

Almacenamiento refrigerado de frutos de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) en empaques con atmósfera modificada*

Refrigerated storage of mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) fruits in modified atmosphere packaging

Ángel Dayron Sora¹, Gerhard Fischer² y Rafael Flórez³

Resumen: Con el objeto de aumentar la vida útil de la mora de Castilla en poscosecha, se colocaron frutos en el grado de madurez (GM) 3 y 5, según Icontec (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación), en atmósferas modificadas activas con concentraciones de gases de 25% CO₂, 5% O₂, 70% N₂ y 20% CO₂, 10% O₂, 70% N₂, empleando empaques de polietileno de baja densidad (PEBD) y polipropileno (PP), calibre 2 (0,035 mm). La temperatura de almacenamiento fue 4 °C, la humedad relativa varió entre 90% y 95% y el tiempo de almacenamiento fue 16 d. Los empaques con atmósferas modificadas activas disminuyeron las tasas respiratorias y las pérdidas de peso de los frutos, comparados con los almacenados sin atmósfera modificada y sin película plástica. El pH, los sólidos solubles totales y la relación de madurez aumentaron progresivamente en los frutos con los días de almacenamiento, mientras que la acidez titulable disminuyó. Los frutos en el GM 5 mantuvieron las características organolépticas (sabor) hasta los 6 d de almacenamiento, cuando se almacenaron en empaque de PEBD y una atmósfera modificada activa con concentración de gases de 20% CO₂, 10% O₂ y 70% N₂; el mismo comportamiento benéfico se observó con los frutos que se almacenaron en el GM 3, película de PP y una atmósfera modificada activa de 25% de CO₂, 5% de O₂ y 70% de N₂. Los resultados indican que los empaques con atmósferas modificadas activas disminuyen los procesos de la maduración del fruto de la mora.

Palabras claves adicionales: grado de madurez, respiración, pérdida de peso, polietileno, polipropileno

Abstract: With the purpose of increasing the shelf-life of Andean blackberry at postharvest, fruits at the maturity grades 3 and 5 (after Icontec) were placed in active modified atmosphere conditions with gas concentrations of 25% CO₂, 5% O₂, 70% N₂ and 20% CO₂, 10% O₂, 70% N₂ using packages of polyethylene of low density (LDPE) and polypropylene (PP), caliber 2 (0,0350 mm). The storage temperature was 4 °C with relative humidity ranged between 90% and 95%, and the time of storage was 16 d. Packaging in modified atmospheres decreased respiration rates and weight losses compared to fruits stored without modified atmospheres packaging. The pH, total soluble solids, and relation of maturity increased progressively in fruits during storage time, whereas titratable acidity decreased. Fruits at maturity grade 5 supported the quality characteristics up to 6 d of storage when they were wrapped in LDPE packages and subjected to active modified atmospheres with gas concentrations of 20% CO₂, 10% O₂, and 70% N₂; the same beneficial behavior was observed on the fruits of maturity stage 3 in PP and active modified atmospheres with gas concentrations of 25% CO₂, 5% O₂, and 70% N₂. The results indicate that packaging in active modified atmosphere conditions diminish ripening processes in blackberry fruit.

Additional key words: maturity grade, respiration, weight loss, polyethylene, polypropylene

Fecha de recepción: 30 de enero de 2006

Acceptado para publicación: 30 de noviembre de 2006

* Investigación dentro del proyecto “Desarrollo de tecnologías de cosecha y poscosecha en mora, mango común, lulo, pitahaya y uchuva”, convenio Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena), Centro de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico de la Industria de Alimentos (CIAL) y Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

¹ Ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: adsorarc74@yahoo.com

² Profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: gcrfischer@gmail.com

³ Docente, Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena), Centro Multisectorial de Mosquera (Colombia). e-mail: raflorez@sena.edu.co

Introducción

DEL GÉNERO *RUBUS*, EN COLOMBIA se cultiva comercialmente la especie *Rubus glaucus* o mora de Castilla. Dentro de las moras cultivadas existen variedades e híbridos con y sin espinas; no obstante, el uso de híbridos es muy limitado ya que todavía no han llenado las expectativas productivas y económicas de los cultivadores. Así mismo, dentro de esta clasificación se diferencian comercialmente variedades e híbridos dulces –con un contenido de sólidos solubles superior o igual a 12 °Brix– y no dulces –con un contenido de sólidos solubles inferior a 12 °Brix (CCI, 1999).

Para los cultivos comerciales de mora de Castilla, se obtienen los mejores resultados en altitudes entre 1.800 y 2.600 msnm, que se clasifican como zonas de clima frío moderado, con temperaturas promedios entre 12 y 18 °C. La mora se adapta a una amplia gama de suelos, siempre y cuando estén provistos de buen drenaje; sin embargo, la disponibilidad de agua debe ser suficiente, al igual que el contenido de materia orgánica y arcilla. El cultivo se desarrolla mejor en terrenos ligeramente ácidos, con un pH entre 5,2 y 6,7, considerándose el más apropiado aquél cercano a 5,7 (CCI, 2001 y 1999).

En Colombia, la mora se cultiva principalmente en la zona Andina y las estribaciones de la cordillera Occidental: departamentos de Nariño, Cauca, Huila, Tolima, Valle del Cauca, Caldas, Quindío, Risaralda, Antioquia, Cundinamarca, Santanderes y algunos sectores del Meta (Franco *et al.*, 1996). La mora, al igual que otros frutales de clima frío moderado, es un cultivo importante para los agricultores de zonas frías por su capacidad de producir ingresos, ser fuente de empleo rural y constituirse en una alternativa agrícola rentable frente a otros cultivos. Sin embargo, es notable la necesidad de desarrollar productos y procesos tecnológicos, tanto en la producción como, de manera muy especial, en el manejo poscosecha (García, 2001).

