la pulpa	1-3 UCR	1.12
Peso de la pulpa	g	78.95
Pulpa	%	85.50
Semilla	Numero	2.0
Peso de la semilla	g	0.90
Semilla	%	0.10
Jugo	%	56.95
Sólidos solubles	%	9.26
Acidez	%	0.23
Relación SS/A		40.26
Ácido ascórbico	mg/100 ml	40.04
Pectina	%	0.49
Sabor	40-100 UCR	90.00

5.1.9 Valor nutricional

El carambolo es un fruto tropical poco conocido, al cual se le atribuyen algunas propiedades alimenticias. En las tablas 4 y 5 se muestran los

valores nutricionales y el contenido de aminoácidos de dicho fruto respectivamente.

Tabla 4. Información nutricional de 100 g de fruta comestible, carambolo (*Averrhoa carambola L.*) (Morton, 1987).

Valor alimenticio por porción (100 g)	
Calorías	35.7
Humedad	89.0-91.0 g
Proteína	0.38 g
Grasa	0.08g
Carbohidratos	9.38 g
Fibra	0.80-0.90 g
Cenizas	0.26 – 0.40 g
Calcio	4.4-6.0 mg
Fósforo	15.5-21 mg
Hierro	0.32-1.65 mg
Caroteno	0.003-0.552 mg
Tiamina	0.03-0.038 mg
Riboflavina	0.019-0.03 mg
Niacina	0.294-0.38 mg
Ácido ascórbico	26.0-53.1 mg

Tabla 5. Algunos aminoácidos presentes en el Carambolo en $\mu\text{mol/g}$ (*Averrhoa carambola L.*) (Morton, 1987).

Triptófano	3.0 mg
Metionina	2.0 mg
Lisina	2.6 mg
Asparragina	0.82-0.64

Treonina	0.92-0.79
Serina	3.88-2.00
Ácido Glutámico	2.41-1.80
Prolina	0.23-0.09
Lisina	0.20-0.10
Alanita	5.40-1.26
Valina	0.17-0.11
Isoleucina	0.03
Ácido butírico gamma aminado	0.77-0.55
Ornitina	0.11-0.13
Leucina	Trazas
Fenilalanina	Trazas
Histidina	Trazas

5.1.10 La planta

El árbol de carambola ácida del pie de monte amazónico (Figura 3) exhibe un follaje denso con hojas compuestas, alternas, pecioladas, imparipinadas, de color bronceado cuando jóvenes y de color verde en la madurez. Las hojas poseen entre 9 y 13 folios pubescentes en el envés y en la zona central del haz, los folios se encuentran más o menos inclinados. Es un árbol que puede llegar a medir hasta 10 metros de altura aunque a veces no pasa de arbusto con las ramas colgantes. Los árboles presentan estructuras reproductivas (flores y frutos) en diferente grado de desarrollo (González, 2000).



Figura 3. Árbol de carambolo, (*Averrhoa carambola* L.) (Floridagardener, 1999)

5.1.11 La flor

Las inflorescencias del carambolo se desarrollan en las axilas de las hojas, concentrándose hacia la periferia del árbol; estas se caracterizan por ser panículas de tonalidades rojas y púrpura (Figura 4). Las panículas se desarrollan por un periodo de 4 a 6 semanas, presentan longitudes entre 1.8 y 8 centímetros y exhiben desde muy pocas hasta cerca de 80 estructuras en diferente grado de desarrollo (botones florales, flores y frutos)



Figura 4. Inflorescencia de carambola, (*Averrhoa carambola* L.) (tfphotos.ifas, 1999).

Las flores del carambolo son completas y de estilo largo (longistilia), están conformadas por cinco sépalos, cinco pétalos, cinco estambres, cinco estaminodios y un ovario supero con cinco estilos. Las flores abren gradualmente durante las horas de la mañana y cierran en la tarde. En un seguimiento a inflorescencias de carambolo se encontró que menos del 25% de las panículas presentan frutos cuajados (entre 1 y 8 frutos por inflorescencia); así mismo, se observó que regularmente se desarrolla un fruto por panícula (González, 2000).

5.1.12 El fruto

El fruto es una baya carnosa dividida en 4 o 5 celdas, la superficie es cerosa (Figura 5). Tienen de 2 a 6 pulgadas (5-15 cm) de longitud, con 5 (raramente 4-8) costillas longitudinales prominentes y un perfil estrellado cuando se cortan transversalmente. La cáscara es delgada, de un color amarillo claro-oscuro, lisa y con una cutícula cerosa. La pulpa tiene un color amarillo claro-oscuro, es translúcida, crujiente, jugosa y sin fibras. Las variedades buenas tienen un sabor agradable que varía de subácido a dulce. Los frutos son más dulces cuando maduran en los árboles. Los frutos verdes se tornarán amarillos lentamente si se recolectan antes de estar completamente maduros. Los frutos se demoran de 60 a 75 días de la floración hasta madurar, dependiendo de la variedad, prácticas de producción y el tiempo. Los frutos verdes y maduros se dañan fácilmente y deben manipularse con gran cuidado (EDIS, 2006).



Figura 5. Fruto del carambolo, *Averrhoa carambola* (frutasconsumer.es, 2006).

5.1.13 Semillas

Usualmente no hay más de 10-12 semillas por fruto y en ocasiones no hay ninguna. Las semillas son comestibles, tienen una longitud de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ pulgada (0.6 -1.3 cm), son delgadas, de color carmelita claro y están encerradas en un arilo gelatinoso. Las semillas pierden su viabilidad en unos cuantos días una vez que se extraen del fruto (EDIS, 2006).

5.2 VEGETALES FRESCOS CORTADOS

Las frutas y verduras mínimamente procesadas son productos hortofrutícolas que se preparan y manejan para mantener su naturaleza fresca mientras proveen conveniencia al consumidor (Cantwell, 1992). El proceso de dichos productos incluye el pelado, rebanado, corte y empaque. También puede definirse los productos mínimamente procesados como vegetales frescos cortados, ligeramente procesados, listos para usar, o frescos procesados.

5.3 ATMOSFERAS MODIFICADAS Y CONTROLADAS

El empaque en atmósferas modificadas es una técnica simple y sencilla que utiliza materiales poliméricos que permiten el intercambio gaseoso y proporcionan una atmósfera diferente a la normal alrededor del producto. Es utilizado ampliamente para la preservación de varios tipos de alimentos. Entre los materiales poliméricos utilizados se encuentran: El polietileno de alta densidad (PEAD), polietileno de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC) y acetato de celulosa (Kader

et al., 1989; Lange, 2000). De la misma forma, las bandejas utilizadas para contener los productos vegetales frescos cortados son de polietileno, poliestireno y poliuretano. El poliestireno, polivinildieno y poliéster presentan baja permeabilidad a gases y pueden ser utilizados en productos con baja velocidad de respiración. Otras películas tales como microperforadas o con microporos, pueden ser utilizadas en productos que requieran mayor difusión de gases. Cada una de éstas películas presenta variada permeabilidad a los diferentes gases y vapor de agua, facilidad de sellado y resistencia mecánica (Yahia, 1998; Kader y Watkins, 2000; Lange, 2000).

El uso adecuado de las atmósferas modificadas y controladas puede traer beneficios al producto, tales como una considerable disminución de la velocidad de respiración, disminución del etileno sobre el metabolismo, retención de la firmeza y la turgencia de los productos, así como el contenido de ácidos, orgánicos, azúcares, vitaminas, clorofilas y la calidad sensorial, además de evitar algunas alteraciones fisiológicas (Yahia, 1998). En general, se ha observado que la utilización de bajos niveles de oxígeno y/o altos de CO₂, reduce la actividad de los hongos y levaduras, y en consecuencia el deterioro del producto cortado (González-Aguilar *et al.*, 2004).

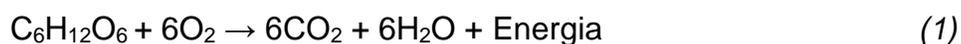
Existen varios sistemas comerciales de atmósferas controladas que se encuentran disponibles y cada uno de ellos presentan sus ventajas y desventajas (Kader, 2002). Generalmente el sistema de control activo de la atmósfera es el más costoso debido a la necesidad de mantener constantes los niveles de los gases. De ahí que este tipo de almacenamiento sea utilizado para grandes cantidades de productos en pallets o contenedores. Los sistemas de atmósferas controladas comerciales disponibles son el sistema: a. Control de CO₂, b. Control de etileno y de oxígeno, el cual puede lograrse mediante un generador externo de gas, c. El generador de nitrógeno líquido atmosférico, d. El

sistema separador de gas y, e. El almacenamiento hipobárico. Estos sistemas ya existen en el comercio y son utilizados principalmente para productos enteros y su uso es casi nulo en vegetales cortados.

La selección de la atmósfera apropiada para el producto cortado depende del tipo de cultivar, estado de madurez, las características del producto y del ambiente. No hay una atmósfera general para los productos, éstas deben ser analizadas y determinadas dependiendo de cada producto por lo que se ha hecho necesario encontrar condiciones específicas para cada uno de los productos hortofrutícolas. Dichas condiciones apropiadas, niveles óptimos y de tolerancia a las atmósferas controladas para varios productos vegetales frescos cortados ya han sido establecidas gracias a estudios previos y reportadas por Cameron y Smith (1997); Gorny (2001); Cantwell y Suslow (2002).

Normalmente en un sistema de atmósferas controladas se mantiene un nivel de oxígeno a concentraciones muy bajas (1-5%), con el fin de reducir la tasa de respiración de los frutos (ecuación 1) y extender su vida poscosecha. Concentraciones menores al 8% pueden reducir la producción de etileno y en consecuencia los procesos de maduración. Niveles muy bajos de oxígeno menores al 1%, pueden inducir procesos anaeróbicos y productos de fermentación (etanol, acetaldehído y lactato) (ecuación 2) dando como resultado malos olores y sabores, muerte del tejido y crecimiento de microorganismos patógenos anaeróbicos. Cabe mencionar que, en general, la tolerancia de los vegetales cortados a bajos niveles de oxígeno y/o altos de CO₂ es mayor con respecto al producto no procesado (Zagory y Kader, 1988).

Respiración aeróbica



Respiración anaeróbica



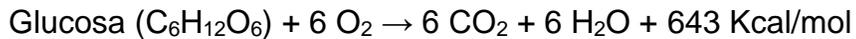
5.3.1 FACTORES QUE AFECTAN EL ENVASADO EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS

5.3.1.1 Resistencia a la difusión

El movimiento de los gases (O_2 , CO_2 y C_2H_4), en el tejido vegetal está en función de los gradientes de concentración presentes en el sistema. El O_2 de la atmósfera se difunde rápidamente a través de la cáscara del fruto y cuando ésta es removida en el proceso de pelado y cortado, su contacto con las células es más factible para ser utilizado en los procesos de oxidación. La velocidad de los procesos de oxidación dependerá de la cantidad de aire presente en los espacios intracelulares. La cantidad de aire interno presente en los tejidos es diferente, tal es el caso de la papa (1-2%), tomate (15-20%) y manzana (25-30%). Estos niveles pueden afectar la resistencia a la difusión de los gases, por lo que en ocasiones si la resistencia es alta, los gases utilizados en atmósfera modificada no pueden llegar al centro del tejido y favorecerse algunas reacciones indeseables, tales como la respiración anaeróbica (Kader et al., 1989).

5.3.1.2 Tasa de respiración y producción de etileno

La respiración se define como la degradación oxidativa de las sustancias o moléculas más complejas que conforman las células tales como el almidón, azúcar y ácidos orgánicos en moléculas más sencillas tales como dióxido de carbono y agua, esta degradación genera la producción de color y otras moléculas que pueden ser usadas para reacciones sintéticas celulares (Forero, 2002). La fórmula química básica de la respiración aerobia se puede definir así:



La tasa de respiración difiere considerablemente dependiendo del tipo de producto y las condiciones de temperatura, humedad relativa y atmósfera a la que es expuesta. El principal objetivo del envasado en atmósfera modificada o almacenamiento en atmósfera controlada es reducir la tasa de respiración del producto con el fin de reducir la pérdida de nutrientes y vapor de agua. Antes de envasar un producto es necesario conocer la tasa de respiración con el fin de llevar a cabo una buena selección de la permeabilidad de los gases de la película a utilizar.

El etileno juega un papel importante en la maduración del producto y la presencia de pequeñas cantidades (0.1 ppm) dentro del envase que contiene al fruto, son suficientes para tener un efecto fisiológico en el fruto. Se ha reportado que la acción del etileno solo se lleva a cabo en presencia de oxígeno y no puede unirse a los receptores a niveles de O₂ menores al 8%. Además, la producción de etileno puede reducirse a la mitad cuando los niveles de O₂ son cercanos al 2.5%. Estas concentraciones retrasan los procesos metabólicos y en consecuencia prolongan la vida de anaquel del producto (Kader *et al.*, 1989; Yahia, 1998).

5.3.1.3 Temperatura y Humedad Relativa

Los procesos metabólicos están en función de la temperatura y la humedad relativa. En general, las reacciones biológicas aumentan de 2 a 3 veces por cada 10°C de aumento en la temperatura. De la misma forma, la difusión de los gases a través de la película depende de la temperatura y de los gradientes de éstos en el sistema, siendo mayor la difusión de CO₂ que la del O₂, por lo que la película no es efectiva cuando se utilizan diferentes temperaturas de almacenamiento. Para el caso de los frutos cortados, la difusión de los gases hasta el centro del producto se lleva a cabo en un tiempo muy corto, lo cual representa una ventaja muy importante en la conservación. La exposición del tejido a baja humedad

relativa favorece significativamente la deshidratación y aumenta la tasa de respiración del tejido. Sin embargo, una alta humedad relativa puede favorecer la condensación del vapor de agua dentro del envase, y con ello afectar la permeabilidad de la película a los gases y favorecer el desarrollo de microorganismos (Kader *et al.*, 1989; Yahia, 1998).

5.3.1.4 Atmósfera dentro del envase

La atmósfera óptima para un producto determinado será aquella que reduzca al mínimo la respiración y los procesos de deterioro e incremente al máximo la vida de anaquel. Debido a que la atmósfera dentro del envase varía con el tiempo, es recomendable utilizar atmósferas cercanas a las óptimas para cada producto y que estén lejos de las concentraciones que puedan ocasionar algún daño al tejido vegetal.

5.4 SISTEMAS DE EMPAQUE EN ATMÓSFERA MODIFICADA DE PRODUCTOS VEGETALES FRESCOS CORTADOS

En años recientes ha habido un aumento en el uso de atmósfera modificada y controlada para conservar la calidad de productos vegetales frescos cortados (Lange, 2000; Cantwell y Suslow, 2002). Hay que considerar que el tiempo que limita la comercialización de un producto cortado (7-14 días) es mucho mas corto que el de un producto entero (4-12 semanas) (Lange, 2000). Los sistemas de envasado de productos frescos cortados mas utilizados se describen a continuación:

5.4.1 Envasado al vacío

En este sistema, el producto es colocado en envases donde el aire es retirado mediante vacío y posteriormente el envase es sellado. En un

sistema moderado de envasado al vacío, el almacenamiento se realiza a aproximadamente 400 mbar y la composición de la atmósfera no es controlada activamente. La presión atmosférica es reducida por simple evacuación del aire del contenedor o envase, reduciéndose la cantidad de oxígeno disponible en la atmósfera que está en contacto con el producto. Sin embargo, debido al proceso de respiración, la pequeña cantidad de oxígeno es rápidamente consumida y se traduce a CO₂. Mediante este sistema, es posible retardar el oscurecimiento enzimático de frutas y hortalizas cortadas, aunque la exposición del producto por largo tiempo puede inducir anaerobiosis (Gorris y Peppelenbos, 1992; Kader, 2000). El envasado al vacío es utilizado comercialmente en algunos vegetales como cebolla, repollo, pimiento, lechuga, apio entre otros. Sin embargo, su uso es más limitado en frutos frescos cortados debido a la mayor susceptibilidad a la compresión a la que es sometido el producto, que favorece la pérdida de líquidos y el deterioro (González-Aguilar y Cuamea-Navarro, 2005).

5.4.2 Almacenamiento con Bajos y Altos niveles de Oxígeno

Una importante meta de algunos sistemas de envasado en atmósfera modificada es generar una atmósfera suficientemente baja de O₂ para influir en el metabolismo de los productos que han sido envasados y extender su vida comercial, sin embargo, hay que conocer el límite de tolerancia de cada producto para evitar la respiración anaeróbica y la consecuente producción de algunos metabolitos indeseables (etanol y acetaldehído), que afectan las características sensoriales del producto y causan el rechazo del consumidor (Kader, 2002).

Los bajos niveles de oxígeno, las condiciones hipobáricas o los niveles súper atmosféricos de O₂, pueden tener varios efectos en el producto. Pueden estimular, no presentar efecto alguno o reducir la tasa de respiración y producción de etileno, dependiendo del producto, estado de

madurez, tiempo de almacenamiento, concentración de O₂, temperatura y la concentración de otros gases como CO₂ y etileno (Kader y Ben-Yehoshua, 2000).

El oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, por lo que no es detectado por los humanos. Los niveles altos o súper atmosféricos de oxígeno pueden acelerar la combustión de algunos materiales, por lo que se debe tener mucho cuidado en la selección del empaque y sistema de flujo de gas para evitar fuentes de ignición al momento de la generación de un envasado con altas concentraciones de oxígeno.

5.4.3 Altos niveles de CO₂

El CO₂ es uno de los tres gases mas utilizados en el empaque de atmósferas modificadas que presentan acción directa y significativa sobre la actividad microbiana. Existen varias teorías para tratar de explicar este efecto, entre ellas está la que propone que éste gas causa una alteración de la membrana celular interfiriendo con el consumo y la absorción de nutrientes. Otra teoría propone que el CO₂ inhibe directamente las enzimas o disminuye la velocidad de reacción de las mismas, además se sugiere que éste gas penetra a través de la membrana celular cambiando el pH intracelular e interactúa directamente con las proteínas, cambiando sus propiedades fisicoquímicas. Los niveles requeridos para inhibir la cantidad microbiana dependen del tipo de microorganismo (Faber *et al.*, 2003). Por otro lado, generalmente se supone que el CO₂ afecta directamente la respiración y las vías metabólicas asociadas (Watkins, 2000); también se ha reportado que es inhibidor competitivo del etileno (Burg, 1967). Existen muy pocos reportes sobre los efectos de los altos niveles de CO₂ sobre el metabolismo de los vegetales en contraste con aquellos reportados sobre los bajos niveles de oxígeno en el empaque de atmósfera modificada (Watkins, 2000).

En productos mínimamente procesados la tolerancia del CO₂ puede diferir ampliamente dependiendo de la especie. En general puede observarse que los productos cortados tienen una mayor tolerancia al CO₂ que la observada en frutos enteros, con excepción de brócoli, espinaca y fresa que toleran mayores niveles de CO₂ en forma entera.

5.4.4 Almacenamiento Hipobárico

En este sistema, al igual que el envasado al vacío, los productos son envasados a presión y a temperaturas bajas y a humedad relativa alta. Las ventajas de ésta tecnología han sido descritas ampliamente en productos hortícolas desde hace varios años (Lougheed *et al.*, 1987). Las condiciones hipobáricas causan reducción en los niveles de oxígeno y en los niveles endógenos de otros gases como el CO₂ y el etileno, por lo que son biológicamente inactivos en la atmósfera alrededor del producto (Lougheed *et al.*, 1987). Este sistema también tiende a disminuir la humedad relativa, lo cual es peligroso dado que pueden generar desecación de los productos, por esto se debe mantener una humedad relativa alta en los envases (Burg, 1967).

La presión baja de oxígeno puede disminuir la senescencia de varias frutas y hortalizas y prolongar su vida de poscosecha, debido principalmente a la reducción en la respiración y en la síntesis y en la acción del etileno. Además, en este sistema todas las presiones parciales de varios gases incluyendo el de vapor de agua son reducidas, y la difusión de los diferentes gases dentro del tejido es acelerada hasta llegar al equilibrio (Watkins, 2000).

5.4.5 Empaque en atmósferas modificadas con gases nobles

La mayoría de los estudios realizados en el empaque de atmósfera modificada evalúa el efecto de bajos niveles de Oxígeno y altos niveles de CO₂. Sin embargo, hay gran interés en la utilización de gases nobles como

el Argón (Ar), Helio (He), Óxido nitroso (N₂O) y nitrógeno (N₂), en conjunto con las atmósferas modificadas y controladas para extender la vida de almacenamiento de productos hortofrutícolas frescos (Spencer, 1995; Mostardini y Piergiovanni, 2002). Recientemente las investigaciones se han concentrado en la evaluación del empaque en atmósfera modificada con la adición de otros gases y su efecto en la calidad de frutas y hortalizas cortadas. Entre los gases de interés estudiados se encuentran el Argón y el óxido nitroso (Gouble *et al.*, 1995).

5.5 TIPOS DE ENVASES UTILIZADOS EN EL PROCESAMIENTO DE LOS VEGETALES FRESCOS CORTADOS

En las sucesivas fases de manipulación, transporte y comercialización de hortalizas y frutas frescas, tanto enteras como cortadas, se plantean distintas necesidades y por tanto, distintos requisitos a los envases. Se dispone de diferentes tipos de envases en cuya fabricación se emplean materiales muy variados como madera, cartón, fibras naturales y materiales plásticos (González-Aguilar, 2005).

Los envases flexibles en forma de bolsa, sobre, saco, o similar son ampliamente utilizados para la comercialización en fresco de frutas y hortalizas, enteras o cortadas y para su conservación con tecnologías de atmósferas modificadas o envasado activo (González-Aguilar, 2005).

La permeabilidad al oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua para algunos polímeros de uso común se datan en la tabla 6.

Las principales familias de plásticos utilizados en la práctica son las poliolefinas, los polímeros estirénicos, polímeros vinílicos, los poliésteres y las poliamidas.

Tabla 6. Permeabilidad al oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua para algunos polímeros de uso común (González-Aguilar et al., 2005).

Polímero	O₂ cm³ mm/m² día atm (25°C, 75% HR)	CO₂ cm³ mm/m² día atm (25°C, 75% HR)	Vapor de agua g³ mm/m² día atm (38°C, 75% HR)
PEBD	196	984	0.4
PEAD	73	228	0.17
OPP	59	216	0.10
PVC	1.9	7.88	1.2
PS	100	300	4.0
PET	1.8	9.44	0.5
PA6	2.6	4.0	10
EVOH	0.02	0.016	3.1

5.5.1 Polietilenos

Constituyen sin duda los polímeros de mayor utilización práctica para el envasado de alimentos. Son termoplásticos no polares, con distintos grados de ramificación y por consiguiente, de cristalinidad. Se caracterizan todos ellos por ser una buena barrera a la humedad y mala barrera al oxígeno y los gases en general.

5.5.1.1 Polietileno de alta densidad (PEAD)

Es semitransparente, esencialmente no ramificado y el más rígido dentro de la familia. Su mayor peso molecular junto con su alta cristalinidad (60-80%), le confieren mejores propiedades como barrera a gases, aunque sigue siendo muy deficiente en este sentido y muy buena barrera para vapor de agua. La temperatura máxima de uso está alrededor de 95°C.

5.5.1.2 Polietileno de media densidad (PEMD)

Es más resistente, más rígido y menos permeable que el PEAD, se procesa de manera similar a éste, aunque a temperaturas ligeramente más elevadas y a menudo se utiliza como sustituto cuando se requiere mejorar algunas propiedades mecanotérmicas.

5.5.1.3 Polietileno de baja densidad (PEBD)

Es el de mayor utilización práctica por su facilidad de procesado. Se puede transformar prácticamente por medio de todas las tecnologías, siendo su mayor aplicación en forma de película flexible, por su bajo coste y efectividad, con fácil soldadura térmica y elevadas propiedades barrera al vapor de agua, aunque muy bajas frente al oxígeno y otros gases. La temperatura mínima de uso oscila alrededor de los -50°C y la máxima sobre los 60°C , aunque en tiempos cortos puede ser mucho mayor.