La cosecha es una de las partes más delicadas del cultivo, por la maduración no uniforme de las frutas y la presencia de espinas en la planta, lo que exige gran cuidado del cosechador. La mora es un fruto no climático (Franco *et al.*, 1996).

La vida útil de la mora es muy corta, de sólo 3 a 5 d, razón por la cual la cosecha y el manejo poscosecha deben ser muy cuidadosos y eficientes. Las pérdidas son

muy altas, alrededor de 60% y 70%, cuando el manejo no se hace adecuadamente. La fruta se debe almacenar, según recomendación de la Federación Nacional de Cafeteros, entre 0 y 1 °C, con humedad relativa (HR) de 90% a 95% y por un periodo de 4 d, para evitar la deshidratación de los frutos y ofrecer un producto de calidad (Galvis, 1995).

La vida en poscosecha se puede extender con el uso de atmósferas modificadas, y los frutos son capaces de resistir concentraciones de CO₂ tan altas como 10% a 30% (Snowdon, 1990). Las bajas concentraciones de O₂ generalmente reducen las tasas de respiración y de producción de etileno; también, las altas concentraciones de CO₂ disminuyen el proceso de maduración, probablemente porque el CO₂ actúa como un inhibidor competitivo del etileno (Yahia, 1997).

Kader (2002) resalta el uso de las atmósferas modificadas como un complemento al manejo de las temperaturas bajas, retardando la senescencia (maduración) del producto con sus cambios bioquímicos y fisiológicos asociados y afectando, no sólo la respiración y la producción de etileno, sino también su ablandamiento y sus cambios composicionales. Además, estas atmósferas disminuyen la incidencia de patógenos como, por ejemplo, la *Botrytis* (Kays, 2004).

La atmósfera de conservación está dada por la interacción entre la tasa respiratoria del fruto y las propiedades de la película empleada, según la permeabilidad y selectividad de cada compuesto gaseoso (Parry, 1993). Su fundamento físico es la permeabilidad y selectividad del polímero con respecto a los gases. Entre los materiales empleados en la actualidad para crear una modificación en la atmósfera de conservación están las películas poliméricas permeables (Kader, 2002) y, dentro de este grupo, las más empleadas son las de polietileno de baja densidad (PEBD), por su fácil producción y bajo costo. Le siguen las películas de polietileno de alta densidad (PEAD), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC) y poliestireno (PS) (Carreño y Clavijo, 1995). Las películas empleadas para el almacenamiento de frutos tropicales bajo atmósfera modificada se caracterizan por tener una permeabilidad relativamente alta a los gases y al vapor de agua (Yahia y Rivera, 1992).

En lo referente a las temperaturas bajas, éstas sirven para minimizar la actividad metabólica del fruto e inhiben las podredumbres fungosas, causa primaria de la pérdida de frutos blandos (Snowdon, 1990).

El objetivo de este estudio fue evaluar la utilidad de dos películas de plástico en la conservación de la calidad de frutos de mora de Castilla, cosechados en dos estados de madurez, inyectando a los empaques dos tipos de atmósfera y almacenándolos bajo condiciones de refrigeración.

Materiales y métodos

Material vegetal

Los frutos fueron recolectados de un cultivo comercial de mora que contaba con plantas de dos años y medio de transplantadas al campo, ubicado en Colombia, departamento de Cundinamarca, municipio de Silvania, vereda La Primavera, finca *La Esperanza* (4°28' norte y 74°17' oeste, 1.600 msnm, 19,5 °C promedio anual, 1.500 mm precipitación promedio anual, 80% HR promedio).

Análisis fisicoquímicos y organolépticos

Se realizaron en el laboratorio de control de calidad del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) y los fisiológicos en el laboratorio de Cromatografía gaseosa y líquida de alta resolución del Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia, en Bogotá. Los análisis fisicoquímicos y fisiológicos se efectuaron cada 48 h, desde el inicio del almacenamiento hasta el final, y los análisis organolépticos a los 6 d de almacenados los productos.

Caracterización fisicoquímica

Se utilizó: para la pérdida de peso (%*pp*), una balanza de precisión (Sartorius LP 420P); para el pH, un potenciómetro (Metrohm SA CH-9101 Herisau); para la acidez total titulable (ATT), la titulación con Na(OH) 0,1 N; para los sólidos solubles totales (SST), un refractómetro (Euromex Holland 0~32) y para el cálculo de la relación de madurez, la fórmula SST/ATT.

Intensidad respiratoria

Para la medición de la intensidad respiratoria (IR) se empleó el método de atmósfera confinada (Kader, 2002), usando un cromatógrafo Hewlett Packard 5890 con las siguientes características: columna capilar Supel-Q PLOT (PQ1324-03) de 30 m x 0,53 mm, fase estacionaria Carbosieve S-II, temperatura del inyector 230 °C, temperatura de la columna 35 °C, temperatura del detector 250 °C y como gas de arrastre, helio a presión de 1 psi.

El método consistió en dejar 100 a 120 g de frutos de mora durante 60 min dentro de una cámara de respiración cerrada; se conectó en uno de los extremos una bomba de flujo constante con el fin de inyectar aire y en el otro extremo se colocó una solución de KOH. Posteriormente, se hizo un barrido por 5 min. Una vez efectuado el barrido de captura del CO₂, se cerró la cámara de respiración herméticamente y se dejó por espacio de 60 min; todo el proceso se realizó dentro de la cámara de refrigeración. Luego se trasladaron las cámaras de respiración refrigeradas (4-5 °C) al cromatógrafo de gases y, por medio de una jeringa, se extrajo 1 cm³ del aire contenido en la cámara y se inyectó en el cromatógrafo de gases. El cromatograma indicó la cantidad de CO₂ presente en la muestra inyectada. Con base en lo anterior, se calculó el CO₂ producido por los frutos y se expresó el resultado como los miligramos de CO₂ producidos por un kilogramo de fruta en una hora (mg · kg⁻¹ · h⁻¹ de CO₂) mediante la aplicación de la ecuación de la ley de los Gases Ideales:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

donde P, presión, expresada en atmósferas (atm); V, volumen, expresado en litros (L); n, número de moles; R, constante universal de los gases y T, temperatura, expresada en grados Kelvin (°K).

Grado de madurez

Se definieron los grados de madurez (GM) 3, con frutos de color rojo, y 5, de color rojo intenso con algunas drupas de color morado, basados en la norma técnica colombiana para frutos mora de Castilla del Icontec, NTC 1406 (Instituto de Normas Técnicas y Certificación, 1997).

Polímeros y atmósferas modificadas

Las atmósferas modificadas activas fueron preparadas y certificadas por una compañía especializada en preparación de gases. Los empaques con atmósfera modificada contenían las siguientes concentraciones de gases: a) 25% de CO₂, 5% de O₂ y 70% N₂ (AM 25-5-70) y b) 20% de CO₂, 10% de O₂ y 70% N₂ (AM 20-10-70). Los polímeros empleados y sus características de permeabilidad a los gases se describen en la tabla 1.

Para el proceso de empaque en las bolsas de PP calibre 2 y PEBD calibre 2 se utilizó una cámara de empaque de alimentos, donde se aplicó un vacío de 90% y se inyectaron las atmósferas modificadas activas a los diferentes tratamientos.

Tabla 1. Características físicas de los polímeros empleados en el almacenamiento refrigerado de los frutos de mora de Castilla, bajo atmósfera modificada activa.

Polímero	O ₂ (cm ³ ·m ⁻² ·d ⁻¹)*	CO ₂ (cm ³ ·m ⁻² ·d ⁻¹)	N ₂ (cm ³ ·m ⁻² ·d ⁻¹)	Vapor de H ₂ O (g·m ⁻² ·d ⁻¹)**
PEBD	6.400 - 8.000	43.200	2.880	12 - 24
PP	1.300 - 6.400	620 - 755	8.000 - 12.000	8 - 14

* A 23 °C, 0% HR y 1 atm.

** A 38 °C, 90% HR y 1 atm (Sarmiento, 1992; Moreno, 1989).

PEBD, polietileno de baja densidad; PP, polipropileno.

Almacenamiento

El almacenamiento de los frutos se llevó a cabo en una cámara de refrigeración, previamente lavada y desinfectada con hipoclorito de sodio al 1%. La temperatura que se fijó a la cámara fue 4 °C y la HR varió entre 90% y 95%. Dentro de la cámara se instalaron los tratamientos con sus respectivas repeticiones. Los tratamientos testigos fueron colocados en bandejas de icopor con capacidad para 250 g de fruta.

Análisis sensorial

El método aplicado fue el análisis cuantitativo descriptivo, ayudado de un test de preferencia con una escala hedónica, en la que el valor de: 0 equivale a sabor a fermento; 1, a sabor muy ácido y con poco sabor característico; 2, a sabor ácido, y 3, a predominio del sabor ácido característico (Carpenter *et al.*, 2002; Chapman *et al.*, 2001). Para la sesión de análisis sensorial se tomaron de cada tratamiento 3 frutos representativos de una muestra de 250 g de fruta. Luego, las muestras se nombraron con números aleatorios y se colocaron en platos de plástico desechable para ser entregados a los panelistas para su evaluación, junto con una guía y un formato de evaluación. Todos los análisis sensoriales los realizaron 16 panelistas entrenados.

Tratamientos

Con los frutos recolectados en dos estados de madurez se establecieron 10 tratamientos, incluidos 2 testigos absolutos –sin empaque, ni atmósfera modificada activa–; cada tratamiento se sometió a 3 repeticiones. Como unidad experimental se tomaron 250 g de fruta fresca. La distribución de los tratamientos se presenta en la tabla 2.

Diseño experimental

Se emplearon dos diseños experimentales. El primero se realizó con la metodología de bloques completamen-

Tabla 2. Tratamientos aplicados en el almacenamiento refrigerado de los frutos de mora de Castilla, bajo atmósfera modificada activa.

Tratamiento	Grado de madurez	Polímero	Atmósfera modificada activa (%CO ₂ -%O ₂ -%N ₂)
1	3	PEBD	25-5-70
2	3	PEBD	20-10-70
3	3	PP	20-10-70
4	3	PP	25-5-70
5	5	PEBD	25-5-70
6	5	PEBD	20-10-70
7	5	PP	20-10-70
8	5	PP	25-5-70
9	3	Sin empaque	Ambiente
10	5	Sin empaque	Ambiente

PEBD, polietileno de baja densidad; PP, polipropileno.

te al azar, en el que se evaluaron los 10 tratamientos, incluyendo los testigos absolutos. El segundo diseño se ejecutó con la metodología de bloques completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 x 2, en el que se analizaron 8 tratamientos sin los testigos absolutos. Los factores que se evaluaron fueron dos grados de madurez, dos atmósferas modificadas activas y dos polímeros de empaque. Todos los datos se procesaron con ayuda del paquete estadístico SAS versión 9.

Resultados y discusión

Intensidad respiratoria

La respiración es el proceso central en células vivas que media la liberación de energía, a través del desdoblamiento de compuestos carbónicos y la formación de esqueletos carbónicos necesarios para las reacciones de mantenimiento y sintéticas después de la cosecha (Kays, 2004).

Los frutos de mora presentaron un descenso de la tasa respiratoria en todos los tratamientos, más acentuado hasta el día 6 del almacenamiento (figura 1). Estos resultados coinciden con lo reportado por Yahia (1997), que señala que bajas concentraciones de oxígeno reducen generalmente las tasas de respiración. Dado que el O₂ es una de las moléculas más importantes requeridas para el proceso de respiración, sus bajas concentraciones en los empaques con atmósfera modificada indican la reducción de la respiración en estos frutos (Kays, 2004).