5.5.2. Polipropilenos (PP)

Son similares a los polietilenos en muchos aspectos, pero tienen una estructura más compleja. Cuando se fabrica con la tecnología y las condiciones adecuadas dan lugar a estructuras cristalinas con alto grado de regularidad (PP isotáctico). Si existe un gran número de moléculas que no se conforman en esta distribución regular, el polímero resultante es blando y pegajoso y es solo útil como adhesivo con una densidad aproximada de 0.90 g/cm^3 , es el más ligero de los plásticos usados para envases. Las propiedades que han permitido extender su uso son su baja permeabilidad al vapor de agua, su resistencia y su bajo costo. Como barrera frente al oxígeno su efectividad es baja, aunque mejor que los polietilenos. Pueden obtenerse filmes orientados (OPP) que aumentan sus propiedades ópticas y disminuyen la permeabilidad a gases y vapores respecto a los no orientados (CPP), su temperatura de uso es de 110°C llegando en algunos casos a 145°C , lo que permite procesos de esterilización directa del producto envasado. Combinaciones de OPP y CPP o OPP y PEBD son una buena opción para el envasado de frutas y verduras cortadas mínimamente procesadas.

5.5.3. *Polímeros y copolímeros del estireno-poliestirenos (PS)*

Son termoplásticos de alto peso molecular. Se caracterizan por su dureza y rigidez, facilidad de fabricación por extrusión y moldeo por inyección y su baja densidad. Existe un gran número de plásticos comerciales basados en la química del estireno, desde homopolímeros hasta diferentes tipos de copolímeros como el poliestireno de alto impacto (HIPS o SB) o el poliestireno expandido (PES).

5.5.3.1 Poliestireno (PS)

El PS Cristal es el homopolímero de estireno no modificado, es un termoplástico amorfo, transparente, duro, frágil, con baja resistencia al calor (por debajo de 70°C) y propiedades barrera bajas, tanto a gases como a vapor de agua. Puede termoformarse a partir de láminas obtenidas por extrusión y moldearse por inyección, dando lugar a tarrinas y bandejas utilizables para el envasado de frutas y hortalizas.

5.5.3.2 Poliestireno de alto impacto (HIPS o SB)

Consta del homopolímero de estireno modificado con caucho, esta adición, mejora su resistencia al impacto, pero a costa de disminuir su transparencia, su temperatura de uso es de 75°C y por debajo de -40°C. Poseen menor permeabilidad al vapor de agua, una resistencia mucho mayor a la tesofisuración y una mayor estabilidad a la deformación por calor.

5.5.3.3 Poliestireno expandido (PES)

Contiene un agente de hinchamiento, que produce la expansión de los gránulos de poliestireno durante la extrusión, cuando se fabrican láminas para termoformar, o durante el moldeo, cuando se fabrican recipientes. Estos productos proporcionan un excelente aislamiento térmico

amortiguamiento para embalajes y ligereza. Sus propiedades de barrera son altas frente al vapor de agua y bajas frente a los gases

5.5.4. Cloruro de Polivinilo (PVC)

Este material se presenta tanto rígido como flexible, dependiendo de su formulación y de la adición de plastificantes. En las aplicaciones típicas se presenta como un material altamente transparente, inerte químicamente y con elevada resistencia. Sus propiedades barrera son moderadas tanto a gases como al vapor de agua. Su resistencia típica a la temperatura es aproximadamente 80°C, puede mejorarse con formulaciones que permiten incrementar su uso hasta temperaturas de 90°C. Su resistencia a bajas temperaturas puede llegar a menos de -20°C dependiendo de la formulación.

5.5.5. Poliésteres

Son una gran familia de plásticos usados para el envasado de alimentos. Son materiales que pueden presentarse tanto en forma amorfa como semicristalina dependiendo del tratamiento térmico y la adición de agentes nucleantes que facilita la cristalización. Tienen propiedades barrera moderadas tanto frente al vapor de agua como al oxígeno y se puede transformar por extrusión para fabricar filmes. Encuentra aplicación frecuente para envases de frutas y hortalizas en bolsa pero sobre todo en tarrinas y bandejas semirrígidas que aportan una excelente presentación comercial.

5.5.6 Poliamidas

Constituyen una gran familia de polímeros que se caracterizan por su buena tolerancia al calor, resistencia y ductilidad. La poliamida mas común es la PA6, es el polímero lineal de la caprolactama. Éstos se caracterizan por ser inertes y por su tendencia a la absorción de agua. Se pueden

utilizar en estructuras multicapa tanto como film como en el moldeo por extrusión-soplado. Su mayor atributo es su alta propiedad barrera frente a gases y su resistencia a las grasas.

5.5.7 Polímeros de alta barrera

Son aquellos polímeros que tienen una alta resistencia a la transmisión de gases. No existe un criterio normalizado para fijar una clasificación al respecto de la permeabilidad, aunque la práctica comercial toma la permeabilidad al oxígeno como base de ésta. Responden a éste criterio los copolímeros de policloruro de vinilideno (PVdC), las poliamidas aromáticas y los copolímeros de etileno-alcohol vinílico (EVOH), los más usados en la actualidad como materiales de alta barrera.

5.5.8 Biopolímeros

Son materiales biodegradables que poseen el objetivo primordial de contribuir a la disminución de los residuos provenientes de envases y embalajes. Hay dos grandes grupos de materiales: Los hidrófilos (no resistentes a la humedad) basados en el almidón y en proteínas y los hidrófobos (resistentes en ciertas condiciones a la humedad) basados en ácido poliláctico (PLA) y en poliésteres lineales. Estos biopolímeros son de particular interés para la conservación de frutas y hortalizas cortadas, ya que pueden ser utilizados directamente como recubrimientos con lo que se logra mejorar significativamente la calidad y la vida útil de algunos productos (González-Aguilar et al., 2005).

5.6 ANÁLISIS

5.6.1 Peso

La masa se define como la cantidad de materia de un cuerpo y el peso como la fuerza que actúa sobre un objeto como resultado de la gravedad. En la práctica, la masa de un alimento se determina por comparación entre la fuerza que éste ejerce con la fuerza ejercida por una masa conocida. Por esta razón erróneamente se hace referencia al peso de un objeto cuando en realidad se quiere referenciar su masa. El control del peso y masa es extremadamente importante en todas las operaciones de empaquetamiento y llenado, en donde el peso viene señalado en la etiqueta de los alimentos (Pinzón, 2000).

5.6.2 Respiración

Según Pantastico (1975), la respiración y la mayoría de los cambios fisicoquímicos que ocurren en las frutas cosechadas están relacionados con el metabolismo oxidante. Debido al vasto alcance de esta, la oxidación bioquímica esta relacionada con los estudios de cambios en calidad, trastornos fisiológicos, duración en almacenamiento, maduración, manejo de los productos y muchos de los tratamientos de posrecolección.

Rutas Metabólicas

En la respiración se encuentran 3 fases (a) la descomposición de polisacáridos en azúcares simples, (b) la oxidación de azúcares a ácido pirúvico y (c) la transformación aeróbica de piruvato y otros ácidos orgánicos en CO₂, agua y energía.

Medición de la Respiración

La cuantía de la respiración puede medirse determinando las pérdidas que experimenta el sustrato, la cantidad de O₂ admitida, y la cantidad de CO₂ expelida, de calor producido y de energía desarrollada. Por lo general en la práctica se recurre a la medición de CO₂ y del O₂ determinando, ya sea la tasa de utilización de O₂ o la de producción de CO₂.

- **Cociente Respiratorio:** Con las mediciones de CO₂ y O₂ es posible evaluar la naturaleza del proceso respiratorio. La proporción de CO₂ y O₂ es denominada cociente de respiración CR. Este es útil para deducir la naturaleza del sustrato usado en la respiración, lo completo de la reacción respiratoria y el grado en que el proceso es anaeróbico o aerobio. Sin embargo este proceso puede ser complejo debido a que en un periodo de tiempo dado, pueden respirarse sustancias de diferentes tipos.

Relación entre la tasa de Respiración y vida de almacenamiento

La tasa de respiración es un buen índice de longevidad del fruto después de cosechado. La intensidad respiratoria es considerada como una medida de la tasa en que se está realizando el metabolismo y como tal, con frecuencia se le considera como una indicación de la vida potencial de almacenamiento del fruto. De ordinario una tasa elevada de respiración va asociada con una corta vida en almacenamiento. También es indicadora

de la tasa a la cual el fruto se esta deteriorando en calidad y valor alimenticio.

Factores que afectan la respiración

De acuerdo con las condiciones y características que presenten los productos; existen de carácter interno y externo.

Factores de carácter interno

- Estado de Desarrollo: En el periodo de desarrollo de los órganos se representan variaciones en la tasa de respiración. Naturalmente, a medida que el fruto aumenta de tamaño, crece también las cantidades totales de CO₂ emitidas por el mismo, pero a medida que el fruto se vuelve voluminoso, la tasa de respiración, calculada sobre la base de peso unitario, decrece en forma continua. En las frutas climatéricas, esa tasa es mínima en la madurez y permanece más bien constante, aun después de la cosecha. Solo cuando va a efectuarse la maduración, la tasa de respiración asciende hasta el pico climatérico y luego declina de manera lenta. Las frutas no climatéricas maduran en la planta, si se les remueve antes de madurar, la tasa de respiración disminuye con lentitud.
- Composición química de tejido: La relación entre la tasa de respiración y la composición química varía según el producto que se considere. El azúcar esta relacionado con la actividad respiratoria, es por esta razón que el CR cociente respiratorio varía según el sustrato que se esté empleando, en general éste es menor que 1 cuando los sustratos son ácidos grasos, igual a 1 cuando es un azúcar y mayor que 1 para los ácidos orgánicos. La humedad también puede afectar a la respiración pues al aumentar el contenido de esta se incrementa seguidamente la actividad metabólica.

- Tamaño del producto: Al igual que en la transpiración pueden intervenir fenómenos de superficie, los tejidos de tamaño pequeño tienen expuesta una área superficial mayor a la atmósfera y por lo tanto, puede difundirse a su interior una mayor cantidad de O_2 .
- Cubiertas naturales: Es de esperarse que los productos que tienen una buena corteza muestren tasas de respiración bajas.
- Tipo de tejido: Los tejidos jóvenes que están metabolizando con toda la actividad, tienen una tasa de respiración mas elevada que los órganos quiescentes o latentes. La respiración puede variar también dentro de los órganos. La actividad es diferente en la corteza, la pulpa y la semilla.

Factores Externos

- Temperatura: Entre los 0 y 35°C, la tasa respiratoria de las frutas y hortalizas aumenta con una tasa de 2 a 2.5 por cada 10°C de aumento en la temperatura, sugiriendo con ello que los atacan tanto procesos biológicos como químicos. Arriba de 35°C, la tasa de respiración es la resultante del efecto favorable de la temperatura sobre la reactividad química y el efecto inhibitor de la temperatura elevada sobre la actividad enzimática. Sin embargo la disminución de la tasa de respiración a temperaturas elevadas también puede indicar que: (a) el O_2 no se difunde con rapidez suficiente para mantener la tasa de respiración; (b) el CO_2 se acumula en las células hasta un nivel que inhibe el metabolismo; (c) la provisión de alimento oxidable puede ser inadecuada para mantener una tasa de respiración elevada. Otro efecto de complicación de la temperatura se presenta en el equilibrio entre almidón y azúcares. En estas condiciones, se presentará una respiración mayor, ya que el contenido elevado de azúcar ocasiona una liberación rápida de CO_2 .

- Etileno: La aplicación de C_2H_4 afecta de manera significativa la escala de tiempo requerida para llegar al pico climatérico. En las frutas climatéricas, actúa solo para desviar el eje del tiempo, no alterando la forma de la curva respiratoria ni ocasionando cambio alguno en los constituyentes principales. En el grupo no climatérico, puede haber un estímulo en la respiración en cualquier momento de la vida del fruto cosechado, presentándose un incremento inmediato en la respiración después de la aplicación de C_2H_4 .
- Oxígeno disponible: La tasa de respiración aumenta en una proporción creciente de O_2 , sin embargo, cuando la concentración de O_2 es mayor del 20 %, la respiración solo se afecta ligeramente.
- Dióxido de carbono: La concentración apropiada de CO_2 prolonga la vida en almacenamiento de las frutas y hortalizas debido a la inhibición de la respiración.
- Reguladores de crecimiento: Algunos reguladores del crecimiento como la HM (Hidracina Maleica) pueden acelerar o inhibir la respiración, los efectos varían en los diferentes tejidos y depende de la época de aplicación y la cantidad que absorba la planta.
- Lesiones a los frutos: dependiendo de la variedad de los frutos y de la severidad de las magulladuras, la lesión puede estimular la respiración, probablemente debido al efecto indirecto del etileno.

5.6.3 Actividad de agua (a_w)

Los tejidos animales y vegetales contienen agua en diferentes concentraciones, distribuida de una manera compleja y heterogénea. El agua no solo contribuye a las propiedades reológicas y de textura de un alimento a través de su estado físico, sino que sus interacciones con los diferentes componentes también determinan el tipo de reacciones

químicas que se pueden suscitar en el alimento. El termino “actividad de agua” determina el grado de interacción del agua con los demás constituyentes de los alimentos, y es una medida indirecta del agua disponible para llevar a cabo las diferentes reacciones a las que están sujetos (Badui, 1981). Este factor se calcula mediante la ecuación (3):

$$a_w = \frac{p}{p^\circ} \quad (3)$$

Donde:

a_w = Actividad de agua

p = Presión de vapor del agua del alimento a temperatura T .

p° = Presión de vapor del agua pura a temperatura T .

Los microorganismos necesitan la presencia de agua en una forma disponible para crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas. Es por esto que dicha disponibilidad en un alimento determina la longevidad de éste y su inocuidad microbiológica para los consumidores.

5.6.4 Sólidos solubles (° Brix)

Los grados Brix miden la cantidad de sólidos solubles presentes en los alimentos expresados en porcentaje de sacarosa. Los sólidos solubles están compuestos por los azúcares, ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua presentes en los jugos de las células de una fruta o de un alimento (Camacho, 2002).

5.6.5 Humedad

El agua es una parte fundamental en la mayoría de los alimentos frescos constituyendo cerca del 70% de más del 90% de frutas y verduras. Puede decirse que en los tejidos animales o vegetales el agua existe en dos formas generales: agua libre y agua ligada. El agua libre o adsorbida, es la forma predominante en que se encuentra ésta en los tejidos, y ya que se libera con facilidad, es estimada en la mayor parte de los métodos usados para el cálculo del contenido de agua. El agua ligada por el contrario no actúa como disolvente de constituyentes como sales, azúcares y ácidos sino como parte de éstos, puede congelarse solo a temperaturas muy bajas, prácticamente no muestra presión de vapor y su densidad es mucho mayor que la del agua libre. Por todo lo anterior, la determinación de humedad de frutas y otros productos, expresa el porcentaje de agua libre ya que para determinar el porcentaje de agua total debe tenerse en cuenta el agua enlazada, la cual, no puede ser determinada por simple calentamiento (Charley, 1998).

Uno de los métodos mas utilizados para la determinación de la humedad de un alimento es el método de desecación con balanza infrarroja con aplicación de calefacción, basado en la determinación del porcentaje de humedad mediante el uso de una balanza acoplada a una fuente de rayos infrarrojos, que proporcionan el calor necesario para desecar la muestra. Existe una gran variedad de procesos y equipos de secado pero los más utilizados son los que emplean aire caliente y concretamente el secado por atomización (Hart *et al.*, 1991).

5.6.6 Acidez Titulable

El carácter ácido de las frutas y vegetales se debe a los ácidos orgánicos presentes en éstos en mayor o menor cantidad y muchas veces la relación de madurez en algunos frutos requiere la medición y expresión de la acidez en términos de porcentaje del ácido predominante. La acidez titulable se define como el porcentaje de peso de dichos ácidos y se determina por la titulación de los iones de ácido contenido en la muestra, utilizando una solución de hidróxido de sodio de concentración conocida. El cambio en la acidez puede detectarse visualmente empleando un indicador ácido-base apropiado tal como la fenolftaleína, la cual vira cuando el medio básico alcanza un pH de 8.3. También puede emplearse el método potenciométrico para verificar el punto final de la titulación (AOAC 1997). El porcentaje de acidez titulable puede calcularse aplicando la ecuación (4):

$$\% \text{ Acidez titulable} = \frac{A * B * C}{D} * 100 \quad (4)$$

A: Cantidad de mililitros de hidróxido de sodio usados

B: Normalidad del hidróxido de sodio

C: Peso equivalente expresado en gramos del ácido predominante del producto (Ácido oxálico)

D: Peso de la muestra en miligramos

5.6.7 Potencial de Hidrógeno (pH)

El término pH se trata de una medida de acidez o alcalinidad e indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Éste término se

define como el logaritmo de la concentración de iones hidrógeno, H^+ , cambiado de signo y se calcula mediante la ecuación (5) (Encarta 2005).

$$pH = -\log [H^+] \quad (5)$$

Donde:

pH= Potencial de Hidrógeno.

log= Logaritmo natural.

$[H^+]$ = Concentración de iones hidrógeno en moles por litro.

El pH es un factor determinante en la conservación de los alimentos ya que sus niveles afectan la conformación de las proteínas, el camino de síntesis enzimática y los productos de metabolismo, así como el crecimiento microbiológico.

5.6.8 Cenizas

Las cenizas de un alimento representan los residuos inorgánicos que permanecen luego de la destrucción de la materia orgánica (Pinzón, 2000). Estos residuos inorgánicos corresponden al contenido de minerales, que junto con las vitaminas son la contribución más importante de las frutas y los vegetales a la dieta humana, y sus contenidos van desde niveles de 0.1% en algunas variedades de manzana hasta 4.4% en algunas variedades de repollo (Kairus, 2002).

Los contenidos de minerales, al igual que los de vitaminas, presentan grandes diferencias entre especies, y para la misma especie, diferencias de acuerdo con la variedad, condiciones del clima, del suelo, prácticas de

fertilización de los cultivos, edad de la planta, e inclusive, localización del órgano en la planta.

5. 6. 9. Color

El color es una propiedad de la materia directamente relacionada con el espectro de luz y que por lo tanto se puede medir físicamente en términos de su energía radiante o intensidad y por su longitud de onda.

El color es muy importante, ya que es el primer contacto que se tiene con los alimentos. La mayoría de los alimentos, tanto en forma natural como procesada, tiene un color característico y bien definido, por el cual el consumidor los identifica. Los colores de muchos alimentos se deben a diferentes compuestos orgánicos que se encuentran distribuidos en forma abundante en muchos productos, principalmente de origen vegetal. Los cambios de color pueden deberse a procesos ya sea, de degradación o de síntesis o de ambos tipos. Las frutas y verduras son los productos que contienen la mayor concentración de pigmentos. Los más importantes de origen vegetal son las carotenoides (Badui, 1981).

La sensación que una persona experimenta al percibir el color influye sobre su reacción ante el alimento: puede rechazarlo o aceptarlo, pasando entonces a considerar la bondad de otras características. En términos formales, la importancia del color en el ámbito de la tecnología de alimentos radica en su condición de factor de calidad, o sea, de característica del alimento que influye en la aceptación del mismo por el consumidor y le permite a este establecer diferencias entre distintos productos que se presenten a su consideración. Su importancia tecnológica reside en la posibilidad de usar el color como índice de

transformaciones naturales de los alimentos frescos o de cambios ocurridos en el proceso industrial.

El color es un resultado de la luz irradiando un objeto que luego es percibido por un observador. Cuando la luz alcanza un objeto, los pigmentos en la superficie de este absorben algunas longitudes de onda y reflejan otras. Cuando estas longitudes de onda reflejadas son percibidas por un observador, el cerebro asimila la composición exclusiva de longitudes de onda como un color específico. Pueden ser definidos tres atributos del color:

- Su claridad y brillo o valor: Cantidad de claridad en el color, va de negro pasando por gris a blanco.
- Su croma o saturación: Cuanta intensidad o debilidad del color.
- Su tonalidad: En el punto donde el color reside en el espectro visible (rojo, verde, amarillo, o azul y así sucesivamente).

En el año 1971 la CIE (Comisión Internacional de iluminación) propuso un nuevo espacio cromático por transformaciones no lineales del sistema CIE 1931, al que se denomina CIELAB. En este nuevo sistema se define un espacio en coordenadas rectangulares (L^* , a^* , b^*) junto con otro en coordenadas cilíndricas (L^* , h^* , c^*). Las coordenadas h^* y c^* se pueden determinar mediante las ecuaciones (6) y (7)

$$h^*_{ab} = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (6)$$

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (7)$$

Los modelos de color de la CIE utilizan estas coordenadas para localizar un color en el círculo cromático de color. (Figura 6)

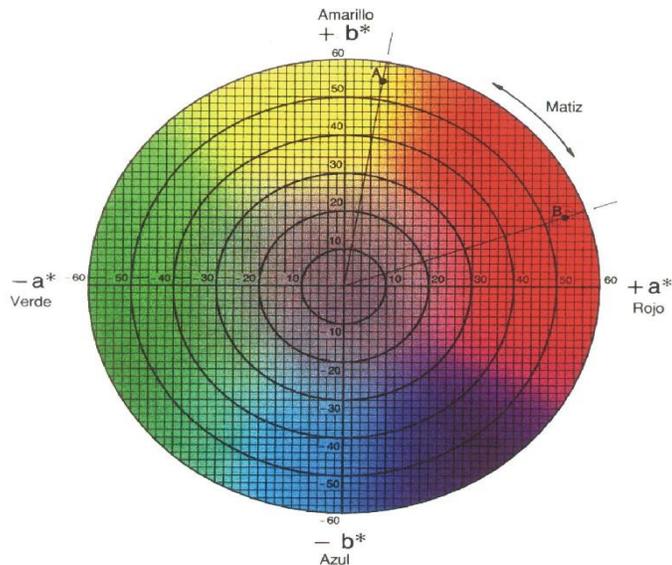


Figura 6. Circulo cromático de color

Los parámetros o valores cromáticos son: L^* Eje vertical que presenta la luminosidad del color, teniendo en la parte inferior el negro que tiene un valor de cero, y en la superior el blanco con un valor de 100, a^* Tendencia del verde (-) al rojo (+) o eje x, b^* tendencia del azul (-) al amarillo (+) o eje y, c^* indica el croma y es la distancia del centro al punto en cuestión. Y h^* es el ángulo de matriz, es una medida angular (Correa, 2002).

5.6.10 Textura

Según la ISO 5495 (1992), la textura se define como todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado, visuales y auditivos. Por todo lo anterior, es posible afirmar que la textura de un alimento trata de la percepción, haciéndola por encima de cualquier proceso mecánico una experiencia humana. En comparación con el aparato sensitivo del cuerpo humano, los dispositivos de medida

instrumental se basan en transductores que convierten las medidas materiales y físicas en salidas visuales o eléctricas. La instrumentación depende del tipo de ensayo a llevar a cabo, pero para un ensayo mecánico, a menudo involucra indicadores de tensión y celdas de carga para medir las fuerzas y la posición o detectores de movimiento. Los buenos transductores normalmente presentan una respuesta lineal que, mediante calibración con patrones, pueden representar características físicas definidas en términos de unidades absolutas (Rosenthal, 2001).

Las frutas y hortalizas son derivados de organismos vivos por lo que están formados por células y cada célula, de protoplasto vivo limitado por una membrana semipermeable, un núcleo y organelos que cumplen funciones específicas dentro de ésta. Una de las características que definen el reino vegetal es que además de membrana, tienen pared celular rígida que delimita el plasmalema. La pared está compuesta de fibras de celulosa, y hemicelulosa en una matriz de agua y pectinas. Estas últimas son las encargadas de cementar las paredes celulares vecinas y en conjunto con la presión de turgencia dentro de las células individuales, son las que definen el mantenimiento del tejido. La estructura de dichas células es uno de los factores que contribuye a la característica de textura de un alimento. El modelo de rotura del alimento a medida que se muerde, así como el tamaño, forma y composición de las partículas producidas por la masticación son responsables de la textura del alimento que se percibe en la boca (Christiansen, 1984).

Parte del objetivo del procesado de los alimentos consiste en mantener las características de la estructura inicial del material vegetal a través de los procesos tales como la fritura, empaque y procesos térmicos. En frutas y hortalizas, la textura se mide con dos propósitos principales: (1) para determinar la madurez de los cultivos con el objeto de predecir la fecha óptima de cosecha y (2) para determinar la calidad del producto

procesado. Algunos de los métodos de ensayo se describen a continuación:

Penetrómetros

Los penetrómetros se han utilizado ampliamente para medir la textura de frutas como manzanas, duraznos y cerezas. Su principio se basa en la obtención de la presión requerida para penetrar los frutos.