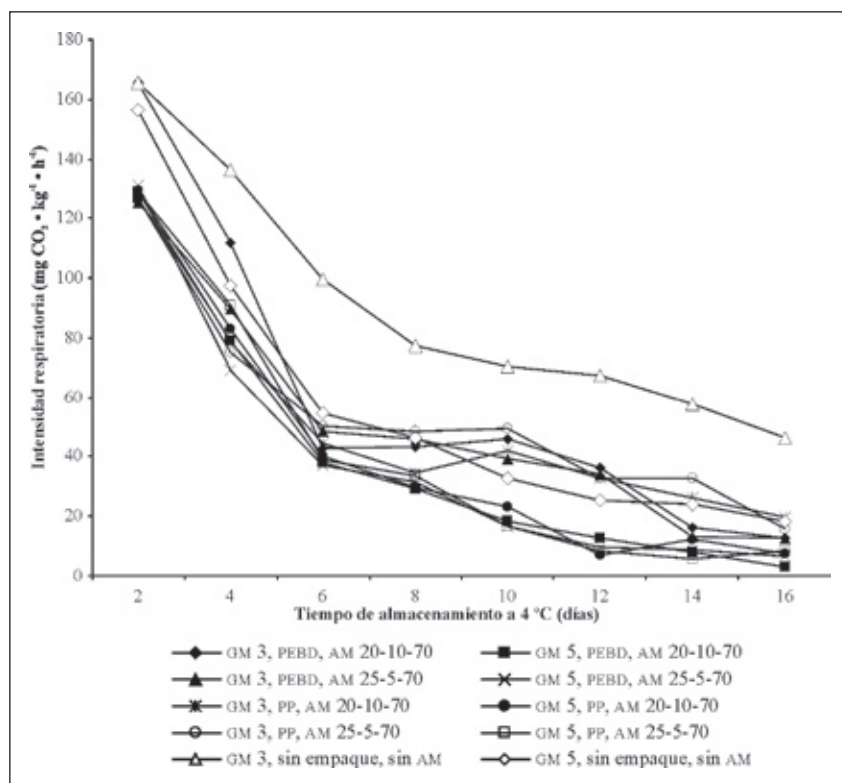


Figura 1. Cambios en la intensidad respiratoria (IR) de los frutos de la mora de Castilla cosechados en grado de madurez (GM) 3 y 5, almacenados en refrigeración a 4 °C y 90-95% HR durante 16 d y empacados en dos polímeros con dos atmósferas modificadas activas. PEBD, polietileno de baja densidad; PP, polipropileno; AM 20-10-70, atmósfera de 20% de CO₂, 10% de O₂ y 70% N₂ y AM 25-5-70, atmósfera de 25% de CO₂, 5% de O₂ y 70% N₂.

Las tasas respiratorias para el día 2 variaron entre 165,5 mg · kg⁻¹ · h⁻¹ de CO₂ (GM 3, sin empaque y sin atmósfera modificada activa) y 125,2 mg · kg⁻¹ · h⁻¹ de CO₂ (GM 3, PEBD, AM 25-5-70) y para el día 16, entre 46,1 mg · kg⁻¹ · h⁻¹ de CO₂ (GM 3, sin empaque y sin atmósfera modificada activa) y 3,2 mg · kg⁻¹ · h⁻¹ de CO₂ (GM 5, PEBD, AM 20-10-70) (figura 1). Sudzuki (1983) encontró tasas respiratorias similares en otra baya, la frambuesa.

Los tratamientos que mostraron las mayores tasas respiratorias durante los 16 d de almacenamiento (dda) fueron los testigos almacenados sin película plástica ni atmósfera modificada activa. Los demás tratamientos, en los que se emplearon películas poliméricas acompañadas de atmósferas modificadas activas, mostraron intensidades respiratorias inferiores a los testigos, lo que valida el efecto positivo de la aplicación de atmósferas modificadas activas en la disminución de la intensidad, comparada con los sistemas convencionales de refrigeración (Gallego, 2001; Gómez *et al.*, 1997).

El comportamiento de las tasas de respiración de los diferentes tratamientos confirma el carácter no climatérico de los frutos de la mora de Castilla (Parrá y Hernández, 1997; Galvis, 1995; Sudzuki, 1983).

Existieron diferencias significativas ($P < 0,05$) en el tiempo y el grado de madurez (tabla 3). Los frutos almacenados en GM 3 presentaron valores promedio de intensidad respiratoria más altos (53,7 mg · kg⁻¹ · h⁻¹ de CO₂), comparados con los valores de intensidad respiratoria registrados por los frutos almacenados en el GM 5, que fueron 40,2 mg · kg⁻¹ · h⁻¹ de CO₂.

Pérdida de peso

Todos los tratamientos presentaron una disminución progresiva del porcentaje de pérdida de peso a lo largo de los días del almacenamiento, como consecuencia de la pérdida de agua por transpiración y respiración (Wills *et al.*, 1998). Probablemente, las películas de plástico empleadas en este estudio actuaron como barrera, disminuyendo la pérdida de agua (Kader, 2002), con respecto a los frutos sin empaque.

El tratamiento que menos evidenció la pérdida fue el almacenamiento en el GM 3, con película de PEBD y AM 25-5-70, con un valor de 0,21% de pérdida de peso para el día 2 y 1,39% luego de 16 dda (figura 2).

Todos los tratamientos mostraron un porcentaje de pérdida de peso menor que los testigos, fluctuando los valores, para el día 16, entre 3,67% (GM 5, PP, AM 25-5-70) y 1,39% (GM 3, PEBD, AM 25-5-70), en comparación con lo registrado en los testigos para el mismo día 16 con frutos en GM 5, sin empaque ni atmósfera modificada activa, y GM 3, sin empaque ni atmósfera modificada activa, con porcentajes de pérdida de peso de 28,8% y 22,9%, respectivamente.

En los tratamientos en los que se emplearon películas plásticas con atmósferas modificadas activas, los porcentajes de pérdida de peso fueron menores (figura 2).

Tabla 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de los bloques completos al azar con arreglo factorial 2 x 2 x 2 de los frutos de la mora de Castilla cosechados en grados de madurez 3 y 5, almacenados en refrigeración a 4 °C durante 16 d y 90%-95% HR y empacados en dos polímeros con dos atmósferas modificadas activas.

Fuente de variación	Variabes	GL	IR	% Pp	% ATT	pH	SST	RM
Bloques	Tiempo	7	13822,060**	2,584*	0,056**	0,069**	0,925**	0,282**
A	Grado de madurez	1	2934,754**	2,790*	6,946**	0,013*	0,007ns	4,837**
Error (A)	(Grado de madurez)	7	110,021	0,376	0,0002	0,002	0,072	0,031
B	Tipo de polímero	1	0,387ns	1,173*	0,103**	0,002ns	0,007ns	0,161**
AB	Grado de madurez x polímero	1	106,937ns	0,212ns	0,0001ns	0,009*	5,580**	0,783**
Error (B)	Error (polímero)	14	88,735	0,150	0,001	0,001	0,018	0,001
C	Atmósfera modificada	1	34,347ns	0,770**	0,099**	0,002ns	0,052ns	0,081**
AC	Grado de madurez x atmósfera modificada	1	19,828ns	0,040ns	0,174**	0,005**	0,003ns	0,162**
BC	Tipo de polímero x atmósfera modificada	1	137,176ns	0,391**	0,017**	0,038**	0,002ns	0,048**
Error (C)	Error (atmósfera modificada)	28	40,760	0,023	0,001	0,001	0,031	0,003

ns, *, ** = no significativo o significativo al $P < 0,05$ y $0,01$, respectivamente.

GL, grados de libertad; IR, intensidad respiratoria; Pp, pérdida de peso; ATT, acidez total titulable; SST, sólidos solubles totales; RM, relación de madurez.

Esta situación valida el efecto positivo de este tipo de empaque en la disminución del porcentaje de pérdida de peso de los frutos (Camargo *et al.*, 2004; Bittencourt *et al.*, 2003; Botero, 2002; Gallego, 2001; Gómez *et al.*, 1997; Carreño y Clavijo, 1995). Un comportamiento similar fue reportado por Antonioli *et al.* (2003) en frutos de *Diospyros kaki*; por Camargo *et al.* (2002) en *Ficus carica*; por Castillo (2001) en *Rubus glaucus* y por García *et al.* (1998) en *Fragaria x ananassa*; cuando se almacenaron

los frutos en diferentes polímeros, pero sin atmósferas modificadas activas.

Se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en el tiempo de almacenamiento, grado de madurez y tipo de polímero. También, diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en atmósferas modificadas y en la interacción atmósfera modificada por tipo de polímero (tabla 3).

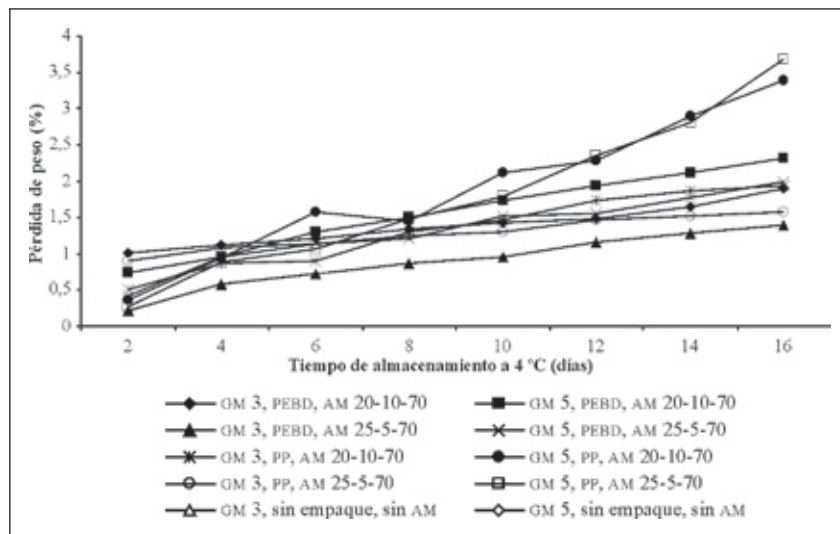


Figura 2. Pérdida de peso de los frutos de la mora de Castilla cosechados en grado de madurez (GM) 3 y 5, almacenados en refrigeración a 4 °C y 90-95% HR durante 16 d y empacados en dos polímeros con dos atmósferas modificadas activas. PEBD, polietileno de baja densidad; PP, polipropileno; AM 20-10-70, atmósfera de 20% de CO₂, 10% de O₂ y 70% N₂ y AM 25-5-70, atmósfera de 25% de CO₂, 5% de O₂ y 70% N₂.

Los frutos que se almacenaron en GM 5 presentaron mayores porcentajes de pérdida de peso promedio (1,64%), comparados con los frutos que se almacenaron en GM 3, para los que el porcentaje de pérdida promedio registrado fue 1,22% (figura 2). Los frutos almacenados en empaques de PP mostraron los mayores porcentajes de pérdida de peso (1,57%), contrastado con los frutos que se almacenaron con PEBD, que registraron una pérdida de peso promedio de 1,30% (figura 2).