Ensayos de Cizalla

La prensa de cizalla Kramer se desarrolló para ensayar guisantes pero ha sido extensamente utilizada en los ensayos de textura de muchas frutas y hortalizas. Consiste en un sistema de compresión en cizalla multicuchilla diseñado para producir una acción similar al tenderómetro Pea, su antecesor, que consistía en un enrejado de cuchillas que giraban a velocidad constante a través de un segundo enrejado de cuchillas y reportaban la fuerza máxima con un cursor.

Los ensayos de cizalla se han utilizado ampliamente para medir la maduración de la fruta y el cocinado de verduras ya que cuando el fruto madura el contenido de pectina cambia lentamente en comparación con un fruto no maduro resultando un enlace célula-célula más débil, de tal forma que las células se deslizan una a través de la otra en lugar de fracturarse resultando una fuerza de cizalla menor que en el fruto sin madurar.

Ensayos de Extrusión

El sistema de medición de textura Ottawa se desarrolló como un sustituto del tenderómetro Pea. La muestra es extraída siendo empujada a través de un enrejado de alambres gruesos en el fondo de la celda de ensayo. También se conoce la celda de retroextrusión, que consiste en un pistón funcionando en un cilindro sin salida con una abertura libre de obstáculos entre el pistón y el cilindro, a través de la cual se fuerza a retroceder la muestra comprimida.

5.6.11. Compuestos Volátiles

El aroma característico de determinada fruta o vegetal esta definido por la sensación olfatoria producida por los constituyentes volátiles presentes. Estos se encuentran distribuidos, usualmente, en todos los tejidos; sin embargo, en algunas especies se encuentran concentrados en sacos o alvéolos, constituyendo los aceites esenciales, como ocurre en la cáscara de las frutas cítricas.

Los compuestos volátiles son ésteres, ácidos, alcoholes, aldehídos y cetonas, muchos de ellos derivados de hidrocarburos terpenoides, de alcoholes y de ácidos alifáticos de bajo peso molecular. Cada especie vegetal posee una determinada cantidad de compuestos volátiles en cantidades definidas y constantes, de tal manera que hacen posible la identificación de la especie por métodos sensoriales.

El contenido de volátiles presentes en la frutas es muy superior al de los vegetales; estos últimos parecen ser especialmente escasos en ésteres. (Kariuz, 2002).

Los olores desempeñan un papel muy importante en los alimentos. Sin embargo su identificación y las fuentes de las que provienen son muy complejas y aun se desconocen muchos aspectos de este campo; es decir, el estudio del olor de una frutas puede resultar complicada ya que los compuestos responsables no están uniformemente distribuidos a través del cuerpo del fruto y además algunas sustancias existen en el fruto pero otras se desarrollan en el momento de consumirlo. Cabe mencionar que existen frutos que contienen compuestos precursores de olor, que requieren de un tratamiento térmico o enzimático que los desdoble o modifique, induciendo de esta forma la producción de compuestos odoríferos. El proceso biosintético de formación de olores se presenta principalmente en frutos climatéricos y esta ausente en frutos no climatéricos. Los frutos climatéricos no tienen olor al momento de la cosecha, sino que lo desarrollan durante el periodo de maduración o postcosecha, que va paralelo al aumento de respiración (Badui, 1981).

Cualquiera que sea la naturaleza de los compuestos volátiles que se desprenden de un fruto, el hecho es que son emitidos en cantidades notorias, solo cuando empieza su maduración, aunque el grado de madurez es el factor fisiológico principal que influye en la formación de volátiles, la composición del aroma también es muy afectada por las condiciones ambientales existentes durante la maduración, temperaturas menores a 10°C reduce en forma marcada la producción total de volátiles. El tratamiento con etileno (C_2H_4), que acelera el proceso metabólico normal de la maduración y madurez, tiene un efecto favorable sobre el aroma, formándose más ésteres, en especial etil acetato. La sucesión diaria de temperaturas del día y la noche tiene gran influencia sobre el volumen y composición de los volátiles (Pantastico, 1975).

5.6.12 Azúcares y Ácidos no volátiles:

Durante la etapa de maduración, que ocurre bien sea estando el fruto en la planta madre o después de ser cosechado, en el almacenamiento, conocido como postcosecha, se presentan numerosos cambios. Entre los más importantes se cuentan la disminución del contenido de almidón, el cual se hidroliza y da lugar al aumento en el contenido de azúcares y por ende al desarrollo de la dulzura del fruto; la disminución de los ácidos, los cuales se transforman en los compuestos volátiles que constituyen el aroma al aumentar los azúcares y disminuir los ácidos la relación azúcar /acidez que presenta gran importancia en el sabor de las frutas y sus derivados se incrementa gradualmente.

Carbohidratos

Los carbohidratos son los constituyentes más abundantes; comprenden fundamentalmente azúcares -mono y disacáridos- y polisacáridos.

La actividad metabólica de la planta da lugar a constantes variaciones en la proporción de los diferentes carbohidratos entre sí, especialmente en la relación almidón / azúcares y en la relación entre los diferentes azúcares.

Los azúcares son los responsables del sabor dulce de las frutas maduras y de los vegetales frescos. Abundan principalmente la sacarosa y los azúcares reductores glucosa y fructosa.

La relación sacarosa / azúcares reductores varía ampliamente de acuerdo con el estado de madurez y con la especie en consideración, entre otras razones porque el pH y el nivel de acidez varían también con el estado de madurez y con la especie; otro factor que afecta esta relación es la región de cultivo lo que implica la consideración de todos los factores climáticos.

Durante la etapa de maduración de las frutas se produce, generalmente, hidrólisis o "inversión" de la sacarosa a azúcares reductores; sin embargo, se presentan casos en los que al final de la maduración ocurre resíntesis del disacárido a partir de los azúcares reductores.

Además de los azúcares mencionados, en los vegetales y frutas existen trazas de otros mono y disacáridos tales como xilosa, arabinosa, maltosa, galactosa y manosa.

Ácidos no volátiles

El carácter ácido de las frutas y vegetales se debe a los ácidos orgánicos presentes en mayor o menor cantidad. Durante el curso de los procesos metabólicos de desarrollo de las plantas, se forman varios ácidos orgánicos; por ejemplo, la degradación de los carbohidratos que ocurre durante la respiración, da lugar a los diferentes ácidos del ciclo de Krebs, de los cuales los más abundantes son el cítrico y el málico. Después, a través de las fases de maduración y senescencia, este contenido de ácidos sufre permanentes variaciones; un ejemplo muy ilustrativo de este hecho es el de las frutas, que durante el proceso de maduración presentan una disminución gradual de su acidez.

El rango de pH en las frutas maduras va desde 2.4 para el limón hasta un poco más de 5.0 para el banano; en los vegetales, que presentan niveles más altos de pH, este rango está comprendido entre 5.0 y 7.0.

Otros ácidos que se presentan en buenas cantidades son el oxálico y el tartárico, en pequeñas cantidades están también presentes en las frutas y vegetales los ácidos quínico y shikínico y en algunos casos aislados, otros como el succínico, fumárico, láctico, pirínico y benzoico (Kariuz, 2002).

5.6.13 Pardeamiento Enzimático

El color café que se forma cuando se exponen al aire las superficies cortadas o maltratadas de frutas, verduras y mariscos, se conoce como *pardeamiento enzimático* porque las reacciones iniciales que intervienen en este fenómeno están catalizadas por enzimas. La enzima que inicia el pardeamiento tiene varios nombres comunes, entre otros: fenolasa, fenoloxidasas, tirosinasa, polifenoloxidasas y catecolasa. Estas oxidasas se encuentran presentes tanto en plantas como en animales (Miller, 2002).

La peroxidasa y la polifenoloxidasas son enzimas que están implicadas en los procesos que conducen al desarrollo de las características organolépticas que determinan la calidad de las frutas (Carballo, 1989).

La POD es una oxidasas que presenta gran actividad en los tejidos vegetales, interviene en la síntesis del etileno y por tanto participa en el control de la actividad respiratoria, en la madurez y senescencia y en los cambios asociados a ella. Desde el punto de vista de la fisiología del fruto, diferentes autores relacionan la actividad enzimática POD con el desarrollo de aromas extraños durante el almacenamiento, cambios de color y pérdida de ácido ascórbico.

La enzima PPO es también una oxidasas que participa en la cadena respiratoria, aunque su papel como oxidasas terminal no está claro. Es más importante el papel que juega en la resistencia de los tejidos vegetales a los ataques microbianos, infección viral y a las temperaturas adversas. Debido a la acción oxidativa de PPO sobre diferentes sustratos que originan compuestos secundarios que actúan como barrera en las vías de difusión de la infección.

En cuanto a la fisiología del fruto la actividad PPO esta directamente relacionada con el pardeamiento enzimático, debido a que es una de las enzimas que catalizan la oxidación de los diferentes compuestos fenólicos transformándolos en sus derivados quinólicos que originan productos de color pardo responsables del color oscuro (Hernandez *et al.*, 1997).

La actividad POD, determinada espectrofotométricamente a 485 nm, se basa en la reacción de oxidación del peróxido de hidrógeno con el guayacol, donante de hidrógeno, en presencia de la enzima contenida en el extracto analizado. De igual forma, la actividad PPO se determina espectrofotométricamente a 420 nm, usando la reacción de oxidación catalítica del catecol en presencia de la enzima contenida en el extracto en estudio (MacDonald *et al.*, 2000).

- Cinética Enzimática: Las velocidades de las reacciones catalizadas por enzimas específicas se llaman *actividades enzimáticas*. Las actividades enzimáticas pueden determinarse midiendo la velocidad de desaparición de los sustratos o la velocidad de aparición de los productos. Por lo tanto, estas enzimas, podrían analizarse si se mide la absorción de oxígeno, la desaparición de compuestos fenólicos, la formación del color café o la formación de un intermediario en la reacción.

La actividad casi siempre se expresa como la rapidez o la velocidad de la reacción catalizada por la enzima. La rapidez y la velocidad son en realidad lo mismo, pero se expresan en diferentes unidades. Las actividades enzimáticas se determinan por análisis con enzimas, en los que la enzima y sus sustratos se mezclan y el progreso de la reacción se registra a lo largo del tiempo. Cuando hay sustrato presente en exceso y la temperatura y el pH están controlados en forma adecuada, la velocidad es proporcional a la concentración de enzima, es decir, cuanto mayor es la concentración de enzima, tanto más rápida es la reacción.

La *rapidez*, es el cambio en la absorbancia de la mezcla que se analiza por unidad de tiempo, es decir, es igual a la pendiente de la parte lineal de una gráfica que represente la absorbancia en relación con el tiempo. La rapidez de reacción depende de la concentración de sustrato y ésta se reduce con el tiempo. La *velocidad*, se define como el cambio en concentración de un reactivo o producto con el tiempo. La absorbancia está relacionada con la concentración por la ley de Beer-Lambert. $A = \Sigma bc$ (Miller, 2003).

5.6.14 Análisis microbiológico

La microbiología es el estudio de los organismos vivos de tamaño microscópico. Son varios grupos distintos de microorganismos los que componen el mundo microbiano. La mayoría de los microorganismos son unicelulares y puede considerárseles colectivamente como protistas. Probablemente sea la temperatura el más importante de los factores ambientales que afectan a la viabilidad y el desarrollo microbianos. Aunque el crecimiento microbiano es posible entre alrededor de -8 hasta +90°C, el rango de temperatura que permite el desarrollo de un determinado microorganismo rara vez excede de los 35°C. Dentro de éste rango, la temperatura afecta a la longitud de la fase de latencia, a la velocidad de crecimiento, al número final de células, a las necesidades nutritivas y a la composición química y enzimática de las células. El crecimiento bacteriano en un ambiente favorable suele tener lugar como se indica en la figura 7.

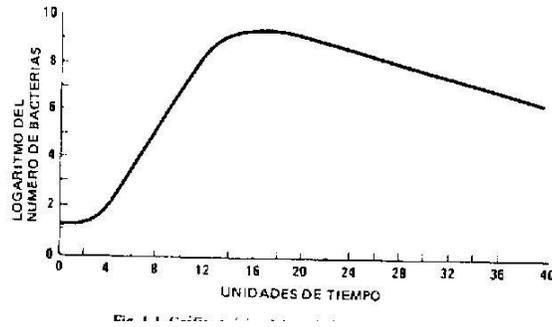


Figura 7. Gráfica teórica del crecimiento bacteriano. (Silliker, *et al.* 1980)

Tras un periodo de ajuste al ambiente (*fase de latencia*) comienza el crecimiento que se acelera hasta alcanzar una etapa de multiplicación rápida y constante, de crecimiento exponencial, denominada *fase logarítmica*. La disminución de nutrientes y el acumulo de metabolitos tóxicos termina frenando la velocidad de crecimiento hasta que alcanza un punto en que muertes y divisiones celulares se igualan, permaneciendo así la población constante durante un periodo al que se conoce como *fase estacionaria* y posteriormente sigue el decrecimiento y muerte de los microorganismos.

En atención a sus rangos de temperatura de crecimiento, pueden distinguirse cuatro grupos fisiológicos fundamentales de bacterias: termófilas, mesófilas, psicrófilas y psicrotrofas. Los microorganismos mesófilos, muchos de los que alteran los alimentos prefieren temperaturas moderadas; ofrecen un óptimo que generalmente se encuentra entre los 30 y 45°C y una temperatura mínima de crecimiento que suele hallarse entre 5 y 10°C. En los termófilos la totalidad de la gráfica que relaciona el crecimiento con la temperatura se halla en temperaturas entre los 55 y 65°C. Los psicrófilos son aquellos que hallan su temperatura óptima de crecimiento por debajo de los 15°C con un máximo de 20°C. A los microorganismos capaces de crecer en la proximidades de 0°C, pero que no reúnen los requisitos de temperaturas óptima y máxima para su

sanitarias bajo las cuales se ha elaborado y la eficacia del método usado para su conservación. Para ayudar a tener certeza de que los alimentos son sanos y poseen la calidad requerida, se han establecido agencias internacionales, federales, estatales y privadas, para exigir y controlar los estándares, normativas e inspección de los alimentos (Pelczar, 1984).

6. METODOLOGÍA

6.1 MATERIALES

El proyecto de investigación se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Investigaciones en Postcosecha (LIP) ubicado en la Universidad del Quindío (Colombia) a 640 msnm y una temperatura promedio de 18°C-23°C.

Los frutos de carambolo (*Averrhoa carambola L.*), necesarios para esta investigación se obtuvieron de los Almacenes Ley en la ciudad de Armenia, Quindío los cuales son provistos por la distribuidora FRUVER cuyos cultivos están ubicados en la ciudad de Palmira, Valle a 1001 msnm, 23°C de Temperatura y 75% de Humedad Relativa.

Se utilizaron frutos en estado de maduración 5 según la Tabla de color establecida por García y Mejía (2004).

Para los estudios de almacenamiento se analizó la evolución de las características fisicoquímicas, enzimáticas y microbiológicas de rodajas de carambolo fresco cortado con espesor de 0,5 cm. a diferentes tiempos (0, 7, 14, 21, 28 días) empacadas en atmósfera modificada, utilizando MAPAX 210: CO₂ 5 -40% Molar, O₂ 5 – 25 %Molar, N₂ Balance (AGA, 02006), en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) de 70 micras debido a sus características aplicables al empaque de frutas y a su relación costo-efectividad, suministradas y recomendadas gentilmente por la fundación INTAL (Medellín, Colombia), almacenadas bajo atmósfera controlada de 7°C y 90% de humedad relativa. Alternativamente se analizó el comportamiento de dichas rodajas empacadas a granel y en vacío a

una presión de -17.6 psi, empleando en ambos casos atmósfera controlada de 7°C y 90% de humedad relativa.

6.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un análisis de varianza utilizando el programa Statgraphics plus versión 5.1 estudiando cada una de las variables dependientes (Peso, tasa de respiración, actividad de agua, °Brix, % humedad, acidez titulable, pH, cenizas, color, textura, perfil aromático, contenido de azúcares y de ácidos orgánicos no volátiles, actividad enzimática y recuentos microbiológicos) con respecto a las variables independientes (tipo y tiempo de almacenamiento). El diseño experimental es un diseño factorial con dos factores 3 * 5 con un nivel de significación de 0.05. La prueba de comparación utilizada fue el método de la mínima diferencia significativa (LSD).

Factores.

A: Tipo de Almacenamiento (1 Granel, 2 Vacío, 3 Atmósfera modificada 10% MAPAX)

B: Tiempo (día 0, 7, 14, 21 y 28)

Modelo Matemático

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + \beta_j + (t\beta)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

i = Tipo de almacenamiento (1,2,3)

j = Tiempo de almacenamiento (0,7,14,21,28)

k = 1,2,3

Y_{ijk} = Obsevación ijk de la variable de respuesta.

μ = Media general

t_i = Efecto del tipo de empaque

Nivel 1: Empaque a granel

Nivel 2: Empaque a vacío

Nivel 3: Empaque en atmósfera modificada

β_j = Efecto del tiempo de almacenamiento

Nivel 1: 0 Días

Nivel 2: 7 Días

Nivel 3: 14 Días

Nivel 4: 21 Días

Nivel 5: 28 Días

$(t\beta)_{ij}$ = Interacción entre el tipo de empaque y el tiempo de almacenamiento

E_{ijk} = Efecto de error aleatorio

6.2.1 Hipótesis

H₀= El método de empaque en atmósfera modificada es más efectivo en la conservación de las propiedades fisicoquímicas, enzimáticas y microbiológicas de las rodajas de carambolo fresco cortado en comparación con el empaque a vacío y granel.

H_A= El método de empaque a vacío es más efectivo en la conservación de las propiedades fisicoquímicas, enzimáticas y microbiológicas de las rodajas de carambolo fresco cortado en comparación con el empaque en atmósfera modificada y granel.

6.3 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Los frutos de carambolo fresco, *Averrhoa carambola* L obtenidos de los almacenes Ley Armenia, en un estado de madurez de 5 según la tabla de color de García y Mejía (2004) se trasladaron al laboratorio de Investigaciones en Postcosecha de la Universidad del Quindío, donde se refrigeraron y procesaron.

Ya que la característica principal del fruto de carambolo es que su corte transversal tiene forma de estrella bien definida (característica principal de esta especie en el mercado), se decidió utilizar dicho corte para los análisis. Se hicieron ensayos para definir el espesor de las rodajas con el que se trabajó durante el tiempo de análisis los cuales fueron de 3, 5 y 7

milímetros buscando como parámetro de selección la presentación del producto en las bolsas de almacenamiento y su aceptación visual.

El fruto limpio se lavó por inmersión en una solución de 200 ppm de hipoclorito de sodio, y luego se cortó con un cuchillo filoso de acero inoxidable en rodajas de 0.5 cm. de espesor, eliminando las puntas del fruto. Posteriormente, el producto se sometió a otro lavado con 200 ppm de hipoclorito de sodio, y se trató con una solución de Cloruro de calcio al 2% como texturizante, como antioxidante se empleó una solución de 500 ppm de ácido ascórbico y como preservante una solución de 1000 ppm de ácido cítrico. Posteriormente se escurrió, se pesó (aproximadamente 250 g/bolsa) y se empacó en bolsas de PEBD de 70 μm de espesor a las cuales se les modificó la atmósfera (vacío y atmósfera de mezcla de MAPAX). Todas las muestras se almacenaron a 7°C y 90 +/- 5 % de humedad relativa (HR). Se realizó un seguimiento del carambolo fresco cortado almacenado en bolsas sin modificación de la atmósfera y bajo refrigeración, denominado almacenamiento a granel, como muestras testigo.

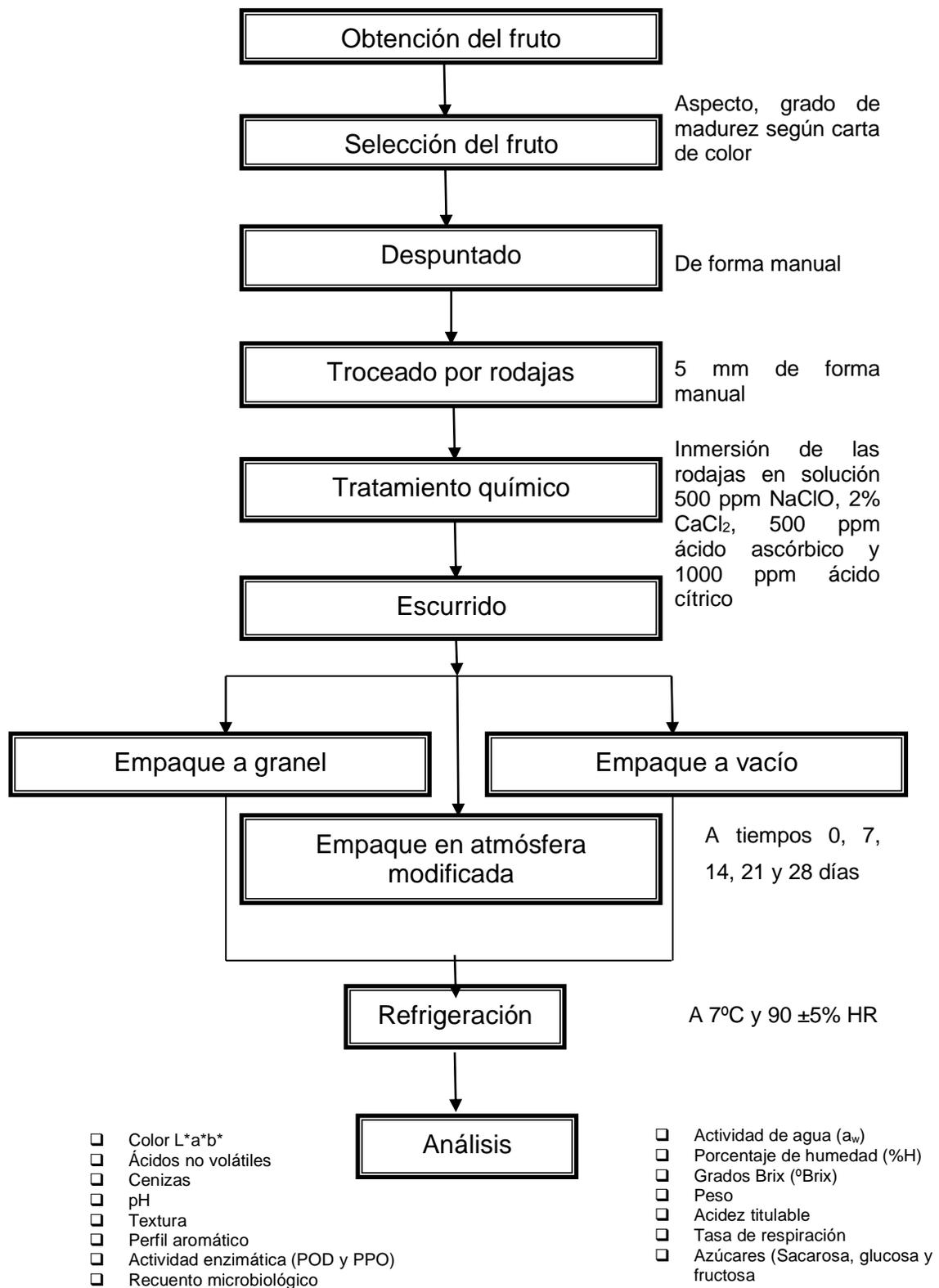


Figura 8. Diagrama de flujo. Empaque del carambolo fresco cortado

6.4 ANÁLISIS PARA RODAJAS FRESCAS CORTADAS DE CARAMBOLO

A cada una de las muestras se le realizó un seguimiento con el fin de observar su proceso de deterioro, para este fin se determinó a cada muestra por triplicado:

Peso, tasa de respiración, actividad de agua, °Brix, % humedad, acidez titulable, pH, cenizas, color, textura, perfil aromático, contenido de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) y de ácidos orgánicos no volátiles (ácido oxálico y ácido ascórbico), actividad enzimática: polifenoloxidasas (PPO) y peroxidasa (POD); y análisis microbiológico: recuento de mesófilos, psicrófilos, hongos y levaduras, y esporas Clostridium.

El estudio de la evaluación de las rodajas de carambolo en cada una de las condiciones se hizo cada 7 días durante un periodo de 28 días.