Los frutos que se sometieron a AM 20-10-70 presentaron valores de pérdida de peso promedio más elevados (1,54%), respecto a los registrados en AM 25-5-70, con un valor de 1,32% (figura 2).

pH

Todos los tratamientos presentaron un aumento progresivo de los valores de pH con el tiempo de almacenamiento (figura 3), lo que coincide con resultados de Botero (2002), Castillo (2001), Gallego (2001), Carmona *et al.* (1996), Giraldo *et al.* (1996), Carreño y Clavijo (1995), Galvis (1995) y Acero y Aparicio (1989). Este aumento del pH, que coincide con una reducción de la acidez (figura 4), lo reporta Kader (1986) para varios productos vegetales almacenados en una atmósfera enriquecida con CO₂; sin embargo, este autor señala que no se sabe cuál es la razón de estos cambios: si el incremento del pH es una consecuencia del efecto del CO₂ sobre el metabolismo normal o si se trata de una reacción directa del tejido del vegetal para contrarrestar el efecto acidificante del CO₂.

Acidez total titulable

La acidez total titulable (ATT) mostró un comportamiento de disminución progresiva de los valores al aumentar los días de almacenamiento, inverso al del pH (figura 3), lo que coincide con observaciones de Camargo *et al.* (2002, 2003 y 2004), Botero (2002), Castillo (2001), Gallego (2001), Carmona *et al.* (1996), Giraldo *et al.* (1996) y Acero y Aparicio (1989).

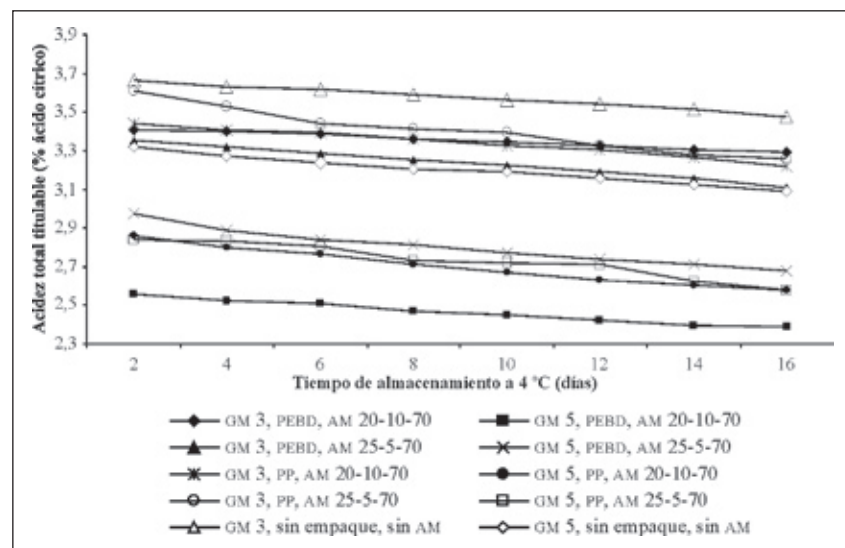


Figura 3. Cambios en la acidez total titulable de los frutos de la mora de Castilla cosechados en grado de madurez (GM) 3 y 5, almacenados en refrigeración a 4 °C y 90-95% HR durante 16 d y empacados en dos polímeros con dos atmósferas modificadas activas. PEBD, polietileno de baja densidad; PP, polipropileno; AM 20-10-70, atmósfera de 20% de CO₂, 10% de O₂ y 70% N₂ y AM 25-5-70, atmósfera de 25% de CO₂, 5% de O₂ y 70% N₂.

Todos los tratamientos presentaron valores de acidez menores que los registrados por los testigos (figura 3 y tabla 3), que para el día 2 de almacenamiento registraron 3,66% (GM 3, sin empaque y sin atmósfera modificada) y 3,32% (GM 5, sin empaque y sin atmósfera modificada) y llegaron el día 16 a 3,47% (GM 3, sin empaque y sin atmósfera modificada) y 3,09% (GM 5, sin empaque y sin atmósfera modificada); lo que coincide con los resultados de Carreño y Clavijo (1995). También Galvis *et al.* (2005) encontraron una disminución mayor del ácido cítrico en mango (el ácido orgánico de mayor proporción en esta especie) sin empaque, comparado con el fruto almacenado en atmósfera modificada, lo que atribuyeron a una probable actividad mayor de la citrato dehidrogenasa. Además, Yahia (1997) verificó que las concentraciones altas de CO₂ inhiben la maduración del fruto –con un menor uso de los ácidos orgánicos–, posiblemente porque el CO₂ actúa como un inhibidor competitivo del etileno.

La mayor disminución de la ATT en las moras cosechadas en GM 3 –que presentaron el contenido más alto de ácidos orgánicos, en especial, las empleadas en los dos testigos– se debe probablemente a un uso mayor de estos compuestos como sustrato de respiración (Kays, 2004).

Se presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en el tiempo de almacenamiento, el grado de madurez, el tipo de polímero, la atmósfera modificada y en las interacciones grado madurez por atmósfera modificada y tipo de polímero por atmósfera modificada (tabla 4).

Los frutos que se almacenaron en GM 3 presentaron en promedio mayores porcentajes de ATT (3,33%), comparados con los que se almacenaron en GM 5, con porcentajes promedios de ATT de 2,67% (figura 3).

Los frutos almacenados en PP mostraron las mayores porcentajes de ATT (3,04%), contrastando con los almacenados en PEBD, que registraron valores promedios de 2,96% (figura 3).

Los frutos que se almacenaron en AM 25-5-70 revidenciaron un mayor porcentaje promedio de ATT, comparados con los almacenados en AM 20-10-70 (figura 3).

Tabla 4. Cuadrados medios del análisis de varianza de los bloques completos al azar de los frutos de mora de Castilla cosechados en los grados de madurez 3 y 5, almacenados en refrigeración a 4 °C durante 16 d, a 90%-95% HR y empacados en dos polímeros con dos atmósferas modificadas activas.

Fuentes de variación	GL	IR	% Pp	% ATT	pH	SST	RM
Bloques	7	17.685,498**	42,939**	0,065**	0,097**	2,434**	0,516**
Tratamientos	9	1.851,642**	161,701**	1,114**	0,009**	4,686**	0,852**
Error	63	61,311	10,882	0,001	0,001	0,137	0,013

*, ** = no significante o significante al $P < 0,05$ y $0,01$ respectivamente.

GL, grados de libertad; IR, intensidad respiratoria; Pp, pérdida de peso; ATT, acidez total titulable; SST, sólidos solubles totales; RM, relación de madurez.

En las interacciones grado de madurez por atmósfera modificada, los frutos en GM 3 y AM 20-10-70 tendieron a aumentar con el tiempo sus porcentajes de ATT, similar al comportamiento de los frutos almacenados en el mismo grado de madurez pero con AM 25-5-70. Los resultados fueron iguales cuando se almacenaron frutos en GM 5 y AM 25-5-70, comparados con los frutos almacenados bajo el mismo grado de madurez pero con AM 20-10-70.

Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales (SST) mostraron de aumento progresivo con los días de almacenamiento (figura 4), comportamiento inverso al de la ATT (figura 3), coincidiendo con lo observado por Camargo *et al.* (2002, 2003 y 2004), Castillo (2001), Carmona *et al.* (1996), Giraldo *et al.* (1996) y Galvis (1995).

Todos los tratamientos registraron valores menores de grados Brix que los de los testigos (figura 4 y tabla 4), que presentaron para el día 4 de almacenamiento 7,74 °Brix (GM 5, sin empaque y sin atmósfera modificada) y 7,55 °Brix (GM 3, sin empaque y sin atmósfera modificada) y para el día 16, valores de 10,97 °Brix (GM 5, sin empaque y sin atmósfera modificada) y 9,86 °Brix (GM 3, sin empaque y sin atmósfera modificada). El resto de los tratamientos para el día 4 variaron entre 7,22 °Brix (GM 5, PEBD, AM 25-5-70) y 6,22 °Brix (GM 3, PEBD, AM 20-10-70) y para el día 16, dentro de un rango entre 8,36 °Brix (GM 5, PEBD, AM 20-10-70) y 7,12 °Brix (GM 3, PEBD, AM 25-5-70).

Se presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en el tiempo de

almacenamiento y la interacción grado de madurez por tipo de polímero (tabla 3).

En la interacción grado de madurez por tipo de polímero se observó que los frutos almacenados en GM 3 y película de PP tienden a aumentar progresivamente en el tiempo los valores promedios de SST (7,45 °Brix), comparados con los frutos almacenados en el mismo grado de madurez pero con PEBD, con un valor promedio de 6,88 °Brix. El comportamiento es igual cuando se almacenan frutos en GM 5 y PEBD, mostrando un valor de 7,49 °Brix, mayor que el de los frutos almacenados en el mismo grado de madurez pero en PP, con 6,88 °Brix (figura 4).

Ya que los frutos blandos como las bayas no contienen cantidades notorias de almidón, el aumento de

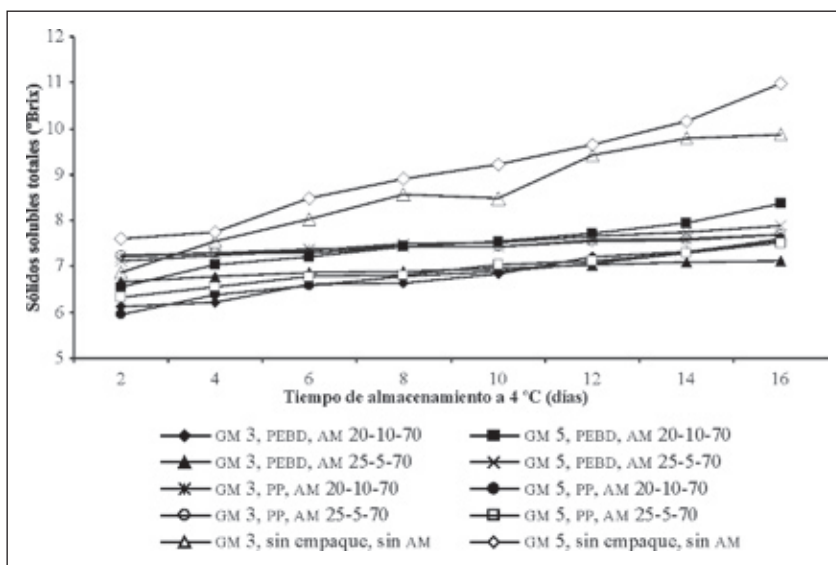


Figura 4. Cambios en los sólidos solubles totales (grados Brix) de los frutos de la mora de Castilla cosechados en grado de madurez (GM) 3 y 5, almacenados en refrigeración a 4 °C y 90-95% HR durante 16 d y empacados en dos polímeros con dos atmósferas modificadas activas. PEBD, polietileno de baja densidad; PP, polipropileno; AM 20-10-70, atmósfera de 20% de CO₂, 10% de O₂ y 70% N₂ y AM 25-5-70, atmósfera de 25% de CO₂, 5% de O₂ y 70% N₂.

los sólidos solubles totales observado con los frutos de mora de Castilla podría deberse a la conversión de los ácidos orgánicos –considerados en la acidez otal titulable– en azúcares (Wills *et al.*, 1998). Este proceso fue menor en los frutos empacados en atmósferas modificadas activas (figura 5).

Relación de madurez

Todos los tratamientos presentaron aumento progresivo de los valores de relación de madurez (RM) con el tiempo de almacenamiento, coincidiendo con los resultados de Castillo (2001) y Galvis (1995). Se presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en el tiempo de almacenamiento, grado de madurez, tipo de polímero, atmósfera modificada y en las interacciones grado de madurez por tipo de polímero, grado de madurez por atmósfera modificada y tipo de polímero por atmósfera modificada (tabla 4).