Una vez encontrados los parámetros óptimos en las etapas anteriores se determinó el tiempo máximo de almacenamiento del producto, sin que se perdieran o deterioraran sus características físicas, químicas y organolépticas para el consumo.

6.4.1 DETERMINACIONES FISICOQUÍMICAS

6.4.1.1 Peso

Después de obtener los trozos de fruta con la geometría adecuada, se empacaron en una bolsa y se pesaron en una balanza analítica marca Precisa Modelo 40SM_ 200^a, con sensibilidad de ± 0.00001 (Figura 9). (Pinzón, 2000)



Figura 9. Balanza Analítica Precisa modelo 40 SM-200^a

6.4.1.2 Tasa de respiración

Se pesaron las rodajas de carambolo (1 bolsa de 180 gramos aprox.) en una balanza, estos se introdujeron dentro de una cámara de respiración, la

cual se cerró herméticamente. Se suministró aire libre de CO_2 por dos o tres minutos, el cual circuló a través de la trampa de KOH y luego a través de la cámara de respiración.

Después de transcurridos los 3 min, se suspendió el paso de aire y se cerró temporalmente la salida de la cámara de respiración con una pinza Hofmann.

Un tubo Pettekofer se llenó con hidróxido de bario 0.1N, se encendió el motor de aire, se retiró la pinza hofmann y se permitió el paso de aire a través de la cámara de respiración durante 1 hora (Figura 10). Luego se suspendió el paso de aire a la cámara de respiración, y se tomó una alícuota del $\text{Ba}(\text{OH})_2$ contenido en el tubo Pettekofer, que se tituló con ácido Oxálico 0.1N y 2 – 3 gotas de fenolftaleína como indicador, hasta la desaparición del color rosa (Gallo, 1997).

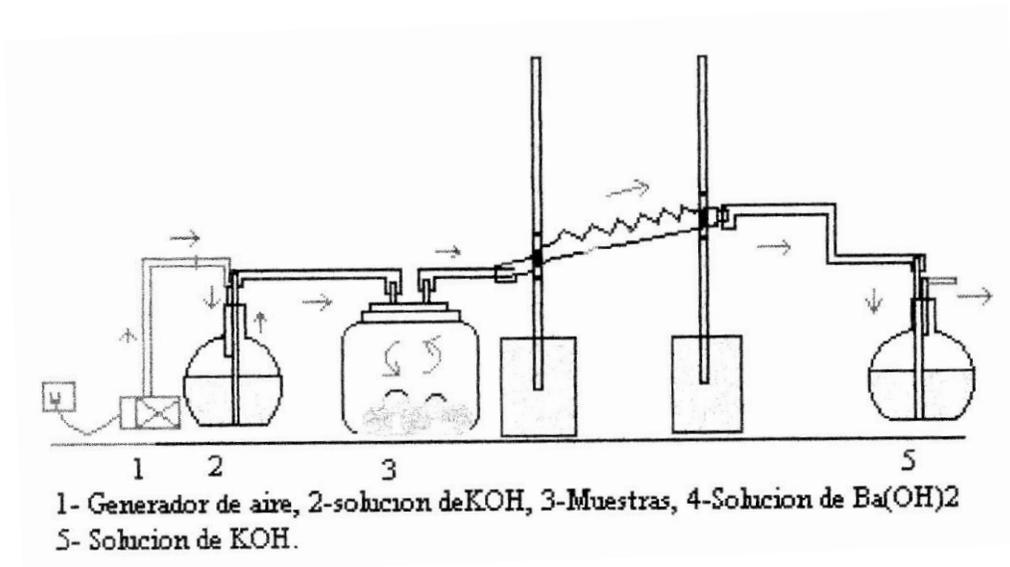


Figura 10. Montaje para realizar la curva de respiración

$$I.R. = \frac{N(V_b - V_a)M_e CO_2}{m_m t}$$

I.R: Intensidad Respiratoria (mg CO₂) / kg, h

N: Normalidad del ácido oxálico

V_b: Volumen de ácido oxálico gastado en la titulación del blanco

V_a: Volumen de ácido oxálico gastado en la titulación de la muestra

M_e (CO₂): M_r (CO₂)/2

m_m: Masa de frutos

t: Tiempo de paso de la atmósfera de respiración a través del Ba(OH)₂.

6.4.1.3 Actividad de agua (a_w).

Se calibró el equipo de marca DECAGON Pa_w Kit Water Activity Meter, mediante el uso de soluciones saturadas de sales de actividad de agua y con valores próximos a los esperados para las muestras. Para realizar las mediciones, se colocó la cápsula con la rodaja de carambolo en la cámara, se cerró y pulsó el botón de lectura. Una vez que el equipo alcanzó el equilibrio, se obtuvo el valor de actividad de agua a la temperatura de análisis. Las medidas se realizaron por triplicado (Pinzón, 2000).



Figura 11. DECAGON Pawkit Water Activity Meter

6.4.1.4 Sólidos solubles (°Brix)

El contenido de sólidos solubles se determinó por el método refractométrico y se expresó como porcentaje de sólidos solubles o °Brix. El equipo se calibró con agua destilada. Se colocó una muestra de pulpa de Carambolo sobre el prisma del refractómetro METTLER TOLEDO Refracto 30P, escala de 0 a 85 °Brix (figura 12) y se realizó la lectura por triplicado, de igual manera se efectuó para las muestras de cada tipo de almacenamiento y se obtuvo la medida de temperatura (Pinzón, 2000).



Figura 12. Refractómetro METTLER TOLEDO Portable Lab. TM

Especificaciones técnicas

Método: Ángulo de reflexión – D Na

Rango de medida: De 1.32 a 150

Precisión: 0.0005

Rango: De 0 – 85 °Brix

Rango de temperatura: De 10 – 40 °C

Marca: METTLER TOLEDO Portable Lab TM.

6.4.1.5 Humedad

Se utilizó una balanza de infrarrojo marca PRECISA 310M SWISS Quality Precisa Ha 300 (Figura 13), aplicando una temperatura de calefacción de 105 °C a presión atmosférica. En primer lugar se taró la balanza. Para ello se colocó el platillo de aluminio en la misma, se cerró la tapa del horno y se pulsó 1 vez TARE; hasta que apareció en pantalla el dato de temperatura programada y el peso.

Después se colocó una rodaja delgada de Carambolo fresco de manera que facilitara el secado de la misma. El equipo registró de forma automática la variación del peso de la rodaja que equivale a valores de humedad (g agua / 100 g muestra) considerando que todo el peso perdido correspondió a agua evaporada. Cuando el valor de la humedad apareció constante, la rodaja ya no puede perder más agua y ese valor corresponde a la humedad de la fruta (Pinzón, 2000).



Figura 13. Balanza de infrarrojo PRECISA 310M SWISS Quality Precisa Ha 300

6.4.1.6 Acidez titulable

Se pesaron 5 gramos de la muestra de carambolo macerado en un erlenmeyer y se agregaron 200 mililitros de agua destilada y 5 gotas de fenolftaleína etanólica al 1% como indicador. Se valoró con solución estándar de hidróxido de sodio hasta coloración rosa tenue constante.

$$\% \text{ Acidez titulable} = \frac{A * B * C}{D} * 100$$

A: Cantidad de mililitros de hidróxido de sodio usados

B: Normalidad del hidróxido de sodio

C: Peso equivalente expresado en gramos del ácido predominante del producto (ácido oxálico)

D: Peso de la muestra en miligramos

6.4.1.7 pH

Se utilizó un pH metro Metrohm 704 serie 01 con electrodos de platino pH 0 – 14/0 – 80 °C Pt 1000/b/2/3M de KCl y de penetración Metrohm 6.0226.100 pH 4 – 9/0 – 40 °C, para realizar una punción directa: se calibró con solución tampón de pH 4 y 7 marca Merck y se realizaron tres medidas en cada una de las rodajas (AOAC 981.12). (Figura 14)



Figura 14. pH metro de penetración Metrohm 6.0226. 100pH 4 – 9/0-40°C

6.4.1.8 Cenizas

Se introdujeron tres cápsulas vacías en una estufa a 105°C durante dos horas. Luego éstas se llevaron a un desecador y se pesaron a temperatura ambiente en una balanza analítica hasta peso constante. Se pesaron aproximadamente 15 gramos de muestra en cada cápsula y se introdujeron en una estufa a 105°C durante 6 horas. Se dejaron enfriar las cápsulas en el desecador y se volvieron a pesar en la misma balanza hasta peso constante.

Para obtener las cenizas, se utilizaron tres crisoles de porcelana previamente tarados, hasta obtener peso constante. En cada crisol se pesaron 2 gramos de la muestra deshidratada previamente y se incineraron las muestras en una mufla Furance 1300 Barnstead Thermolyne (figura 15) a 550°C por 6 horas o hasta no observarse residuos de carbono. La muestra finalmente es de color gris claro o blanco. Se pesaron los crisoles y se determinó el peso final de la muestra (Pinzón, 2000).

% de cenizas = peso del residuo x 100 / peso de la muestra húmeda



Figura 15. Mufla, Furnace 1300 Barnstead Thermolyne

6.4.1.9 Color

El color de cada una de las rodajas de Carambolo se midió por reflectancia utilizando un espectrocolorímetro marca Minolta CM-10, con observador 10° e iluminante D65, (Figura 16). Se midieron las coordenadas L^* , a^* , b^* en cada uno de los tres empaques alternativos analizados. Se reportaron las diferencias del color entre la materia prima como referencia y cada una de las muestras sometidas a atmósfera modificada (Pinzón, 2000).



Figura 16. Espectrocolorímetro portátil Minolta CM-10

6.4.1.10 Textura

Para el análisis de las propiedades mecánicas de rodajas de carambolo, se utilizó un Texturometro Stable Micro Systems; Modelo Texture Analyzer – XT plus (figura 17), en el cual se realizaron ensayos de extrusión utilizando la celda Kramer Shear Cell con el objetivo de estudiar parámetros de fuerza máxima de fractura (F_F) y área bajo la curva para observar el comportamiento de las rodajas de acuerdo a los diferentes tipos y tiempos de almacenamiento (Pinzón, 2000).

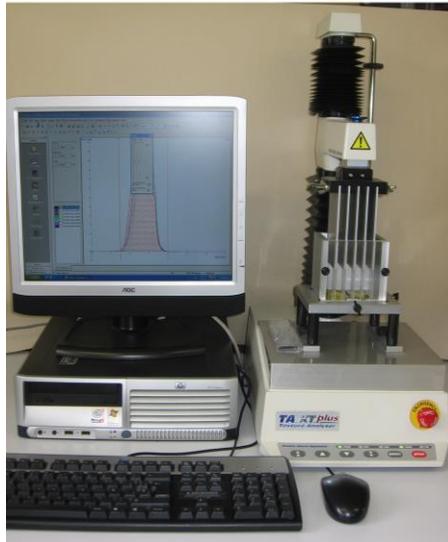


Figura 17. Texturometro Stable Micro Systems modelo Texture Analyzer– XT plus

Condiciones del texturómetro:

Modo de ensayo: Compresión

Velocidad pre- ensayo: 1,00 mm/sec

Velocidad de ensayo: 3,00mm/sec

Velocidad post-ensayo: 3,00 mm/sec

Modo objetivo: Distancia
Distancia: 10,000 mm
Tensión: 10,00 %
Tipo de disparo: Auto (Fuerza)
Fuerza de disparo: 5,0 g
Distancia de disparo: 2,000 mm
Modo de ruptura: Off
Sensibilidad de ruptura: 10,0 g
Detección de la ruptura: Stop
Detener la diagramación en: Posición inicial
Modo de tarado: Auto

6.4.1.11 Perfil aromático

La extracción de los constituyentes volátiles de las rodajas de carambolo fresco cortado se llevó a cabo con el método destilación – extracción simultánea empleando éter de petróleo - hexano en una proporción 1:1 como solventes. El esquema del proceso se muestra en la figura 18. Para éste análisis se tomaron 100 gramos de las rodajas de carambolo que se introdujeron en el balón A (ver la figura), un balón de tres bocas con desprendimientos esmerilados el cual fue calentado en una manta de calentamiento a una temperatura que no excedió los 40°C. El balón B (lado izquierdo de la figura) se llenó con 20 mililitros de la mezcla de solventes y se calentó en baño maría a una temperatura entre los 40°C y los 50°C. El tiempo de extracción fue de 1 hora durante el cual recirculó constantemente líquido refrigerante por los condensadores a una temperatura entre los 1°C – 4°C.

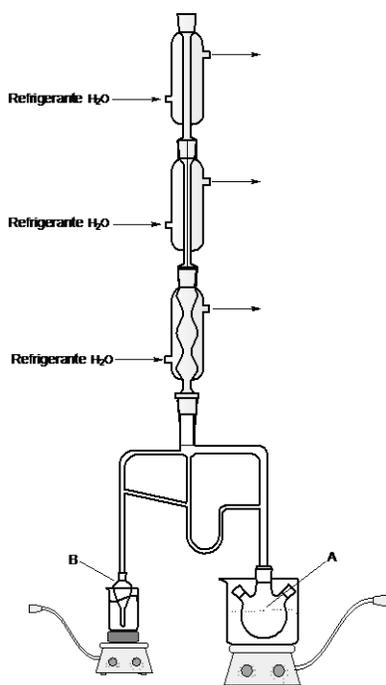


Figura 18. Equipo de Destilación – Extracción simultánea (D.E.S)

El extracto colectado en el balón B se secó con Sulfato de sodio anhidro (grado R.A, J.T BAKER), y se concentró en un rotaevaporador a una temperatura de 40°C en el baño y un vacío hasta 28°C de temperatura del vapor.

Los componentes volátiles responsables del aroma del carambolo durante su almacenamiento en atmósfera modificada se identificaron por cromatografía de gases con detector de ionización de llama (CG-FID) y cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas (CG-EM) (figura 19), previa extracción liquido-liquido (L-L) o por extracción destilación simultánea (DES) a 100 gramos de rodajas de carambolo fresco cortado (Mora, 2001).



Figura 19. Cromatógrafo de gases

Condiciones cromatograficas:

Número de lavados presolvente: 3

Número de lavados postsolvente: 5

Número de lavados con la muestra: 3

Velocidad del émbolo (Succión): Alta

Viscocidad Comp. Tiempo: 0.2 sec

Velocidad del émbolo (Inyección): Mediana

Modo de inyección: Normal

Inj. Puerto detención tiempo: 0.3 sec

Volumen de lavado: 8uL

Temperatura de la columna del horno: 50.0 °C

Temperatura de inyección: 280.00 °C

Modo de inyección: Splitless

Tiempo de muestreo: 1.00 min.
Modo de control del flujo: Velocidad lineal
Presión: 54.2 kPa
Flujo total: 6.0 mL/min.
Flujo en la columna: 1.00 mL/min.
Velocidad lineal: 36.3 cm/sec
Flujo de purga: 1.0 mL/min.
Radio de Split: 4.0
Presión de inyección: 225.0 kPa
Tiempo de inyección: 1.00 min.

Rata	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
-	50.0	10.00
8.0	280.0	5.00

Temperatura de ionización: 260.00 °C
Temperatura de interfase: 280.00 °C
Modo de ionización: SEI
Aumento del detector: 1.00 kV
Tiempo de inicio: 5.00min
Tiempo de finalización: 43.00min
Modo de adquisición: Escaneo
Intervalo: 0.50 sec
Velocidad de escaneo: 909
Inicio m/z: 35.00
Final m/z: 450.00

6.4.1.12 Determinación de azúcares y ácidos orgánicos no volátiles

Los azúcares: glucosa, fructosa y sacarosa y los ácidos orgánicos no volátiles: ácido ascórbico, ácido cítrico, y ácido málico principalmente, se cuantificaron e identificaron por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC). (Pinzón, 2000)

Obtención de las muestras frescas y conservadas en atmósfera modificada

Se homogenizó un gramo de muestra y se aforó con un balón de 25 mL con agua grado 1, se envasó en tubos ependorff y se centrifugó en una centrífuga IEC – Centra modelo MP4R 12000 rpm a 0°C durante 15 minutos, el sobrenadante se pasó a través de un filtro de 0.45 µm (marca Millipore), el filtrado se transvasó a viales de 1.9 mL que se almacenaron en congelación hasta el momento del análisis.

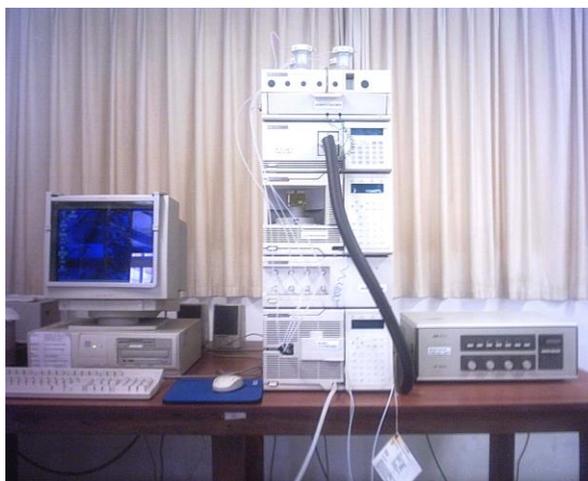


Figura 20. Cromatógrafo de Líquidos de Alta eficiencia (HPLC) marca Waters

El análisis de azúcares se realizó en un equipo marca Waters (figura 20) bajo las siguientes condiciones cromatográficas:

Bomba: 515 Waters

Columna: BIO-RAD Aminex HPX- 87H (300 mm x 7,8 mm) Compuesta por:

Forma iónica de la resina: Ca

Soporte: Copolimero de divinil benceno-estireno sulfonado

Tamaño de partícula: 9 μm

Fase Móvil: H_2SO_4 0.005 N

Flujo: 0.6 ml/min.

Temperatura de la columna: 30°C

Detector: IR (índice de refracción) 2487 W

Tiempo de elusión: 12 minutos

Volumen de inyección: 20 μL

Autosampler: 717 de Waters

6.4.2 ACTIVIDAD ENZIMÁTICA

La actividad enzimática PPO y POD se analizó en un espectrofotómetro ultravioleta-visible (UV-VIS) con arreglo de diodos Hewlett Packard modelo HP-8453 (figura 23) según metodología establecida por Pinzón (2000).

Obtención del extracto: A 5 g de muestra fresca y conservada en atmósfera modificada se le adicionaron 25 mL de tampón fosfato 0.2 M a pH 6.5, 1 g de polivinilpirrolidona y 250 μL de tritón. Se homogenizó en un

homogenizador marca Hirosagua airon Works de 18000 rpm (Figura 21) por 6 min (30 segundos homogenizando a 0°C en baño de hielo y 30 segundos en reposo), la mezcla se centrifugó en una centrifuga IEC – Centra modelo MP4R (Figura 22) a 12000 rpm por 30 min a 4°C, el sobrenadante se mantuvo a 0°C hasta el momento de reacción.



Figura 21. Homogenizador marca Hirosagua airon Works de 18000 rpm.



Figura 22. Centrifuga IEC – Centra modelo MP4R

Actividad peroxidasa (POD): Se preparó un blanco que contiene 2.7 mL de tampón fosfato 0.2 M a pH 6.5, 0.2 mL de guayacol al 1% como donador de hidrógeno, 0.1 mL de peróxido de hidrógeno al 1.5 % como oxidante, se leyó en un espectrofotómetro UV-VIS con arreglo de diodos Hewlett Packard modelo HP-8453 a una longitud de onda de 485 nm. Para la muestra, se agregaron 0.075 mL del extracto al blanco, se agitó y leyó la

absorbancia cada 4 segundos por 6 minutos. La actividad de la enzima se mide determinando la pendiente de la línea de reacción a cero (velocidad inicial). La unidad de actividad será define como el cambio en la absorbancia/minuto/gramo de pulpa.

Actividad Polifenoloxidasa (PPO): Se preparó un blanco que contiene 3.0 mL de catecol 0.07 M como oxidante en tampón fosfato pH 6.5, se leyó en un espectrofotómetro UV-VIS con arreglo de diodos Hewlett Packard modelo HP-8453 a una longitud de onda de 420 nm. Para la muestra se agregaron 0.035 mL del extracto, se agitó y leyó la absorbancia cada 5 segundos por 6 minutos. El cambio del color debe darse de transparente a café; la unidad de de actividad de la enzima se definió como el cambio en la absorbancia/minuto/gramo de pulpa (Pinzón, 2000).



Figura 23. Espectrofotómetro ultravioleta-visible (UV-VIS) con arreglo de diodos Hewlett Packard modelo HP-8453

6.4.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Según el manual de técnicas recomendadas para el análisis microbiológico de los alimentos de (González, 1981) se preparan muestras y diluciones 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} de cada producto homogenizado para sembrar por duplicado 1 mililitro de cada uno en cajas de petri.

6.4.3.1 Recuento de Microorganismos Mesófilos Aerobios Viabes

Diluciones: 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} con agua peptonada

Medio de cultivo: Plate Count

Tipo de siembra: Inclusión

Temperatura: 32 °C

Tiempo de Incubación: 24 -48 horas

6.4.3.2 Recuento de microorganismos psicrófilos Aerobios Viabes

Diluciones: 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} con agua peptonada

Medio de cultivo: Placas de Agar Plate Count ò Cuenta Gérmenes Estándar

Tipo de siembra: Superficie

Temperatura: 7 °C

Tiempo de Incubación: 10 días

6.4.3.3 Recuento de Hongos y Levaduras

Diluciones: 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} con agua peptonada

Medio de cultivo: OGY (Oxitetraciclina Glucosa Year) Extracto de levadura

Tipo de siembra: Sandwich

Temperatura: 32 °C

Tiempo de Incubación: 3 – 4 días

6.4.3.4 Recuento de Esporas Clostridium Sulfito Reductor

Diluciones: 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} con agua peptonada

Medio de cultivo: Tubos de Agar sulfito Polimixina Sulfadiazina (SPS)

Tipo de siembra: Sandwich

Temperatura: 35 °C

Tiempo de Incubación: 72 horas (Min. Salud, 1990).

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 SELECCIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE LA MATERIA PRIMA PARA LOS PROCESOS DE EMPAQUE Y CONSERVACIÓN BAJO ATMÓSFERA MODIFICADA

7.1.1 Elección del estado de maduración óptimo del fruto

Teniendo en cuenta que no existen reportes de la carta de color del fruto de carambolo (*Averrhoa carambola L.*) por parte del ICONTEC, organismo que junto con Cenicafé ha elaborado cartas de color para otros vegetales (ICONTEC, 1996), la selección del estado de maduración óptimo para la caracterización y vida útil de dicho fruto en atmósfera modificada se hizo a partir de la carta de color y la descripción de cada uno de los estados de madurez propuestos por García et al. (2004) (figura 24 y Tabla 7).



Figura 24. Tabla de color de frutos de carambolo (*Averrhoa carambola L.*)

(García, 2004)

Para el proceso de empaque, es necesario que el fruto luzca fresco con predominio del color amarillo y que no se evidencien daños mecánicos. Para los análisis se prefirió el estado de madurez 5 ya que presenta características favorables de color donde el amarillo predomina y el verde de las aristas es aún apreciable (García, 2004).

Tabla 7. Descripción del color de los frutos de Carambolo en cada uno de sus estados según la tabla de color de García (2004).

Grado de Madurez	Descripción
Color: 1	Es el primer grado de la madurez de consumo, el fruto se muestra verde, con las aristas de un verde más pronunciado.
Color: 2	El fruto se torna ligeramente amarillo del centro hacia fuera, conservando los extremos de las aristas de color verde menos pronunciado.
Color: 3	La tonalidad amarilla del centro de la fruta se vuelve más brillante, las aristas aún presentan coloración verde pero en menor proporción.
Color: 4	En éste grado de madurez se observa que el tono amarillo que en principio aparecía en el centro, se extiende hacia el ápice del fruto. En el centro el amarillo se torna un poco anaranjado. El color verde de las aristas aún se aprecia, formando ribetes que se van adelgazando y decolorando gradualmente hacia el ápice del fruto.
Color: 5	Se observa que la coloración que se ha extendido hacia el ápice de la fruta, se ha hecho homogénea y esta vez se extiende hacia el extremo superior (pecíolo). Las aristas pierden el verde en la zona apical.
Color: 6	En éste estado de la madurez del carambolo, toda la fruta esta cubierta por una coloración anaranjada, con excepción de los bordes de las aristas que continúan siendo ligeramente verdes.
Color: 7	Toda la superficie del fruto muestra una coloración anaranjada intensa. Las aristas se aprecian amarillas y/o anaranjadas con algunos tintes de color café.

En adición a lo anterior, subjetivamente se encontró que el estado de madurez 5 presenta características sensoriales de olor, sabor y textura favorables para el proceso, sin aparente daño mecánico y en un estado de sanidad satisfactorio. Los estados de madurez 1, 2, 3 y 4 se descartaron debido a su textura rígida, el color verde predominante y la deficiencia de olor y sabor que hacían poco llamativas las rodajas en el empaque.

En el fruto de carambolo, el ácido predominante es el ácido oxálico y en estados muy avanzados de madurez (6 y 7 de la tabla de color), el nivel de ácido oxálico es muy alto (40-700 mg/ 100g de jugo) (Watson *et al*, 1990) confiriéndole al fruto un sabor fuerte y desagradable. Por esta razón y sumando todos los efectos normales de senescencia del fruto tales como ablandamiento y posterior pérdida de textura, pardeamiento de la cáscara (característica mas acentuada en las aristas) y difícil troceado, se decidió descartar dichos estados y seleccionar como óptimo para el estudio de las rodajas de carambolo en EAM el estado 5 de color relacionado en la Figura 24.

7.1.2 Elección del espesor adecuado de las rodajas de carambolo fresco cortado.

Debido a que el mayor atractivo del fruto de carambolo es la forma de estrella que presentan sus rodajas al hacer un corte ecuatorial, se utilizó dicho corte para los análisis de empaque. Para determinar el espesor de las rodajas se hicieron cortes de 3 mm, 5 mm y 7 mm, la de menor medida presenta una mayor susceptibilidad al daño mecánico mostrando deterioro al desprenderse la pulpa. Entre los cortes de 5 mm y 7 mm no se evidenció una diferencia significativa pero al superponer una rodaja sobre otra para efectos de empaque, se observa que la de 5 mm tiene mejor aceptación visual debido a que se pueden acomodar mayor número de rodajas superpuestas en el empaque. Por las razones anteriores se

escogió para el análisis de carambolo fresco cortado rodajas de 5 mm de espesor. El fruto fue trabajado con piel debido a que el escaldado y pelado químico con hidróxido de sodio ablandan la pulpa (Salazar, 2003) confiriéndole a las rodajas una disminución en la textura, además el carambolo se consume ampliamente de forma natural.

7.2 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE RODAJAS DE CARAMBOLO FRESCO CORTADO EMPACADO A GRANEL, VACÍO Y ATMÓSFERA MODIFICADA

La utilización del empaque en atmósfera modificada busca prolongar la vida útil de las rodajas de carambolo fresco cortado, previamente tratadas con aditivos químicos, por medio de la disminución de la tasa respiratoria de éstas. El empaque a vacío ha sido ampliamente utilizado puesto que es un proceso sencillo y económico, industrialmente hablando. Los principales efectos buscados durante dichos tratamientos son la conservación de características fisicoquímicas propias del fruto fresco, así como la disminución del pardeamiento enzimático y la proliferación microbiológica en contraste con las rodajas empacadas a granel. A continuación, se hace un análisis detallado del comportamiento de dichas variables unitarias durante el almacenamiento de rodajas de carambolo fresco cortado de 5 mm de espesor, empacado a vacío y en atmósfera modificada en contraste con las empacadas a granel en tiempos de almacenamiento de 0, 7, 14, 21 y 28 días.

7.2.1 Peso

La figura 25 muestra el comportamiento del peso de las rodajas de carambolo fresco cortado durante el tiempo de almacenamiento.

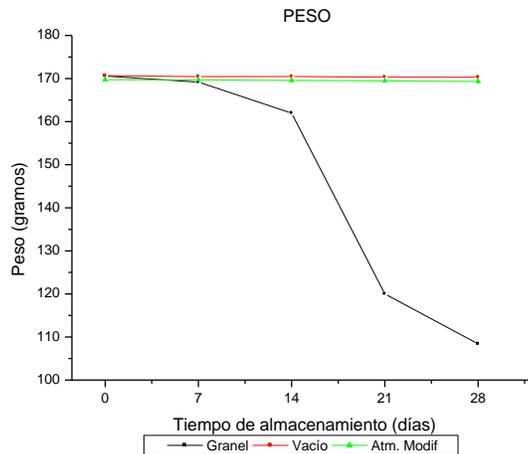


Figura 25. Variación del peso (gramos) de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

De acuerdo con el análisis de varianza (anexo A, tabla 1) con $p < 0.05$ realizado a los datos compilados, los diferentes empaques y tiempos de almacenamiento presentan efecto significativo sobre el peso. De acuerdo a la prueba estadística LSD con una confiabilidad del 95% (Anexo A, tabla 2) se observa una mayor diferencia entre las muestras empacadas a granel en relación con las empacadas a vacío y en atmósfera modificada. El peso de las rodajas empacadas a granel disminuye de forma abrupta en comparación al peso de las rodajas almacenada a vacío y en atmósfera modificada, estas dos últimas presentan una tendencia muy semejante en donde la pérdida de peso es mínima; sin embargo, según la prueba estadística resultó mejor el almacenamiento en atmósfera modificada ya que la LS media es mayor para dicho tratamiento, lo que denota una menor pérdida durante el proceso.

La disminución de peso de las rodajas de carambolo en cada uno de los empaques está influenciada directamente por el proceso de transpiración llevado a cabo por el producto en el cual éste presenta un intercambio de vapor de agua, entre la atmósfera interna de las rodajas de carambolo, la cual esta saturada, y el aire circundante menos saturado, generando así

una pérdida de agua en el producto que no puede ser reemplazada, a su vez una disminución significativa del peso, y a medida que avanza el tiempo, de apariencia, turgencia y elasticidad del producto. La pérdida significativa de peso de las rodajas almacenadas a granel se explica ya que en este tipo de almacenamiento existe mayor cantidad de aire circundante, pues no se delimita su atmósfera, generando así mayor intercambio de vapor de agua y mayor disminución de peso; contrario a lo que ocurre en el almacenamiento a vacío, donde la presencia de aire es mínima, y en atmósfera modificada donde se controla el porcentaje de gases de dicha atmósfera circundante.

Por otro lado, al emplear un empaque de baja permeabilidad, PEBD 70 μ m, en los dos últimos casos, el intercambio de gases es mínimo lo cual genera una menor pérdida de agua reflejándose significativamente en baja disminución de peso durante todo el tratamiento.

Un comportamiento similar al encontrado en el presente trabajo se encontró en el lulo La Selva (*Solanum quitoense* Lam.) almacenado en atmósferas modificadas, donde las muestras almacenadas de dicha forma (10% Mapax y 10% CO₂) presentaron valores muy bajos de pérdida de peso comparados con el almacenamiento a granel, generando ganancias ya que se amplía el tiempo de almacenamiento del lulo y se minimizan las pérdidas por disminución en el peso (Arrubla y Rivera, 2001). Además, en el estudio del comportamiento de rebanadas de kiwi en charolas de polipropileno cubiertas con película de éste mismo material y almacenadas a 4°C bajo una atmósfera 5% O₂ + 5% CO₂ (N₂ balance), mostró el mismo comportamiento frente al parámetro evaluado, lográndose reducir la pérdida de peso de dichas rebanadas durante el almacenamiento. (Roculli *et al.*, 2005)

7.2.2 Índice de respiración

El comportamiento del índice de respiración para las rodajas de carambolo fresco cortado en los diferentes tipos y tiempos de almacenamiento se muestra en la figura 26.

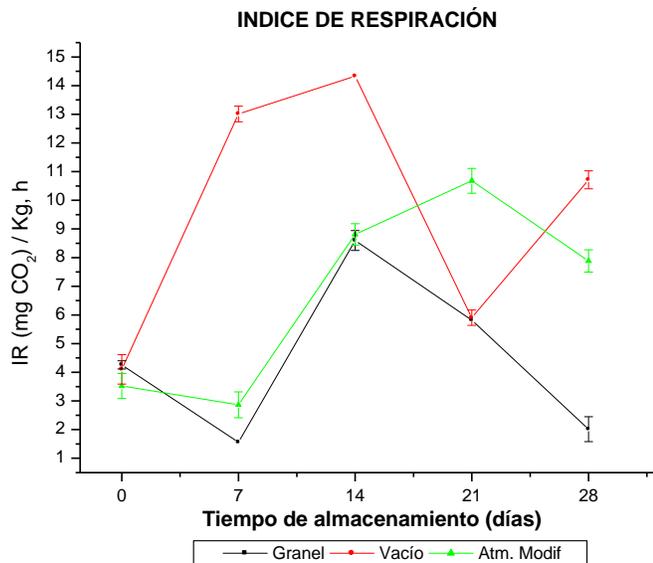


Figura 26. Variación del índice de respiración de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

La tabla de ANOVA para la variación del índice de respiración durante los diferentes tiempos y tipos de almacenamiento (Anexo A, tabla 3) con un valor $p < 0.05$, muestra una diferencia significativa de este parámetro en los diferentes tiempos de almacenamiento.

Las rodajas empacadas a granel disminuyen inicialmente su actividad respiratoria hasta el día 7, pero es en el día 14 donde cambia la tendencia y aumenta la actividad hasta alcanzar su punto máximo para luego decaer periódicamente en los días 21 y 28 de almacenamiento. Un comportamiento similar se observa en las rodajas de carambolo fresco

cortado empacadas en atmósfera modificada, con una disminución en el tiempo 7 y un aumento periódico en el tiempo 14 y 21 donde alcanza el máximo de respiración y comienza a decaer hasta el día 28 de almacenamiento. La mayor actividad respiratoria la presentaron las rodajas de carambolo almacenadas a vacío la cual aumenta con mayor significancia (Anexo A, Tabla 4) que en los dos tratamientos anteriores hasta el día 14 para luego decaer en los días 21 y 28.

En contraste con este comportamiento respiratorio climatérico de rodajas de carambolo, otros autores (Lam y Wan, 1983; Oslund y Davenport, 1983; Lam y Wan 1987; Watson *et al.*, 1990; Nakasone y Paull, 1998; García y Mejía, 2005) han reportado un comportamiento no climatérico para el fruto entero debido a los patrones típicos de un fruto de este tipo tales como la producción de etileno, dióxido de carbono y su índice de maduración tanto en precosecha como en poscosecha.

7.2.3 Actividad de agua

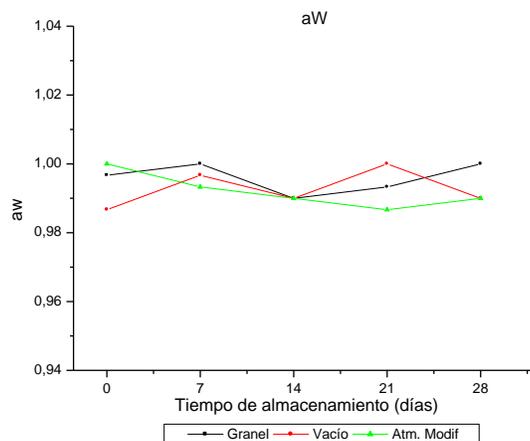


Figura 27. Variación de la actividad de agua (a_w) de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

La actividad de agua para los tres tipos de almacenamiento durante el tiempo de análisis se muestra en la figura 27.

El análisis de varianza para la actividad de agua con un $p < 0.05$ (anexo A, Tabla 5) y la prueba de LSD 95% (anexo A, tabla 6) realizados a los datos mostraron que no hay diferencia significativa entre tratamientos y tiempos de almacenamiento. Los tres tipos de almacenamiento lograron mantener los niveles de a_w de los frutos de carambolo fresco cortado durante los 28 días que duró el almacenamiento.

7.2.4 ° Brix

El análisis de varianza realizado a los datos obtenidos de sólidos solubles durante los 5 tiempos de almacenamiento para los tres tipos de empaque con $p < 0.05$ (Anexo A, tabla 7) muestra diferencias significativas.

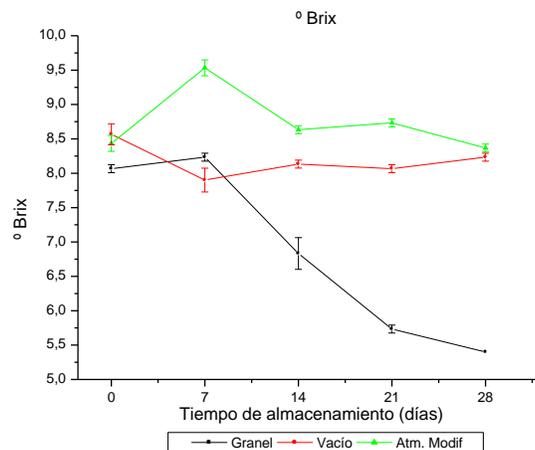


Figura 28. Variación de los sólidos solubles (°Brix) de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

Las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas en atmósfera modificada mostraron un ascenso inicial en el porcentaje de sólidos solubles (figura 28) hasta el día 7 donde la tendencia empieza a decrecer

hasta el día 28 en que termina el tiempo de análisis. Las rodajas empacadas a granel también mostraron un ascenso leve en los niveles de sólidos solubles hasta el día 7 pero la caída de dichos niveles durante los días sucesivos de almacenamiento es mucho más significativa en este tipo de almacenamiento que en los otros dos empaques. Contrario a este comportamiento, las rodajas empacadas a vacío muestran descenso inicial en el contenido de sólidos solubles que luego tiende a estabilizarse durante los 3 tiempos finales de análisis.

Las rebanadas de kiwi fresco cortado almacenadas a granel mostraron un incremento en la cantidad de sólidos solubles que probablemente se debió a la continuación de la madurez luego del corte del producto, fenómeno que no ocurrió en las rebanadas almacenadas en atmósfera modificada (Agar *et al.*, 1999). Por otra parte, en el análisis de la calidad de cubos de mango frescos cortados se encontró que en los frutos más maduros no hubo variación del contenido de °Brix ya que la fruta estaba madura desde el inicio y la conversión de almidón a azúcar ya se habría completado por lo que el contenido de sólidos solubles no se vio afectado (Rattanapanone *et al.*, 2001). Las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas tanto en atmósfera modificada como a granel, tienen una disponibilidad inicial de oxígeno mayor que en el almacenamiento a vacío lo que les permite llevar a cabo procesos de degradación de almidones en azúcares simples aumentando el contenido de sólidos solubles. Dicha tendencia inicial al alza supone que el fruto madura hasta el día 7 de almacenamiento. Al agotarse la disponibilidad de oxígeno en el empaque en atmósfera modificada cesan los procesos de desdoblamiento de almidones y empiezan a ser degradados los azúcares, para mantener los procesos de respiración con menor velocidad que en el empaque a granel donde no solo continúa la actividad respiratoria sino que se suman procesos degradativos por parte de microorganismos haciendo los sólidos solubles sustratos de su metabolismo.

Por otra parte, el empaque a vacío muestra una tendencia al descenso en la cantidad de sólidos solubles. Aunque el fruto no madura en este tipo de almacenamiento, la actividad respiratoria es mayor (Figura 26) lo que supone un gasto energético más alto llevando a la degradación de los azúcares para la obtención de energía y el mantenimiento de los procesos metabólicos. Según la prueba de LSD (anexo A, tabla 8) resultó mejor el tratamiento de atmósfera modificada para mantener los valores de °Brix de las rodajas de carambolo fresco cortado.

En concordancia con los resultados obtenidos para tajadas de carambolo, se encontraron estudios previos de efectos positivos en el empleo de atmósferas modificadas y controladas en vegetales frescos cortados. Entre estos, Rocha y De Morais (2000) mostraron que el empleo de atmósfera controlada de 2% de Oxígeno y de 4 a 12% de CO₂ en cubos de manzana Jonagored, mantenía el contenido de sólidos solubles y de fructosa durante el almacenamiento por 7 días a 4°C. Habibunnisa-Baskaran et al. (2001) mostraron que el empleo de atmósfera modificada pasiva (2-7% O₂ + 15% CO₂) extendía la vida útil de cubos de calabaza por 20 días a 5°C. Del Caro et al. (2004) encontraron que el empaque de los cítricos tangelo Minneola, mandarina Palazelli y naranja Shamouti en atmósferas modificadas pasivas mantenía el contenido de sólidos solubles, retrasando su pérdida durante el almacenamiento por 12 días a 4°C de temperatura. Además, Perkins-Veazie y Collins (2004) encontraron que el empaque en atmósfera modificada pasiva (5%O₂ + 5% CO₂) de cubos de sandía, puede mantener las condiciones del producto por 10 días a 2°C de temperatura con una ligera reducción del contenido de sólidos solubles totales a partir de los 7 días de almacenamiento

7.2.5 Porcentaje de humedad

Según el análisis de varianza ($p < 0.05$) para los datos obtenidos de porcentaje de humedad (anexo A, tabla 9), existe diferencia significativa entre los tiempos de almacenamiento y el tipo de empaque con relación a dicha.

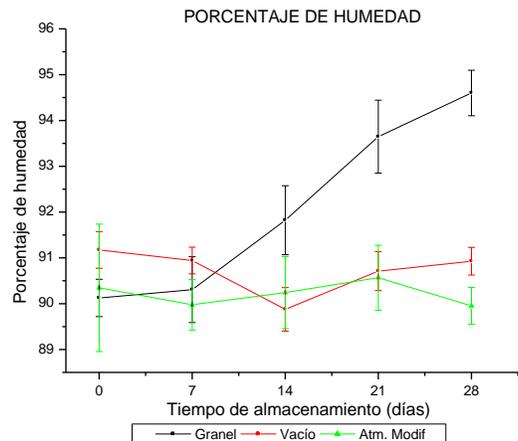


Figura 29. Variación del porcentaje de humedad de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

Las frutas pierden agua principalmente por la transpiración y en el caso de los frutos cortados, la pérdida de humedad es crítica debido a la ausencia de cutícula o cáscara y a la exposición del tejido al medio ambiente (Agar *et al.*, 1999). Contrario a lo expresado en la literatura, el comportamiento de la humedad de rodajas de carambolo fresco cortado expuesto en la figura 29 muestra un comportamiento similar para el almacenamiento a vacío y en atmósfera modificada donde en los primeros días se aprecia una leve disminución de la humedad relacionada posiblemente con la pérdida de líquidos por daño mecánico y efectos de la transpiración, con un consecuente relativo aumento del porcentaje de humedad durante el resto del almacenamiento. Este aumento se presenta de forma similar en

el almacenamiento a granel, pero de manera más significativa (anexo A, tabla 10). Este comportamiento es debido probablemente a la baja permeabilidad al oxígeno de las bolsas (PEBD) utilizadas para el almacenamiento del producto, por lo que el vapor de agua tiende a condensarse en las paredes del empaque. Esta humedad condensada al contacto con el producto disuelve nutrientes que provocan el rápido desarrollo de microorganismos y procesos enzimáticos de degradación. Generalmente estas enzimas (enzimas pécticas) atacan los diferentes componentes de la pared celular y actúan principalmente mediante hidrólisis, generando de esta manera nuevos compuestos y agua responsables del deterioro del producto y del aumento de la humedad. De acuerdo a la LS media el mejor tratamiento para la conservación del parámetro de humedad en las rodajas de carambolo fresco cortado fue el empaque en atmósfera modificada.

7.2.6 Acidez titulable

El carácter ácido de las frutas se debe a los ácidos orgánicos presentes y teniendo en cuenta que el ácido predominante en el fruto de carambolo (*Averrhoa carambola* L.) es el ácido oxálico (Watson *et al.*, 1990), los cálculos de acidez titulable se hacen con base en dicho ácido y los resultados de éste parámetro durante los diferentes tiempos de almacenamiento se observan en la figura 30.

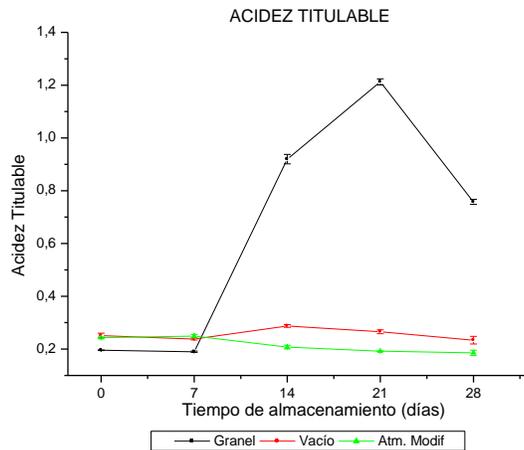


Figura 30. Variación de la Acidez Titulable (porcentaje) de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

Puede observarse (figura 30) que los tratamientos de almacenamiento a vacío y en atmósfera modificada mantienen efectivamente el nivel de acidez titulable y aún tiende a disminuir levemente, en contraste con el almacenamiento a granel, aunque existe una diferencia significativa entre las tendencias de los dos métodos mencionados inicialmente (anexo A, tabla 11). Las rodajas de carambolo almacenadas en atmósfera modificada muestran una pequeña tendencia a la pérdida de acidez lo que se debe posiblemente a la degradación de éstos por procesos metabólicos. En contraste a lo anterior, las rodajas de carambolo almacenadas a vacío muestran una tendencia a la ganancia de acidez titulable, tendencia que sumada a la pérdida de grados Brix observada en la figura 28, permite suponer que la degradación de los carbohidratos ocurrida durante la respiración dio lugar a los diferentes ácidos del ciclo de Krebs.

Por otra parte, en el almacenamiento a granel resultó que en el tiempo 7 la acidez titulable disminuyó un poco comparada con el tiempo inicial de análisis posiblemente por procesos degradativos propios del metabolismo de la fruta, pero en el día 14 se observa un ascenso brusco que continúa

hasta el día 21 y tiende a estabilizarse en el día 28. Cabe anotar que a partir del día 7 se percibieron los procesos degradativos y de descomposición de las rodajas de carambolo y es posible que la acidez corresponda a productos de metabolismo microbiológico mas no del alimento. De acuerdo a la prueba LSD 95% (Anexo A, tabla 13), el tratamiento más adecuado para la conservación de la acidez titulable es el almacenamiento en atmósfera modificada cuya LS media es la más cercana al valor de acidez titulable inicial.

En estudios anteriores, se encontraron efectos positivos del uso de atmósferas modificadas y controladas en la conservación de la acidez titulable de algunos productos vegetales. El empleo de empaque en atmósfera modificada pasiva (2-7% O₂ + 15% CO₂) en cubos de calabaza permitió extender la vida anaquel del producto a 20 días a 5°C en comparación con 7 días del tratamiento a granel, observando que dicho empaque redujo los cambios en acidez titulable (Habibunnisa-Baskaran *et al.*, 2001). Por otra parte Aguayo et al. (2004) mostraron que el uso de atmósfera modificada activa y pasiva en el empaque de rebanadas de tomate Calibra (*Lycopersicon esculentum* Mill.) no tiene un efecto significativo sobre el contenido de acidez titulable de éstas.

7.2.7 pH

El objetivo del almacenamiento a vacío y en atmósfera modificada es mantener el fruto fresco por mas tiempo mediante la conservación de sus propiedades fisicoquímicas, dentro de las cuales el pH ocupa un lugar importante por su influencia sobre la proliferación microbiana y las reacciones degradativas propias de frutos frescos. En la figura 31 se puede observar la variación del pH a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento.

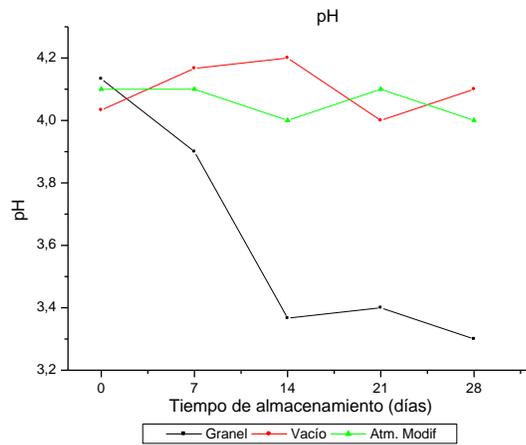


Figura 31. Variación del pH de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

Según el análisis de varianza ($p < 0.05$) realizado a los datos obtenidos de los valores de pH (Anexo A, tabla 11), los tipos de empaque y los tiempos de almacenamiento presentan diferencias significativas entre ellos. La prueba de LSD para dicho parámetro (Anexo A, tabla 12) muestra que la menor diferencia significativa está entre los tratamientos a vacío y en atmósfera modificada pero según la LS media, son las rodajas de carambolo empacadas a vacío las que mejor mantienen el pH durante el tiempo de almacenamiento comparado con los valores iniciales. Contrario a lo anterior, las rodajas de carambolo almacenadas en bolsas a granel muestran un descenso brusco en el pH entre el día 7 y 14 que se estabiliza en los días 21 y 28. Cabe anotar que a partir del día siete se percibió un olor a fermentado en dichas bolsas proveniente de un líquido blanco que a medida que transcurrió el tiempo se hizo mayor en cantidad y en olor. Dicho líquido corresponde al agua perdida por los frutos en los procesos de transpiración y respiración. Además, las bacterias proliferan mediante una rápida multiplicación celular y se introducen en el producto principalmente a través de cortes en la superficie, y debido al almacenamiento el producto envejece, y los tejidos se debilitan por una

degradación gradual de la estructura e integridad celular, el producto en éste estado es menos capaz de soportar la invasión, produciéndose la infección por organismos patógenos. Los microorganismos pueden también producir toxinas y otras sustancias que dan origen a sabores u olores desagradables o dejan al producto no apto para el consumo (FAO, 2007).

7.2.8 Cenizas

Las cenizas de un alimento en general representan los residuos inorgánicos (minerales) que permanecen luego de la destrucción de la materia orgánica. En la figura 32 se observa que independientemente del tipo de almacenamiento y del tiempo este factor permanece relativamente constante sin presentar diferencia significativa entre los tratamientos. Este comportamiento se explica ya que los compuestos inorgánicos no son afectados por procesos fisiológicos naturales llevados a cabo por el producto en almacenamiento.

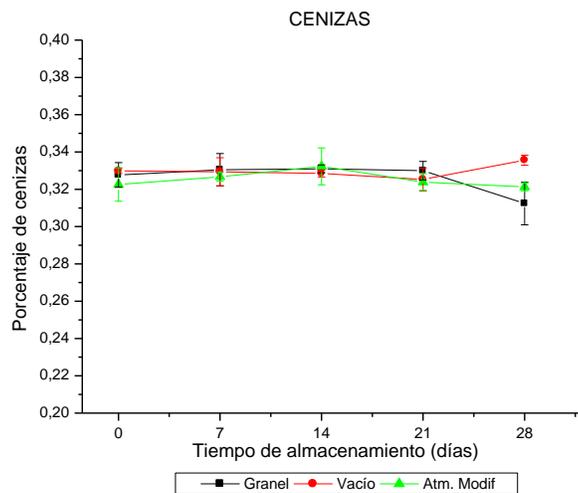


Figura 32. Variación del contenido de cenizas de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

La tabla ANOVA para cenizas (anexo A, tabla 15) comprueba que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de acuerdo al p-valor inferior a 0.05. La prueba LSD (anexo A, tabla 16) muestra que los grupos son homogéneos y que ni los tiempos de almacenamiento ni los tipos de empaque representan relación con el contenido de cenizas del producto, por lo que los tres tratamientos durante los diferentes tiempos de almacenamiento son efectivos en la conservación de dicho parámetro.

A pesar de que a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento en AM se observa la presencia de un exudado en el interior de las bolsas que contienen rodajas de carambolo, éste líquido parece provenir del agua libre ubicada en los espacios intercelulares del tejido, ya que la no variación en el valor de cenizas encontrado a lo largo de los primeros 21 días de almacenamiento permite inferir que las rodajas de carambolo no sufren daño intracelular, el cual se manifestaría en una disminución de este parámetro a medida que avanza el período de almacenamiento, lo que es apreciable para los ensayos a granel y a vacío para los últimos días de almacenamiento cuando la apariencia de las rodajas de carambolo hace prever un deterioro drástico del tejido causado posiblemente por la alta actividad microbiana observada.

7.2.9 Color

El color y su uniformidad determinan la calidad de un fruto u hortaliza y es frecuentemente un índice de frescura, palatabilidad y valor nutricional. Se evaluaron los cambios de color de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en un periodo de 28 días. Dichos cambios se analizaron utilizando las coordenadas objetivas CIE: L^* , a^* y b^* C^* y h^0 .

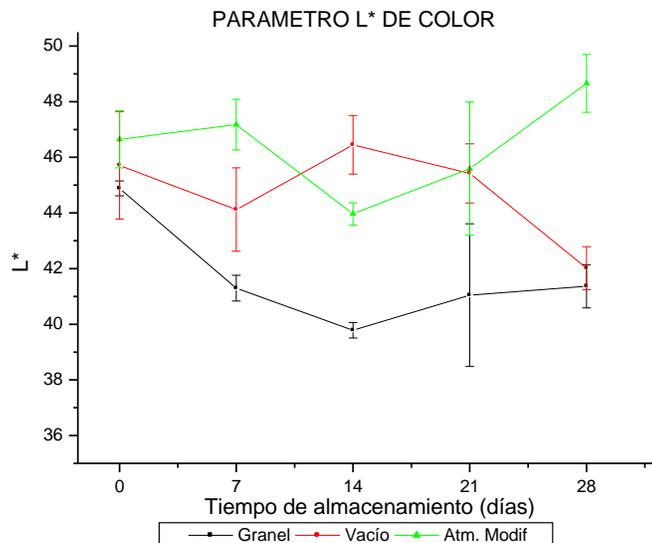


Figura 33. Variación del parámetro L* de color de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

La luminosidad L* de las rodajas durante el proceso de empaque y almacenamiento (figura 33) tiene un comportamiento diferente para cada tipo de tratamiento. En el empaque a granel las rodajas de carambolo muestran una tendencia a disminuir su luminosidad de manera mucho más marcada que para los otros dos empaques evaluados. Este fenómeno se explica por la pérdida drástica de sólidos solubles en este tipo de empaque con el consecuente cambio de coloración (de amarillo verdoso a café) de las rodajas posiblemente causado por procesos de pardeamiento enzimático que disminuyen la reflectancia haciendo el color más puro, menos luminoso.

Por otra parte, las rodajas empacadas a vacío tienden a perder luminosidad los primeros 7 días, tendencia que cambia en el día 14 de almacenamiento ascendiendo por encima del valor de L* para la fruta fresca, y luego decreciendo de nuevo en los dos últimos tiempos de análisis en almacenamiento. Dichos datos concuerdan con la pérdida de sólidos solubles de las rodajas en este tipo de tratamiento. Las rodajas

empacadas en atmósfera modificada muestran una leve tendencia al ascenso de la Luminosidad durante los 7 primeros días de almacenamiento que luego desciende por debajo del valor para la fruta fresca en el día 14, y es en este punto donde la tendencia cambia y asciende periódicamente durante los dos tiempos finales de análisis en el periodo almacenamiento. Lo anterior significa la pérdida de sólidos solubles y de textura en las rodajas luego del día 14 de almacenamiento aumentan L^* haciendo mas claras las rodajas en este tipo de almacenamiento.

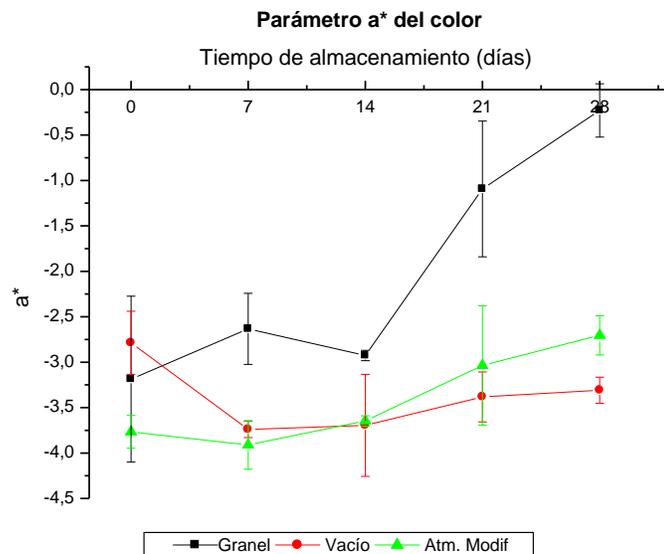


Figura 34. Variación del parámetro a^* de color de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

Parámetro a^* (variación de verde a rojo). En la figura 34 se puede observar como en el almacenamiento a granel el color del producto empacado se oscurece, es decir, el valor de a^* aumenta convirtiendo el color verde natural del producto del estado de madurez inicial en un verde ligeramente pardo, ya que la gráfica muestra un aumento significativo en la tendencia a partir del día 14; se debe tener en cuenta que el valor de a^* nunca supera los datos negativos, mostrando por consiguiente un cambio leve en la evolución del color verde hacia coloraciones anaranjadas o

pardas. El análisis estadístico (p -valor inferior a 0.05) muestra que no existe una diferencia significativa entre los almacenamientos en atmósfera modificada y a vacío, en éstos se presenta un comportamiento similar donde a^* disminuye hasta el día 7 para luego mantenerse relativamente constante medida que aumenta el tiempo de almacenamiento. Debe resaltarse que ésta característica es más notoria para el almacenamiento a granel. Se puede inferir que este comportamiento está asociado con la degradación de las clorofilas y la acción de pardeamiento enzimático, es por esta razón que en el almacenamiento a granel donde la disponibilidad de oxígeno, (elemento indispensable para la acción de enzimas) es mayor, el valor de a^* aumenta, contrario a lo reportado por los otros almacenamientos donde no hay presencia de oxígeno o ésta es muy reducida y la acción enzimática se ve disminuida, por tanto el color natural se mantiene por más tiempo. Un comportamiento similar ha sido ya reportado en el empaçado a vacío de Nopalito (*Milpa alta*) donde por efectos del almacenamiento prolongado la clorofila se destruye, convirtiendo el color verde del nopal en un color verde pardo (Reza *et al.*, 2002).

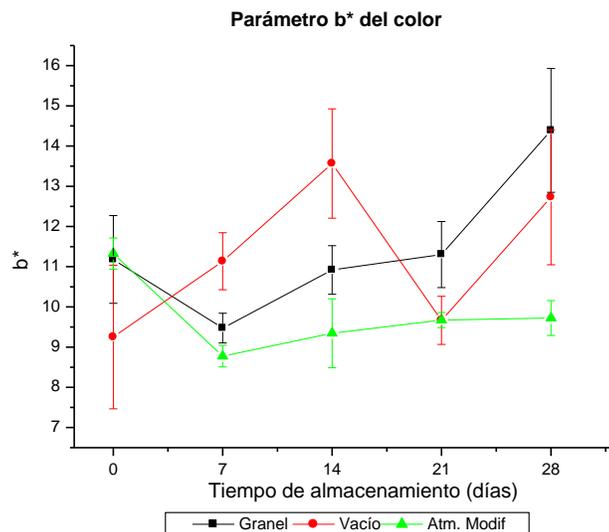


Figura 35. Variación del parámetro b^* de color de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

Parámetro b^* (variación de azul a amarillo). Según el análisis estadístico entre los tratamientos de almacenamiento a granel y a vacío no existe una diferencia significativa ($p < 0.05$), a pesar de que en la figura 35 se infiera un comportamiento diferente, puesto que el producto empacado a vacío presenta un marcado aumento desde el día 0 hasta el 14, contrario a lo ocurrido en granel donde se nota una disminución inicial en el día 7 con un posterior aumento que se mantiene hasta el día 28., comportamiento que es semejante al seguido por las rodajas de carambolo fresco cortado en atmósfera modificada. Este aumento en b^* indica un aumento en la amarillez de las muestras el cual puede estar relacionado con la intensidad respiratoria y actividad enzimática del producto, ya que al llegar a la senescencia, la clorofila se degrada convirtiéndose a feofitina uno de los compuestos responsables del color amarillo natural del producto en estado avanzado de madurez, y a la actividad PPO y POD que generan coloraciones amarillas durante su acción sobre los sustratos fenólicos presentes en las rodajas de carambolo, de acuerdo a su comportamiento climático en almacenamiento.

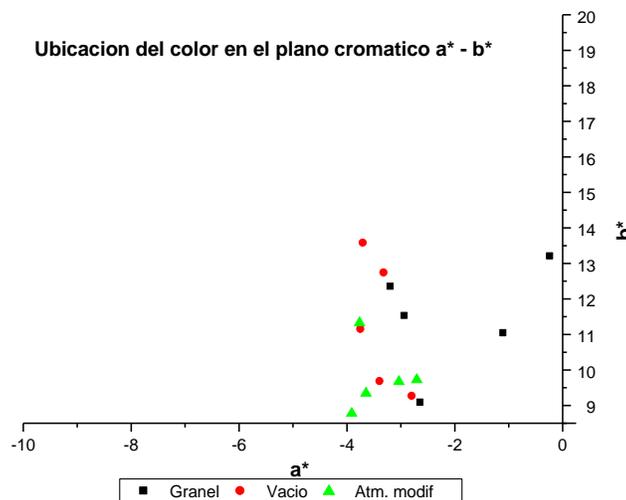


Figura 36. Ubicación en el plano cromático a^* - b^* de la trayectoria del color de rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada

En la figura 36 se puede apreciar la trayectoria del color que siguen las rodajas de carambolo fresco cortado almacenado en los distintos tratamientos. En cada caso se muestra un comportamiento diferente de la evolución del color, el cual es producto de las condiciones de almacenamiento, es decir, el color se mantiene por mayor tiempo a medida que disminuye el contacto de las muestras con el aire. Es por esta razón que en granel, donde las rodajas de carambolo poseen mayor exposición al aire, presentan ataques enzimáticos que generan una tendencia del color inicial hacia el amarillo - rojo generando colores pardeados (naranja – café), desagradables y característicos del carambolo en deterioro. En el almacenamiento en atmósferas modificadas el color tiende hacia el rojo a medida que transcurre el tiempo, generando al igual que en granel el oscurecimiento paulatino del producto. En contraste a lo anterior, las rodajas de carambolo empacadas a vacío presentan un comportamiento constante hacia el amarillo sin variaciones significativas del verde natural del producto en estado de madurez 5; en consecuencia, al comparar estos tratamientos se puede inferir que el almacenamiento a vacío es el más eficaz al mantener el color inicial del producto pues es el que tiene menos evolución hacia el rojo (a^*) retardando el pardeamiento y conservando una apariencia fresca y agradable al consumidor.

En relación con éste comportamiento, muchos autores han reportado la eficiencia del uso de atmósferas modificadas para mantener el color de varios productos. El uso de empaque en atmósfera modificada (EAM) pasivo (1.5-3.0% O_2 y 4.1-6.6 % CO_2) mantiene el color verde y la calidad comercial de cebollin fresco cortado, durante 14 días a 10°C y 21 días cuando se usa vacío moderado (Hong y Kim, 2004). Durante el almacenamiento de tomate en EAM activo (12 a 14% O_2 + 0% CO_2) por 7 y 10 días a 5 °C, no tiene efecto en el color de rebanadas de tomate Durinta, variedad de maduración lenta (Gil *et al.*, 2002). El empleo de EAM pasivo (1.4-3.8 de O_2 y 3.6-6.3 % de CO_2) mantiene el color de de col de

hoja “Salad savoy” de las variedades blanca y violeta durante el almacenamiento por 25 días a 5°C (Kim *et al.*, 2005). En zanahoria púrpura rallada el EAM activo (90 N₂+5% O₂ + 5% CO₂) mantuvo el contenido de antocianinas por 13 días a 5°C, no encontrándose diferencias con respecto a las almacenadas en aire (Alasálvar *et al.*, 2005).

Estudios efectuados en cubos de melón cantaloupe variedad “Atena” cosechado en un estado de madurez de “¾ desprendido” mostraron que el empleo de EAM activo (4% O₂ + 10 %CO₂) durante el almacenamiento a 5 °C fue mas efectivo que el EAM pasivo, ya que prolongó la vida de anaquel y presentó mayor retención del color, menor translucencia del tejido y desarrollo de microorganismos (Bai *et al.*, 2001). En rebanadas de kiwi empacadas en charolas de polipropileno cubiertas con película de polipropileno empleando EAM (5% O₂ + 5% CO₂ + 90% N₂O) y almacenadas a 4°C, se redujo la perdida de peso, la disminución de firmeza, los cambios de color y el oscurecimiento de la pulpa (Rocculi *et al.*, 2005).

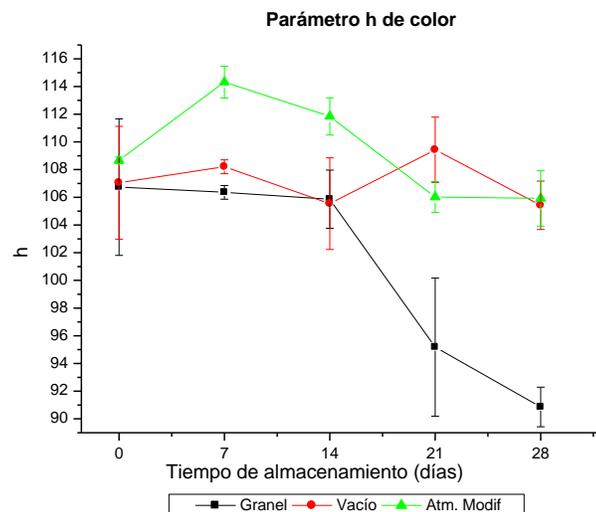


Figura 37. Evolución de h⁰_{ab} en rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

El matiz (h^*_{ab}) de las rodajas de carambolo fresco cortado también muestra tendencias diferentes para cada tipo de empaque (figura 37). Las rodajas empacadas a granel muestran un aumento en la pureza del color de tonos amarillo hacia tonos café haciendo menos llamativa la fruta al final del proceso de almacenamiento. Por otra parte, el empaque a vacío logra mantener estable el tono de las rodajas durante todo el tiempo de almacenamiento y el empaque en atmósfera modificada permite un tono más llamativo en el tiempo 7 que decae hasta el tiempo 21 y logra estabilizarse hasta el tiempo 28 de almacenamiento.

7.2.10 Textura

El ensayo de cizalla realizado en una celda Kramer para la determinación de textura de las rodajas de carambolo fresco cortado en los tres tipos de empaque durante el tiempo de almacenamiento, arrojó dos valores importantes para cada muestra: la fuerza máxima de ruptura (figura 38a) y el área bajo la curva resultante de la gráfica de fuerza máxima contra tiempo (figura 38b).

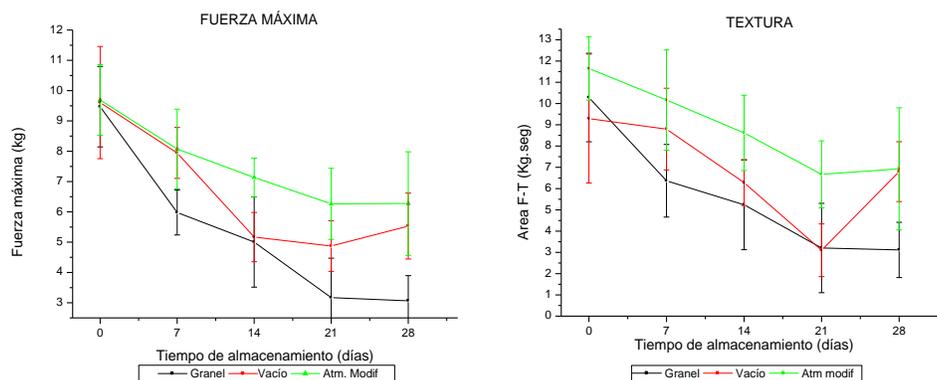


Figura 38a. Variación de la fuerza máxima de ruptura; Figura 38b Variación del área bajo la curva del parámetro de textura, de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

La gráfica de fuerza máxima de ruptura muestra una tendencia general al descenso para los tres tipos de empaque durante el tiempo de almacenamiento. De acuerdo a la tabla de análisis de varianza (p -valor inferior a 0.05) para estos datos (anexo A, tabla 17) existe diferencia significativa entre los tiempos y los tratamientos. Según la prueba LSD (anexo A, tabla 18), resultó ser mejor el empaque en atmósfera modificada lo cual puede corroborarse en la figura, ya que se mantiene mejor el parámetro de fuerza de ruptura en comparación con los otros dos tratamientos.

La gráfica de área bajo la curva muestra al igual que la de fuerza máxima de ruptura una tendencia al descenso. El análisis de varianza ($p < 0.05$) para este parámetro (anexo A, tabla 19) arroja diferencias significativas entre tratamientos. La prueba LSD para éste parámetro (anexo A, tabla 20) indica que el mejor tratamiento es el empaque en atmósfera modificada siendo su LS media la más cercana al valor de área bajo la curva inicial.

En esta gráfica se observó que las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a vacío y en atmósfera modificada presentan un comportamiento diferente a las almacenadas a granel. En el tiempo 28 de almacenamiento para los dos primeros tratamientos mencionados se observa un ascenso en el valor de área bajo la curva contrario a la tendencia mostrada por las rodajas empacadas a granel cuyo descenso es notable. Este comportamiento denota que en este tiempo de almacenamiento, la textura pasó de ser fracturable a ser gomosa para los dos tratamientos iniciales. Esta tendencia es más notable en las rodajas de carambolo empacadas a vacío lo que muestra que el daño mecánico ejercido en el momento del empaque encuentra repercusiones en la textura del producto al final del almacenamiento.

Soliva-Fortuny *et al.* (2002) trataron rebanadas de 5 mm de manzana Golden delicious con ácido ascórbico y CaCl_2 y empacaron en una atmósfera modificada de 100% N_2 en bolsas de plástico Cryovac a 4°C , encontrando que dicho tratamiento era ineficaz para la prevención efectiva de la firmeza (de 8 N en el fruto maduro a 4.8 N luego de almacenamiento). Un comportamiento similar se encontró para rebanadas de pera donde tanto la atmósfera baja en O_2 (0.25 o 0.5 kPa), como elevada en CO_2 (aire + 5, 10 o 20 kPa CO_2) y de O_2 superatmosférico (40, 60 y 80 kPa), no previnieron efectivamente la pérdida de firmeza en dichas rodajas. Por otra parte, Rojas-Graü *et al.* (2007) encontraron que el uso de atmósferas con bajos niveles de O_2 y elevados niveles de CO_2 mantenían la calidad de frescura (color y textura) de las manzanas cortadas por más de 1 mes de almacenamiento en refrigeración, especialmente en las manzanas en estados de madurez menores.

7.2.11 Perfil aromático

No existe un solo compuesto que produzca el denominado aroma impacto que contribuya al aroma de las frutas. La mayoría de compuestos volátiles activos del aroma responsables del aroma frutal son ésteres, seguidos por aldehídos, alcoholes y cetonas que contribuyen con notas verdes y dulces.

En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos para la evolución de los componentes volátiles del aroma de rodajas de carambolo fresco cortado durante su almacenamiento en tres diferentes condiciones de empaque, éstos resultados fueron obtenidos con base en los tiempos de retención de cada compuesto, comparándolos con la biblioteca que posee el cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas utilizado para este análisis.

Tabla 8. Variación del perfil aromático de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada.

NOMBRE COMPONENTES	GRANEL					VACIO					ATM MODIF				
	0	7	14	21	28	0	7	14	21	28	0	7	14	21	28
HIDROCARBUROS															
Metil-ciclohexano	x				x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
2,3,4-Trimetil-pentano												x	x		
2,3,3-Trimetil-pentano												x	x	x	x
Octano (CAS)	x				x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
1-Butanol, 3-metil, acetato(CAS)			x	x	x			x		x		x	x	x	x
5-Etil-2,2,3-trimetil-hetano												x	x	x	x
3,7-Dimetil-nonano												x		x	
2,9-Dimetil-undecano		x										x	x		x
2,2,3,4,6,6-Hexametil-heptano (CAS)													x	x	
Hexadecano	x	x		x		x		x		x	x	x	x	x	
Fenol, 2,6-bis(1,1-dimetiletil)-4-metil- (CAS)												x	x	x	
Hexadecano		x		x								x	x		
Heptadecano			x	x			x	x					x		x
Nonacosano		x			x		x		x	x		x	x	x	x
9-Tricoseno, (Z)				x	x		x		x	x		x	x	x	x
Heneicosano	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Tetratetracontano		x					x			x			x	x	
Pentacosano		x					x			x			x	x	x
Tetracosano		x		x			x	x				x	x		
ALCOHOLES															
1-Octen-3-ol									x			x	x	x	x
1-Octanol (CAS)								x	x	x		x	x	x	x
1-Nonanol (CAS)													x		
.beta.-Ionol				x				x	x			x	x	x	x
4,4-Dimetiladamantan-2-ol															
ALDEHIDOS															
2-Hexenal (E)-(CAS)	x					x			x		x	x	x		
Nonanal (CAS)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2-Decenal, (E)- (CAS)								x	x	x		x	x	x	x
Palmitaldehido, dialil acetal (CAS)												x	x	x	
Tetradecanal (CAS)				x				x	x	x		x	x	x	x
ESTERES															
Acido hexanoico, etil ester			x	x				x	x	x		x	x	x	x
Acido Pronanodioico, (1-metil-etil)-,dietil ester (CAS)												x	x	x	x

8(E)-trieno, los cuales podrían contribuir a notas dulces del sabor del carambolo. Se debe notar la ausencia de compuestos tipo cetona, fenil cetonas principalmente que imparten aroma verde fresco, en los análisis realizados a las tajadas de carambolo, y reportados como presentes en frutos frescos de carambolo.

En el transcurso del tiempo y dependiendo del tipo de almacenamiento algunos compuestos presentan un notorio incremento, el cual puede estar relacionado directamente con los procesos metabólicos naturales y derivados del metabolismo sufrido durante el almacenamiento del producto en postcosecha. En frutos climatéricos como el carambolo el proceso biosintético de formación de olores en cantidades notorias, se presenta solo al empezar su proceso maduración y hasta la senescencia, por lo que se relaciona directamente con la respiración, proceso responsable de la degradación de compuestos como ácidos orgánicos y azúcares a partir de rutas bioquímicas para la producción de ésteres, alcoholes algunos aldehídos, y ácidos de bajo peso molecular responsables del aroma así como también compuestos característicos (ácido acético) del proceso de fermentación del producto (Badui, 1981).

Es probablemente que por esta razón a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento del producto se genere proporcionalmente un aumento en la cantidad de compuestos volátiles presentes. El hecho que las condiciones de empaque afectan directamente el proceso de maduración puede explicar la diferencia en el comportamiento de la aparición de compuestos volátiles entre el almacenamiento a granel y vacío o atmósfera modificada, en estos dos últimos, los procesos degradativos son paulatinos extendiendo así el tiempo de vida útil y a su vez la producción de compuestos relacionados al aroma en la maduración del producto, contrario a lo que se observa en granel donde la producción de

compuestos volátiles es menor ya que el ataque microbiano reduce su tiempo de vida útil.

En relación con la identificación de los compuestos volátiles de rodajas de carambolo y con su seguimiento en almacenamiento durante el transcurso del tiempo, se puede inferir, que compuestos por su constante presencia durante el análisis son probablemente los responsables del perfil aromático de este producto en almacenamiento; entre los mas relevantes se encuentran: Metil ciclohexano, Hexadecano, Heneicosano, Nonanal, Acido benzoico metil ester, Acido-2-propenoico-3-fenil, metil ester, resultado que concuerda con los resultados previos reportados por Mahattanatawee (2006).

7.2.12 Contenido de azúcares y ácidos orgánicos no volátiles

Para la determinación del contenido de azúcares y ácidos orgánicos no volátiles se presentaron dificultades ya que por el deterioro de la fase estacionaria de la columna Aminex HP- 87X y de los detectores de índice de refracción para azúcares y UV λ 210 nm para ácidos orgánicos no volátiles del equipo de cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) del Laboratorio de Investigaciones en Postcosecha de la Universidad del Quindío, no se pudo obtener reproducibilidad en los datos y los tiempos de retención obtenidos no eran confiables, por lo tanto, este resultado no se puede reportar en esta investigación.

7.2.13. Actividad enzimática

Las rodajas de carambolo poseen tejidos ricos en compuestos fenólicos, los cuales son oxidados por las enzimas POD y PPO siendo estos los responsables del oscurecimiento de los tejidos al ser estos expuestos al oxígeno del aire.

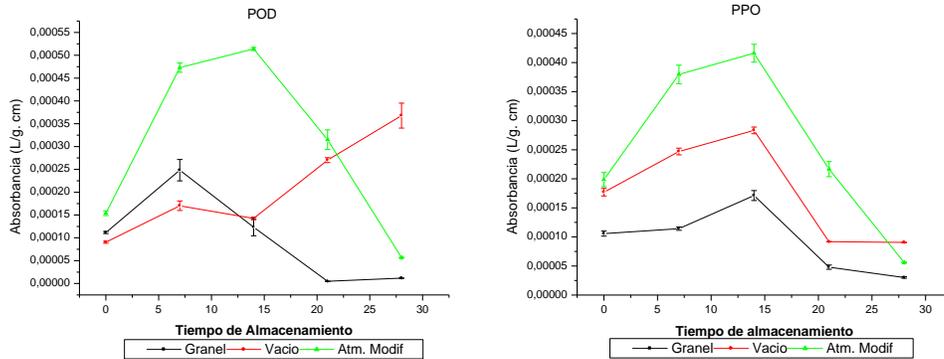


Figura 39a. Actividad de la peroxidasa (POD), Figura 39 b. Actividad de la polifenol oxidasa (PPO) de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenadas a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

La enzima POD, en presencia de H_2O_2 , cataliza la oxidación de sustratos tales como fenoles, aminas aromáticas secundarias y terciarias, ácido ascórbico y ácido oxálico, ácido más representativo del carambolo, e indoles (Hernández *et al.* 1997). En la figura 39a se muestra el comportamiento de esta enzima durante el almacenamiento a granel, vacío y atmósfera modificada apreciándose un patrón de comportamiento similar para los tres tipos de ensayos donde el valor de la absorbancia es directamente proporcional a la actividad enzimática, aumenta en los primeros días de almacenamiento, hasta encontrar su valor máximo el cual varía dependiendo del tipo de empaque; con un nivel de significancia de $p < 0.05$; el proceso acelerado inicial de oscurecimiento está probablemente relacionado con la acción de la POD en el último paso de polimerización de los alcoholes cinamílicos para formar ligninas, evidenciando la responsabilidad del proceso de lignificación en el oscurecimiento de tejidos sometidos a daño mecánico y almacenamiento durante un periodo determinado (Imberty *et al.*, 1985).

Recientemente, se evaluó el oscurecimiento de cilindros de jícama y relacionándolo con la actividad de las enzimas PPO y POD, así como con el contenido de fenoles totales y ligninas. Los resultados sugirieron que la POD juega un papel más importante en el oscurecimiento de cilindros de jícama que la PPO y que el desarrollo del oscurecimiento está relacionado principalmente con el proceso de lignificación que ocurre en la superficie del tejido (Aquino-Bolaños y Mercado-Silva, 2004).

Es necesario notar que la actividad inicial de la POD en las rodajas de carambolo para los tres casos es baja gracias al control enzimático realizado durante el proceso de empaque (tratamiento químico con ácido cítrico y ácido ascórbico), pero ésta inicia su proceso inmediato de reactivación dependiendo del aporte de aire (oxígeno) presente en cada uno de los tipos de almacenamiento, es por esta razón que el producto almacenado a granel presenta colores pardos notorios a los 7 días, contrario a lo que ocurre en los otros almacenamientos donde se controla la concentración de oxígeno en el interior del empaque. De esta manera se explica por qué en atmósfera modificada, donde el aporte de oxígeno es moderado, y al vacío, donde no existe o es muy baja la disposición de O_2 , la concentración máxima de la enzima POD se alcanza a los 14 y 28 días respectivamente, manteniendo colores característicos del producto fresco por más tiempo por la inhibición de la POD al minimizar el contacto del producto fresco cortado con el oxígeno.

En relación con este comportamiento otros autores han observado que niveles bajos de O_2 (inferiores al 5%) en combinación con concentraciones de 5 – 10 % de monóxido de carbono, retrasan el oscurecimiento y aumenta la vida en anaquel de lechuga y otros productos (Cantwell, 1992). Artes *et al.* (1998) reportan que el aumento en la concentración de CO_2 inhibe la síntesis de los compuestos fenólicos que han sido inducidos como consecuencia del daño producido por el corte del producto, retardando así el oscurecimiento.

El comportamiento de la actividad de la enzima PPO durante el almacenamiento de rodajas de carambolo fresco cortado se observa en la figura 39b, la cual presenta una evolución de la acción enzimática similar para los tres tipos de empaque, a pesar de que se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los diferentes empaques analizados. Los tres tratamientos muestran un incremento a partir del día cero hasta alcanzar su punto máximo en el día 14 de almacenamiento, este aumento puede estar influenciado por los procesos de maduración y senescencia, relacionados con la respiración del producto en el empaque, durante los cuales se generan productos de degradación, estos productos aumentan probablemente la concentración de sustratos (compuestos fenólicos) sobre los cuales actúa la enzima generando productos indeseables de color oscuro (Nicolás *et al.* 1994; Lee y Whitaker 1995). Es necesario notar que la actividad enzimática en los tres tipos de almacenamiento se ve disminuida a partir el día 14; esta inactivación de la enzima puede estar relacionada directamente con el proceso de respiración, proceso mediante el cual se metabolizan compuestos que generan un cambio significativo en el aumento de la acidez y la disminución del pH, parámetros que inactivan la acción de la enzima.

La tabla ANOVA para POD y PPO comprueba la significación estadísticamente en cada uno de los factores según el modelo, el P-valor inferior a 0.05 comprueba lo anterior, esto a un nivel de confianza de 95%, con interacción en cada uno de los tiempos de almacenamiento y los tipos de empaque usados en los ensayos. Lo que indica el rechazo de la hipótesis nula. (Anexo A, Tabla 21, 22, 23 y 24).

En correlación a esta investigación Rocculi *et al.* (2005) compararon el efecto de la sustitución de N_2 por N_2O o Ar en el empaque en atmósfera modificada (EAM) activo, durante el almacenamiento por 12 días a $4^\circ C$ de rebanadas de kiwi y concluyeron que el EAM con 90% N_2O + 5% O_2 + 5%

CO₂ fue la mejor combinación de gases, ya que disminuyó el oscurecimiento del producto y mantuvo el color verde durante el periodo de almacenamiento. El empaque de rebanadas de 5 mm de manzana Golden delicious en bolsas de plástico Cryovac EAM con 100% N₂ a 4°C retrazó eficazmente su oscurecimiento enzimático (Soliva-Fortuny et al, 2002). Rocha y Morais (2001) reportaron la reducción en los cambios de color y en el oscurecimiento por la inhibición de la actividad de la polifenoloxidasas en cubos de manzana Jonagored mediante su almacenamiento en frascos de vidrio usando EAM con concentraciones de 2% O₂ y 12% CO₂ a 4°C.

7.2.14 Análisis microbiológicos

El recuento de microorganismos mesófilos aerobios es el índice más comúnmente utilizado para conocer la calidad sanitaria de un alimento; en él se estima la flora total sin especificar tipos de gérmenes, y se considera que tasas superiores a 10⁶-10⁷ unidades formadoras de colonia por gramo, suelen ser ya inicio de descomposición (Pascual, 1992). En Colombia actualmente no existe una legislación para vegetales frescos cortados, y a nivel internacional en esta industria, las empresas dedicadas a esta actividad sí han realizado y siguen efectuando importantes ajustes en materia de inocuidad, porque han comprendido cuán importante es la seguridad alimentaria en este tipo de productos, precisamente por su condición de “alimentos frescos”. En este sentido también es importante señalar la presión que están ejerciendo los consumidores, por obtener productos seguros, principalmente en el caso en que el mercado consumidor son restaurantes, servicios de comida colectiva, restaurantes de comidas rápidas, franquicias y mercados de exportación. Es relevante que además de los aspectos de inocuidad, también se consideren los factores de calidad como la textura, el color, el sabor y el aroma. En

trabajos anteriores (Tejedor, 2004), se resalta que los productos vegetales frescos cortados son cada vez más demandados, y que los parámetros de seguridad e inocuidad son muy importantes, por lo que en Colombia debe iniciarse el proceso de legislación en estos aspectos. Sin embargo, la principal limitante que se tiene hasta la fecha es la falta de regulación, normas y controles específicos para los productos vegetales frescos cortados, y el hecho de que gran parte de la población desconoce la existencia de este tipo de productos (Tejedor-Espinosa, 2006).

De acuerdo a lo planteado anteriormente se estableció para esta investigación un límite máximo admisible de 10^6 unidades formadoras de colonia por gramo (ufc/g) para los recuentos tanto de microorganismos mesófilos aerobios viables, como de hongos, levaduras y psicrófilos.

Como era de esperarse, de los tres tipos de empaque el que permitió mayor proliferación microbiológica fue granel en comparación con los tratamientos a vacío y en atmósfera modificada (figura 40).

Actualmente se sabe que la presencia inicial de microorganismos en los vegetales mínimamente procesados obedece tanto al medio ambiente al que se ven expuestos antes del cortado (suelo, insectos, animales o humanos), como a la contaminación en prácticamente todos los puntos de la cadena de producción de los mismos, siendo mas comunes los instrumentos de cortado que entran en contacto con el vegetal los que aportan dicha carga inicial (González-Aguilar, 2005). El recuento de mesófilos aerobios viables inicial para las rodajas de carambolo fresco cortado fue de $\log_{10} 3,38$ ufc/g, y según Beuchat *et al.* (1996) cuando el fruto precortado es empackado, en la mayoría de los casos lleva consigo una población total de microorganismos de 10^4 a 10^6 microorganismos por gramo.

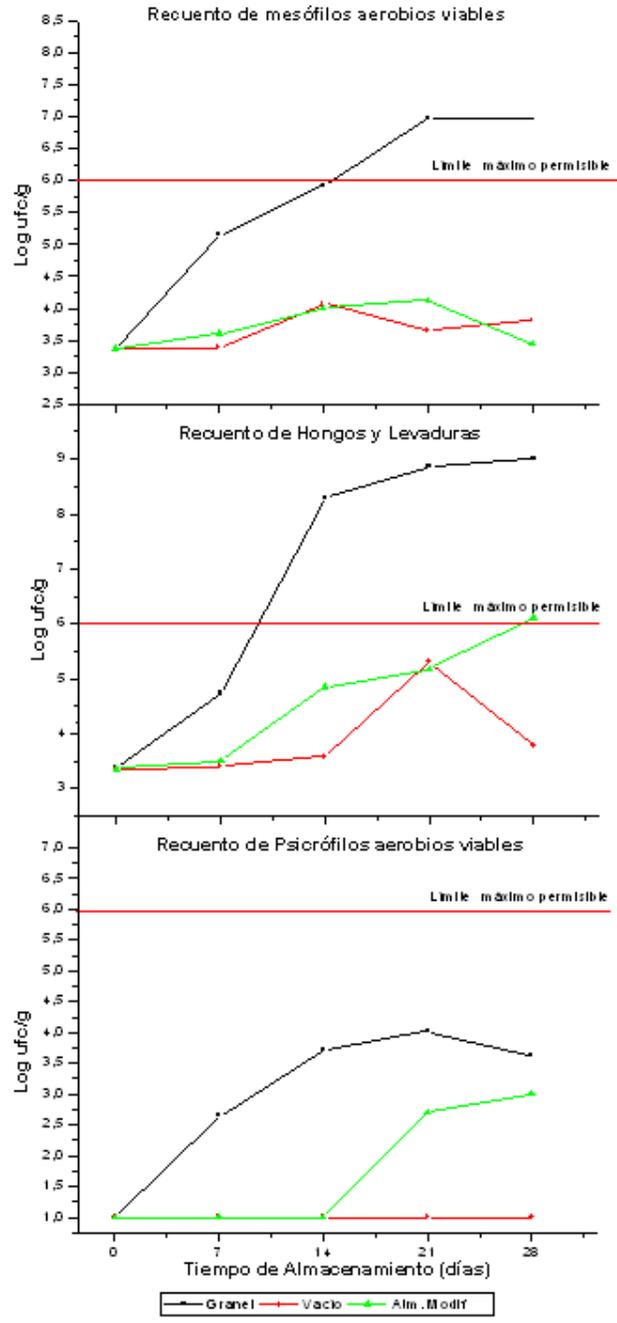


Figura 40. Recuento de mesófilos aerobios viables, hongos y levaduras y psicrófilos aerobios viables para rodajas de carambolo fresco cortado almacenado a granel, vacío y atmósfera modificada en función del tiempo de almacenamiento.

En el recuento de mesófilos aerobios viables se observó una tendencia similar para los tratamientos a vacío y en atmósfera modificada, mostrando un máximo de microorganismos de \log_{10} 4,08 y 4,12 el día 14 y 21 de almacenamiento, respectivamente. El tratamiento a granel llega al límite máximo permitido aproximadamente en el día 14 de almacenamiento por lo que su inocuidad al consumidor solo puede ser garantizada hasta éste día, mientras que para los otros dos tratamientos se acepta dicho resultado.

Se han estudiado las frutas y verduras en la época de la recolección y se ha encontrado que los recuentos promedio de levaduras están comprendidos entre <1000 y 67000/g de tejido (Silliker, 1980). En el recuento de Hongos y Levaduras para las rodajas de carambolo fresco cortado se encontró una carga inicial de \log_{10} 3,36 ufc/g y a través del tiempo, se observaron tendencias diferentes para cada tipo de empaque. El empaque a granel muestra su máximo permisible en el día 9 de almacenamiento, en atmósfera modificada el día 27 mientras que vacío nunca iguala o sobrepasa dichos valores. En general, el crecimiento de hongos y levaduras fue mayor que el de mesófilos aerobios viables para los tres tipos de almacenamiento, siendo los máximos de \log_{10} 8,99, 5,31 y 6,12 ufc/g para granel en el tiempo 28, vacío en el tiempo 21 y atmósfera modificada en el tiempo 28 respectivamente. Se ha encontrado un mayor crecimiento de hongos y levaduras que de bacterias en los vegetales frescos cortados ya que los exudados de las frutas proveen nutrientes para las levaduras, especialmente levaduras pigmentadas como especies de *Rhodotorula* (Gonzalez-Aguilar, 2005).

El recuento de microorganismos psicrófilos aerobios viables con carga inicial <10 ufc/g muestra una tendencia al crecimiento para las rodajas de carambolo fresco cortado empacadas a granel hasta el día 14 de almacenamiento, con una aparente estabilidad hasta el día 21 que

corresponde a la fase de latencia para luego iniciar la muerte microbiana con un descenso en la cantidad de unidades formadoras de colonia hasta el día 28. El empaque a vacío resultó ser el mejor tratamiento para este recuento microbiano ya que nunca se igualaron o superaron las 10 ufc/g mientras que en el empaque en atmósfera modificada se encontró un máximo en el día 28 de almacenamiento de \log_{10} 3,0 ufc/g que aunque es un crecimiento mayor al observado en el empaque a vacío, no supera el valor obtenido en granel de \log_{10} 4,02 ufc/g en el día 21.

El género *Clostridium* es anaeróbico estricto, por lo que los vegetales empacados en atmósferas modificadas representan un riesgo para el desarrollo del patógeno (Gonzalez-Aguilar 2005). En la presente investigación se evaluaron dos tipos de empaque que por sus características permitían la anaerobiosis del producto dentro de las bolsas, debido a que éstas son una barrera fuerte al oxígeno y luego de consumido éste la atmósfera queda rica en CO_2 , por lo que se realizó el recuento de esporas *Clostridium* como análisis microbiológico. No se encontraron resultados positivos de éste análisis para ninguno de los tres tipos de empaque en ningún tiempo de almacenamiento por lo que no se reportan gráficas de crecimiento microbiano como resultado.

7.3 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE RODAJAS DE CARAMBOLO FRESCO CORTADO EMPACADO A GRANEL, VACÍO Y ATMÓSFERA MODIFICADA

De acuerdo con la carta de color se escogió el estado de madurez 5 de las rodajas de carambolo fresco cortado para el estudio de las propiedades fisicoquímicas, enzimáticas y microbiológicas de éstas, almacenadas a

granel, vacío y en atmósfera modificada. El espesor de las tajadas de fruta establecido para realizar estos estudios fue de 5 mm.

Se determinó que a pesar de la poca diferencia existente en el peso de las rodajas de carambolo durante todo el tratamiento y en los diferentes empaques, el tratamiento con atmósferas modificadas es más efectivo ya que mantiene constante por más tiempo este parámetro en las rodajas de carambolo evaluadas.

Las rodajas de carambolo fresco cortado mostraron un comportamiento climatérico de acuerdo a su índice de respiración, resultado no reportado previamente en la bibliografía especializada consultada. El almacenamiento en atmósfera modificada fue la mejor alternativa para retardar la senescencia del producto con un máximo climatérico a los 21 días; para los tratamientos a granel y a vacío en el que dicho máximo se obtuvo a los 14 días de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración.

El empaque en atmósfera modificada mantiene constante de manera efectiva la cantidad de sólidos solubles, el porcentaje de acidez titulable y de humedad de las rodajas de carambolo fresco cortado, en comparación con los otros dos empaques evaluados. El empaque a vacío fue el tratamiento más efectivo en la conservación del pH del fruto cortado.

Los tres tipos de empaques alternativos utilizados, lograron mantener constantes los valores de la actividad de agua y el contenido de cenizas de las rodajas de carambolo durante todo el tiempo de almacenamiento.

Se estableció que las rodajas de carambolo fresco cortado empacadas a vacío mantienen su color inicial por más tiempo durante almacenamiento; en el empaque a vacío los parámetro a^*-b^* de las rodajas mantiene el color de éstas en el plano cromático verde-amarillo a diferencia del

almacenamiento a granel y atmósfera modificada que desplazan el croma hacia un color mas puro (amarillo-rojo), menos brillante.

Aunque se observó una disminución periódica en la fuerza máxima de fractura así como en el área bajo la curva de las rodajas de carambolo en los tres empaques, aquellas almacenadas bajo atmósfera modificada mantienen mejor su textura en comparación con los otros dos tipos de empaque evaluados.

Respecto del perfil aromático de las rodajas de carambolo fresco cortado almacenado a granel, vacío y en atmósferas modificadas, se puede inferir que compuestos hallados tales como: Acido-2-propenoico-3-fenil, metil éster, Acido benzoico metil éster, ácido hexanoico etil ester, 1-nonanol, β -ionol, nonanal, contribuyen al aroma dulce verde frutal, dulce afrutado, floral y calido sulfuroso propios del carambolo fresco.

Compuestos volátiles que contribuyen al aroma de frutos frescos de carambolo, principalmente alcoholes, ausentes en frutos almacenados a granel aparecen durante el tiempo de almacenamiento tanto a vacío como en atmósfera modificada, posiblemente como resultado de la actividad metabólica desarrollada durante los 28 días de almacenamiento.

Para la actividad enzimática de PPO y POD se comprobó que en la medida que el empaque evita el contacto directo de las rodajas de carambolo fresco cortado con el aire (oxígeno), se disminuyen los efectos de pardeamiento durante el tiempo de almacenamiento.

Se estableció un máximo permisible de 10^6 ufc/g ($\log_{10} 6$) para los recuentos microbiológicos de mesófilos aerobios viables, hongos y levaduras y psicrófilos aerobios viables. Se rechazó el tratamiento a granel el día 7 y en atmósfera modificada el día 27 de almacenamiento ya que se

excedían dichos límites, por lo que es el tratamiento a vacío el que garantiza la inocuidad microbiológica del producto por más tiempo. El recuento de esporas Clostridium fue negativo en los tres tipos de empaque y durante todo el tiempo de almacenamiento.

8. CONCLUSION

De acuerdo con los resultados fisicoquímicos, enzimáticos y microbiológicos, y teniendo en cuenta que para vegetales frescos cortados los parámetros más relevantes son la apariencia, color, olor y textura, derivados de la actividad respiratoria, actividad enzimática y microbiológica principalmente, se concluye que el almacenamiento en atmósfera modificada de rodajas de carambolo fresco cortado presenta el mejor comportamiento, ya que permite conservar por 21 días dichas características frente a las del producto fresco, esta conclusión excluye los resultados del contenido de azúcares y ácidos orgánicos no volátiles que podrían dar información complementaria; sin embargo, desde el punto de vista microbiológico el producto empacado al vacío presenta las mejores características con respecto a este parámetro.

9. RECOMENDACIONES

- ♦ Se recomienda ejecutar el análisis de azúcares y ácidos no volátiles por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) planteado al inicio del proyecto, ya que dichos datos son importantes en la evaluación de las características de las rodajas de carambolo fresco cortado durante el proceso de empaque y almacenamiento en atmósferas modificadas.

Teniendo en cuenta que según los reportes bibliográficos, previamente no se había abordado en Colombia el estudio de conservación, en atmósfera modificada y al vacío, de rodajas de carambolo fresco cortado, para futuras investigaciones se recomienda:

- ♦ Evaluar el comportamiento de las rodajas del fruto en diferentes concentraciones de gases: O_2 y CO_2 y cuya amplitud de rango sea inferior a la empleada en este ensayo; además, realizar ensayos con empaques alternativos con una mejor barrera al vapor de agua y al oxígeno para así reducir los procesos de respiración y pardeamiento enzimático. Se sugiere el uso de bolsas de Polipropileno (PP) por su amplio uso en la conservación de frutas frescas cortadas y sus propiedades físicas que permiten extender el uso de los productos por su baja permeabilidad al vapor de agua, su resistencia y su bajo costo.
- ♦ Analizar el contenido de O_2 y CO_2 de los empaques de rodajas de carambolo fresco cortado, empacadas a vacío y en atmósfera

modificada en los cinco tiempos de almacenamiento seleccionados, con el fin de determinar la cantidad de oxígeno disponible y de dióxido de carbono producido y comparar dichos valores con los obtenidos en la curva de índice de respiración de este trabajo.

- ♦ Sería relevante la utilización de micrografía óptica y microscopía electrónica de barrido (SEM) con el fin de observar y determinar los cambios celulares ocurridos como resultado de la utilización del empaque al vacío y en atmósfera modificada, al tiempo que permita comprender el comportamiento de la textura de la fruta bajo dichas condiciones.

10. BIBLIOGRAFIA

AGA. 2006. Hoja de seguridad del material (MSDS) Mezcla MAPAX serie 210. AGA Fano S.A. Bogotá, Colombia.

AGAR, I. T., Massantini, R., Hess-Pierce, B., Kader, A.A. 1999. Postharvest CO₂ and Ethylene Production and Quality Maintenance of Fresh-Cut Kiwifruit Slices. *J. of Food an Sci.* 64 (3): 433-440

AGUAYO E, V Escalona, F Artes. 2004. Quality of fresh-cut tomato as affected by type of cut, packaging, temperature and storage time. *Eur. Food Res. and Technol.* 219 (5): 492-499.

ALASALVAR C, M Al-Farsi, PC Quantick, F Shahidi, R Wiktorowicz. Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. *Food Chem.* 89:69-76.

AOAC. (1997). Official methods of analysis, 16 th edición, 3era revision. Association of official Analytical Chemists, Washington, DC.

- AQUINO-BOLAÑOS EN, E Mercado-Silva, 2004. Effects of polyphenoloxidase and peroxidase activity, phenolics and lignin content on the browning of cut jícama. *Postharvest Biol. and Technol.* 33:275-283.
- ARRUBLA, R.C., Rivera, G. 2001. Comportamiento del Lulo La Selva (*Solanum quitoense* Lam.) almacenado en atmósferas modificadas. Facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías. Universidad del Quindío. (Inédito)
- ARTES F, M Castañar, MI Gil. 1998. El pardeamiento enzimático en frutas y hortalizas mínimamente procesadas. *Int. J. of Food Sci. And Technol.* 4 (6): 377-389.
- BADUI, d. Salvador. 1981. *Química de los alimentos*. Departamento de Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Pp 28 -29
- BAI JH, RA Saftner, AE Watada, YS Lee. 2001. Modified atmosphere maintains quality of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *J. of Food Sci.* 66 (8): 1207-1211.
- BAI JH, RA Saftner, AE Watada. 2003. Characteristics of fresh cut honeydew (*Cucumis melo* L.) available to processor in winter

and summer and its quality maintenance by modified atmosphere packing. *Postharvest Biol. And Technol.* 28 (3): 349-359

BEUCHAR LR. 1996. Pathogenic microorganisms associated with fresh produce. *J. Food Prot.* 59: 204-216

Biblioteca de consulta multimedia. Enciclopedia Encarta 2006. Microsoft Corporation.

BRECHT J. K., Chau K. V., Fonseca S. C., Oliveira F. A. R, Silva F. M., Nunes, M. C. N., Bender R. J. 2003. Maintaining optimal atmosphere conditions for fruits and vegetables throughout the Postharvest handling chain. *Postharvest Biology and Technology* 27: 87-101

BRODY AL. 1999. Markets for MAP foods. *In: Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods.* Cap. 2. Second edition. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, MA. pp. 15-38.

BURG SP, EA Burg. 1967. Molecular requirement for the biological activity of ethylene. *Plant Physiol.* 42:144-152.

CAMACHO, G. 2002. Osmodeshidratación de frutas. Instituto de Ciencia y Tecnología de alimentos, ICTA; Universidad Nacional de Colombia.

www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obfrudes/p3.htm

CAMERON AC, A Smith. 1997. Modified atmosphere packaging: potential and reality. In: Proceeding of 7th International Controlled Atmosphere Conferences. Gorny JR. (Ed.). p.67. Vol 5, Davis, Ca.

CANTWELL M. 1992. Postharvest handling systems: Minimally processed fruits and vegetables. In: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 2nd ed. Division of Agricultural and Natural Resources. AA Kader. (Ed.) University of California Publication 3311. pp 277-281.

CANTWELL M. T Suslow. 2002. Postharvest Handling Systems: Fresh-Cut Fruits and Vegetables. In: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Kader AA. (Ed.) Third Edition. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California. Publication 3311. Cap. 36. pp 445-463.

CARBALLO, B.M. 1989. Tecnología post-recolección de frutas y hortalizas. Colección información técnica agraria, serie

agricultura, consejería de agricultura y comercio de la junta de Extremadura. España.

CCI. 1998. Mercados internacionales. Importaciones de frutas tropicales exóticas: estados Unidos y Europa. Exótica. Corporación Colombia Internacional. Bogotá, Colombia. Año 2 (6) abril – Junio. Consultado octubre 23 de 2006, en <http://www.cci.org.co/publicaciones/exótica/exótica06.html>

CHARLEY, H. 1998. *Tecnología de alimentos*. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos. Editorial Limusa S.A de C.V. Grupo Noriega editores. México D.F. Pp 90-93

CHRISTIANSEN, C.M. 1984. Food texture perception. *Advances in food Research*. 29: 159-199

CIAD. Centro de Investigación en Alimentación y desarrollo. “Desarrollo de tecnologías para la conservación de productos vegetales frescos cortados”. Hermosillo, Sonora, México. Consultado Octubre 23 2006 en http://www.ciad.mx/dtaov/XI_22CYTED/intro.html

CONSUMER.es EROSKI. Revista de la Fundación Eroski. “Carambola”. Vizcaya, España. Consultado Octubre 23 2006 en

<http://frutas.consumer.es/documentos/tropicales/carambola/intro.php>

CORREA, MA. 2002. *Temas en Tecnología de alimentos* Vol. 1 Grupo Editorial Alfa omega. México DF. Pp. 21-22, 272-279.

DE ALMEIDA, T., Durigan J. F., Mattiuz, B-H., Alves, R. O'Hare, T.J. 2006. Cultivar affects browning susceptibility of freshly cut star fruit slices. *Sci. agric.* (Piracicaba, Braz.) vol.63 no.1

DEL CARO A, A Piga, V Vacca, M Agabbio. 2004. Changes of flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity in minimally processed citrus segments and juices during storage. *Food Chem.* 84 (1): 99-105.

EDIS. Electronic Data Information Source of University of Florida/IFAS Extension. 2006. "Carambola". Florida, Estados Unidos de América. 1994. Consultado Octubre 23 de 2006 en (<http://edis.ifas.ufl.edu/HS278>)

FABER JN, LJ Harris, ME Parish, LR Beuchat, TV Suslow, JR Gorny, UH Garrentt, FF Busta. 2003. Microbiological safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce. *In: Comprehensive Reviews in Food Science and*

Food Safety. Vol. 2 (Supplement). Cap. 4. A Report of the Institute of Food Technologists for the Food and Drug Administration of the United States Department of Health and Human Service. Pp. 142-160.

FAO. Food and agriculture organization of the United Nations, 2007. Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. Consultado el 23 de mayo de 2007 en <http://www.fao.org/docrep/x5055S/x5055S02.htm>

FLORIDA GARDENER.com. 1999 "Fotos Árbol de Carambolo". Florida. Estados Unidos de América. 1999-2006. Consultado Octubre 23 de 2006 en <http://www.floridagardener.com/pom/carambolatree.jpg>

FONSECA SC, FAR Oliveira, JK Brecht, KV Chau. 2005. Influence of low oxygen and high carbon dioxide on shredded Galega Kale quality for development of modified atmospheres packages. *Postharvest Biol. And Technol.* 35:279-292.

FORERO B, Daniel G. 2002. *Poscosecha hortofrutícola*. Facultad de ciencias Agrarias. Universidad Abierta y nacional a distancia. Bogotá D.C. Pp 75-76

GALLO, P. F. 1997. *Manual de fisiología, patología*. Postcosecha y control de calidad de frutas y hortalizas. Convenio SENA-reino Unido. Segunda Edición. Armenia, Colombia.

GARCÍA, S., MEJÍA, G. 2004. Evolución de las propiedades físicas y bioquímicas durante la cinética de deshidratación osmótica del carambolo (*Averrhoa carambola L.*) var, Icambola. Trabajo de grado, Programa de Química, Facultad de ciencias básicas y tecnologías, Universidad del Quindío. Armenia, Colombia. (Inédito)

GOBANT, 2004 Gobernación de Antioquia, Medellín Colombia. Consultado octubre 23 de 2006 en <http://www.gobant.gov.co>.

GOMEZ PA, F Artes. 2005. Improved Keeping quality of minimally fresh processed celery sticks by modified atmosphere packaging. *LWT – Food Sci. and Technol.* 38 (4): 323-329.

GONZÁLEZ-AGUILAR GA, G. A., C. Y. Wang, J. G. Buta. 2000. Maintaining quality of fresh cut mangoes using antibrowning agents and modified atmosphere packaging. *J. Agric. And Food Chem.* 48 (2): 515-519.

GONZÁLEZ-AGUILAR GA, JF Ayala-Zavala, S Ruiz-Cruz, E Acedo-Felix, ME Diaz-Cinco. 2004. Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technol-Food Sci. and Technol.* 37 (8): 817-826.

GONZÁLEZ-AGUILAR GA, F Cuamea-Navarro. 2005. Nuevas Tecnologías de Conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados. Conferencia Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. La Habana, Cuba. Marzo. ISBN. 968-5862-01-X. pp. 140.

GONZALEZ-AGUILAR GA, Gardea AA, Cumenea N. F. 2005. *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*. Centro de investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.). México.

GONZÁLEZ GE. 1981. Manual de técnicas recomendadas para el análisis microbiológico de los alimentos. MINSALUD, INAS. Laboratorio de alimentos Microbiología de Alimentos. Bogotá.

GORNY JR. 2001. Food safety guidelines for the fresh-cut produce industry. 4th ed. International Fresh-cut Produce Association, Arlington, VA. 216pp.

GORNY JR, B Hess-Pierce, RA Cifuentes, AA Kader. 2002. Quality changes in fresh-cut pear slice as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharvest Biol. And Technol.* 24 (3): 271-278.

GORRIS CGM, HW Peppelenbos. 1992. Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respire produce. *HorTechnol.* 2:303-315.

GOUBLE B, D Fath, P Soudain. 1995. Nitrous oxide inhibition of ethylene production in ripening and senescing climacteric fruits. *Postharvest Biol. And Technol.* 5:311-321.

HABIBUNNISA-BASKARAN R, R Prasad, KM Shivaiah. 2001. Storage behavior of minimally processed pumpkin (*Cucurbita maxima*) under modified atmosphere packaging conditions. *Eur. Food Res. and Technol.* 212 (2): 165-169.

HAKIM A, Me Austin, D Batal, S Gullo, M Khatoon. 2004. Quality of fresh-cut tomatoes. *J. of Food Quality.* 27 (3): 195-206.

HART, F.L., Fisher, H.D. (1991). Análisis moderno de los alimentos. De la edición en lengua española. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

<http://www.monografias.com/trabajos15/determinacionhumedad/determinadete-humedad.shtml>

HERNANDEZ, G., María S., Barrera, G., Jaime A. 2001. Actualización en técnicas de aprovechamiento de especies nativas del bosque amazónico. Instituto Amazónico de Investigaciones científicas SINCHI. Leticia, Colombia.

HERNÁNDEZ, T., Bernalte, M.G., Sabio, E., Vidal-Aragón, M.C. (1997). Actividad peroxidasa y polifenoloxidasa de dos variedades de cereza durante la maduración. En: Alimentaria. pp. 45 – 48.

HONG SI, D Kim. 2004. The effect of packaging treatment on the storage quality of minimally processed bunched onions. *Int. J. of Food Sci. and Technol.* 39 (10): 1033-1041.

ICA 1972. Icambola. Un Nuevo cultivar de carambola, *Averrhoa carambola* L., en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá, Colombia. Consultado septiembre 5 de 2006 en <http://intranet.corpoica.org:8080/catálogo/mfn.php>

IMBERTY, A, R Goldberg, AM Catesson. 1985. Isolation and characterization of populus isoperoxidases involved in the last step of lignin formation. *Planta.* 164:221-226

KADER AA, D Zagory, EL Kerbel. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Sci. and Nutr.* 28(1): 1-30.

KADER K, S Ben-Yehoshua. 2000. Review: Effects of superatmospheric oxygen levels on Postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. *Postharv. Biol. Technol.* 20: 1-3.

KADER A.A, CB Watkins. 2000. Modified atmosphere packaging- Toward 2000 and beyond. *HorTechnol.* 10 (3): 483-486.

KADER A.A. 2002. Modified atmospheres during transport and storage. *In: Postharvest Technology of Horticultural Crops.* Third Edition. Division of Agriculture and Resources. University of California Publication 3311. Ch. 14. pp 135-144.

KAIRUZ, D. 2002. *Introducción al estudio de la Composición de los Alimentos.* Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Julio Carrizosa Valenzuela No. 10. Bogotá, D.C.

KAYS SJ. 1999. Preharvest factors affecting appearance. *Postharv. Biol. Technol.* 15: 233-247

- KIM, JG., Y Luo., Y Tao, RA Saftner, Kc Gross. 2005. Effect of initial oxygen concentration and film oxygen transmission rate on the quality of fresh cut romaine lettuce. *J. of the Sci. of food and Agric.* 85 (10): 1622-1630
- LAM, P. F. Y Wan, C. K. 1983. Climateric nature of the carambola (*Averrhoa carambola* L.) fruit. *Pertanika*, 6.44 47.
- LAM, P. F. Y Wan, C. K. 1987. Ethylene and carbon dioxide production of starfruits (*Averrhoa carambola* L.) stored at various temperatures and in different gas and relative humidity atmospheres. *Tropical Agriculture* 64, 181 – 184.
- LANGE DL. 2000. New Film technologies for horticultural products. *HorTechnol.* 10(3): 487-490.
- LEE CY, JR Whitaker. 1995. Enzymatic Browning and its prevention. ACS Symposium Series 600. Washinton, DC. USA.
- LONDOÑO, C. 2004. Caracterización fisicoquímica del carambolo (*Averrhoa carambola* L.) durante maduración en postcosecha. Trabajo de grado, Programa de Ingeniería agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad La Gran Colombia, Quindío. Armenia, Colombia. (Inédito)

- LOUGHEED EC, DP Murr, L Berard. 1987. Low pressure for horticultural crops. *HortSci*. 13(1): 21-26.
- MACDONALD, L., Schaschke, C.J. 2000 combined effect of high pressure, temperature and holding time on polyphenoloxidase and peroxidase activity in banana (*Musa acuminata*). *J Csi Food Agric* 80,719-724.
- MAHATTANATAWEE, K., Goodner, K.L., Baldwin, E.A. 2006. Volatile constituents and character impact compounds of selected Florida's tropical fruit. Proceedings of Florida State *Horticultural Society*. 118:414-418.
- MILLER D. D., 2003. *Química de Alimentos Manual de Laboratorio*. Departamento de Ciencia de los Alimentos. Cornell university. Ithaca, Nueva York.
- MINISTERIO DE SALUD – INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. 1990. *Análisis Microbiológico de Alimentos, Manual de Procedimientos*. Bogota Colombia.
- MORA B., RL. 2001. Principales componentes volátiles del aroma del Lulo “La selva” durante la maduración. Trabajo de grado, Programa de Química, Facultad de ciencias básicas y

tecnologías, Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.
(Inédito)

MORTON, F. 1987. *Frutas de climas cálidos*. Sistemas creativos de los recursos, inc. Pág. 125-128. Miami, fl

MOSTARDINI F, L Piergiovanni. 2002. Argon si, argon no. *Technologie Alimentarie*. 8: 76-77.

NAKASONE, H.Y. y R.E. PAULL. 1998. *Tropical Fruits*. CAB International. Biddles Ltd, Guildford y King's Lynn. London.

NICOLAS J, F Richard-Forget, P Goupy, MJ Amito. 1994. Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *CRC Crit. Rev. Food. Sci. Nut.* 34(2): 109-157.

O'HARE T.J. 1993. Postharvest physiology and storage of Carambola (starfruit): a review. *Postharvest Biology and Technology* Volume 2, Issue 4 , April 1993: 257-267

OSLUND, C. R., Davenport , T. L. 1983. Ethylene and Carbon Dioxide in Ripening fruit of *Averrhoa carambola*. *Hort Science* (18): 229-230.

PANTASTICO B. ER. 1975. Fisiología de la posrecolección, manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales. University of the Philippines. College of Agriculture College, Laguna, Philippines. Pp. 111-118.

PASCUAL A, M.R. 1992. *Microbiología alimentaria*. Ed. Diaz de Santos. Madrid, España

PELCZAR, J, M. E.C.S. Chan. 1984. *Elementos de microbiología*. Editorial McGraw-Hill. Madrid, España

PERKINS-VEAZIE P, JK Collins. 2004. Flesh quality and lycopene stability of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biol. And Technol.* 31 (2): 159-166.

PINZON, M. I., 2000. *Química de Alimentos Manual Para el Laboratorio*. Programa de Química, Facultad de ciencias básicas y tecnologías, Universidad del Quindío. Armenia, Colombia

PROFRUTALES Ltda. 2006. Carambola "Icambola". Productora de árboles frutales. Villa Gorgona. Municipio de Candelaria. Valle. Consultado Octubre 23 de 2006 en (<http://www.profrutales.com.co>).

QUICAZÁN, M., Fernández, C., Vargas, L. 2002. "Establecimiento de las condiciones de proceso para la elaboración de pulpa del fruto de carambola (*Averrhoa carambola* L)". Memorias. Octava Conferencia Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Ciudad de La Habana, Cuba.

RATTANAPANONE, N., Lee, Y., Wu, T., Watada, A.E. 2001. Quality and Microbial Changes of Fresh-cut Mango Cubes Held in Controlled Atmosphere. *HortSci*. 36(6): 1091-1095

REZA N. S., Flores E. A. L, Alonso N. M y Ramírez B. P. 2002. Evaluación de Textura, Color y Aceptación del Nopalito variedad *Milpa alta* Escaldado, a Diferentes Tiempos de Inmersión en Solución de NaCl y CaCl₂, y Empacado a Vacío. Facultad de Ciencias Químicas de la universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Artículo 123 s/n. Consultado 30 de mayo de 2006 en www.respyn.unalmx/especiales/2005/ee-13-2005/documentos/CNA24

ROCCULLI P, S Romani, M Dalla Rosa. 2005. Effect of MAP with argon and nitrous oxide on quality maintenance of minimally processed Kiwifruit. *Postharvest Biol. And Technol.* 35:319-328.

- ROCHA AMCN, AMMB De Morais. 2000. Effects of controlled atmosphere on quality of minimally processed apple (cv. Jonagored). *J. of Food Processing and Preservation*. 24 (6): 435-451
- ROCHA AMMB, AMMB De Morais. 2001. Influence of controlled atmosphere storage on polyphenoloxidase activity in relation to colour changes of minimally processed jonagored apple. *Int J. of Food Sci. and Technol.* 36: 425-432.
- ROJAS-GRAÜ, M.A., Grassa-Guillem, R., Martín-Belloso, O. 2007. Quality Changes in Fresh-Cut Fuji Apple as Affected by Ripeness Stage, Antibrowning Agents, and Storage Atmosphere. *J. of Food an Sci..* 72 (1): S36-S43
- ROSEN JC, AA Kader. 1989. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *J Food Sci.* 54 (3):656-659.
- ROSENTHAL, A.R. 2001. *Textura de los alimentos, medida y percepción*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- SALAZAR, L., Guevara, A., 2003. Obtención de Carambola (Averrhoa carambola L.) deshidratada por ósmosis. *Revista de la*

facultad de ingeniería. Universidad de Carabobo. Venezuela.
<http://servicio.cid.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a9n1/index.htm>

SILLIKER J.H, Elliott R.P, A.C. Baird-Parker, F.L. Bryan, J.H.B. Christian, D.S. Clark, T.A. Roberts. 1980. *Ecología Microbiana de los Alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

SOLIVA-FORTUNY RC, G Oms-Oliu, O Martin-Belloso. 2002. Effects of ripeness stages on the storage atmosphere, color, and textural properties of minimally processed apple slices. *J. of Food Sci.* 67 (5): 1958-1963.

SPENCER KC. 1995. The use of argon and other noble gas for the MAP of foods. *In: International Conference on MAP and Related Technologies*. Campden & Chorleywood Research Association Chipping Campden, UK.

TAYLOR, J. E. 1993. "Exotics". En G. B. Seymour; J.E. Taylor y G. A. Tucker (Editores), *Biochemistry of Fruit Ripening* (151 – 187). London: Chapman & Hall.

TEJEDOR W. 2004. Estado actual del mercado de frutos y vegetales frescos cortados en Panamá. *In: Memorias el Simposio*

Estado actual del mercado de frutos y vegetales cortados en Iberoamérica, San José, Costa Rica.

TEJEDOR, W. 2006. Aspectos de inocuidad en la industria de productos vegetales frescos cortados en Panamá. En: I Simposio Ibero-Americano de Vegetales Frescos Cortados, San Pedro, SP Brazil.

TROPICAL FRUIT PHOTO ARCHIVE. 2006 'Arkin' carambola inflorescence. "Foto Inflorescencia Carambolo". Ian Maguire. Universidad de Florida. 1999-2006. consultado Octubre 23 de 2006 en <http://tfphotos.ifas.ufl.edu/110101.htm>

WATADA AE, NP Ko, DA Minott. 1996. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biol. And Technol.* 9: 115-125.

WATADA AE, L Qi. 1999. Quality of fresh cut products. *Postharvest biol. Technol.* 15: 201- 205

WATKINS CB. 2000. Responses of horticultural commodities to high carbon dioxide as related to modified atmosphere packaging. *HortTechnol.* 10 (3): 501-506.

WATSON, B., George, A., Nissen, R., Brown B. 1990. La carambola, una estrella vegetal que ofrece un potencial tan risueño como su nombre. *Agricultura de las América*. 39 (6): 16-17, 27-28

WELLER A, Sims CA, Matthews RF, Bates RP, Brecht JK. 1997. Browning susceptibility and Changes in Composition During Storage of carambola slices. *J. Food Sci* 62 (2): 256-260.

WIKIPEDIA Enciclopedia libre. Wikimedia Foundation Inc. "Averrhoa carambola". Consultado Octubre 23 de 2006 en (http://es.wikipedia.org/wiki/Averrhoa_carambola).

YAHIA EM. 1998. Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. *Hort. Rev.* 22: 123-183.

ZAGORY D, A Kader. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Technol.* 70: 70-77.

ZAGORY D 1995. Principles and practice of modified atmosphere packaging of horticultural commodities. *In: Principles of Modified-Atmosphere and Sous Vide Product Packaging*. Faber JM, KL Dodds (Eds.). Cap. 8. Technomic Publishing Co., Inc. Lancaster, PA. Pp. 175-206.