Los frutos que se almacenaron en GM 5 presentaron valores promedios de RM (2,70) mayores que los frutos que se almacenaron en GM 3, con valores promedios de RM de 2,15. Los frutos almacenados en PEBD mostraron mayores

valores de RM (2,48), comparados con los almacenados en PP, que presentaron un valor promedio de 2,38.

Los frutos almacenados en AM 20-10-70 registraron mayores valores de RM, comparados con los que se almacenaron en AM 25-5-70.

Duración de almacenamiento

Comparado con lo recomendado por Gallo (1996) de almacenar moras hasta máximo 3 d (0 a -0,5 °C, 90%-95% HR), las moras en empaques con atmósferas modificadas duraron hasta 6 d en buenas condiciones cualitativas y organolépticas, mientras que los tratamientos testigos presentaron, a partir del día 4, daños por *Botrytis*, decoloración y ablandamiento. Los frutos en atmósferas modificadas sufrieron estos daños con una incidencia menor, permitiendo terminar el estudio a los 16 d en lo referente a las mediciones fisicoquímicas y fisiológicas.

Análisis sensorial

En el análisis sensorial se observó que luego de 6 dda los frutos, tanto en GM 5 y empacados en PEBD y AM 20-10-70

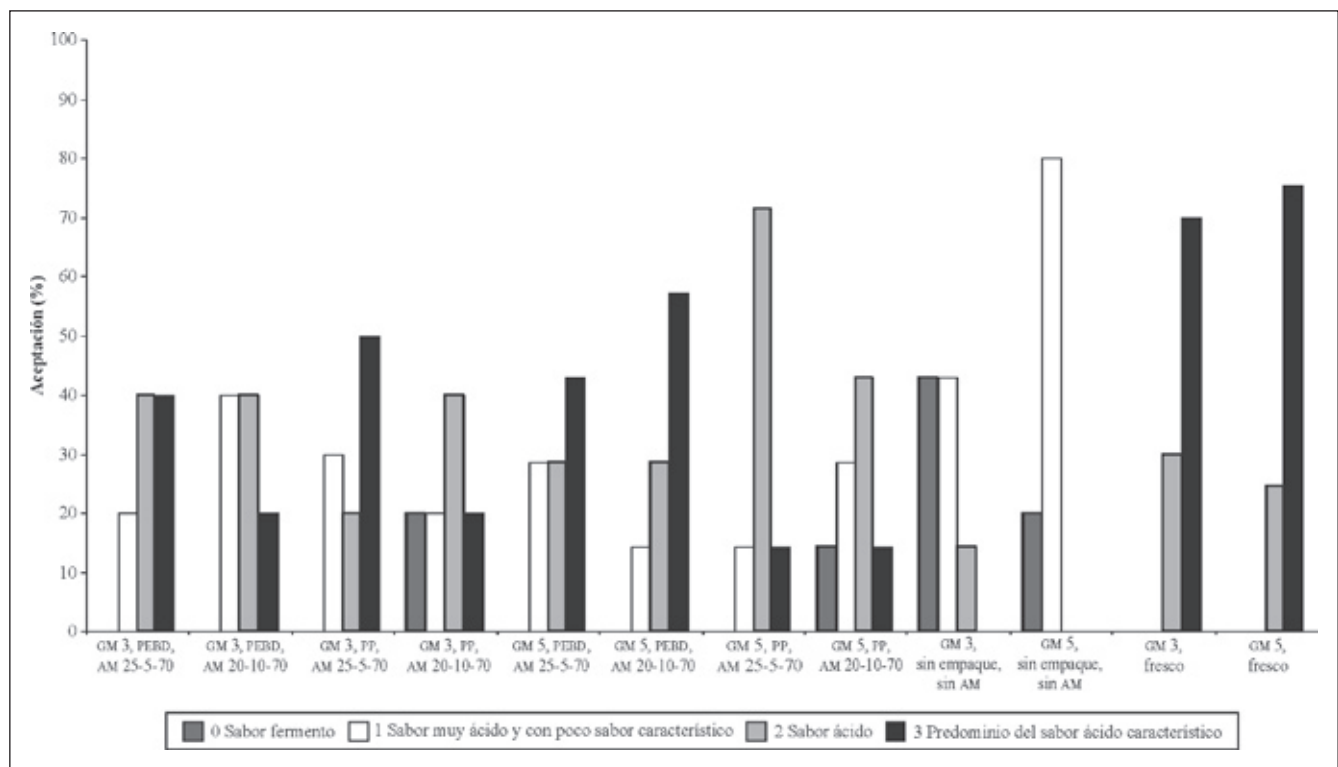


Figura 5. Análisis sensorial. Calificación de los frutos de la mora de Castilla cosechados en grado de madurez (GM) 3 y 5, almacenados en refrigeración a 4 °C y 90-95% HR durante 6 d y empacados en dos polímeros con dos atmósferas modificadas activas. PEBD, polietileno de baja densidad; PP, polipropileno; AM 20-10-70, atmósfera de 20% de CO₂, 10% de O₂ y 70% N₂ y AM 25-5-70, atmósfera de 25% de CO₂, 5% de O₂ y 70% N₂.

como en GM 3 y empacados en PP y AM 25-5-70, presentaron los mejores porcentajes de aceptación por parte de los panelistas, mientras que los dos tratamientos testigos no conservaron sus atributos sensoriales por el avanzado estado de maduración (figura 5). Un comportamiento similar fue reportado por Camargo *et al.* (2004) en frutos de carambola, por Camargo *et al.* (2003) en kiwi y por Gómez *et al.* (1997) en espárrago.

Todos los tratamientos, incluyendo los testigos, presentaron porcentajes de aceptación menores, comparados con los frutos evaluados frescos (sin almacenamiento refrigerado) el mismo día por los panelistas y cosechados en GM 3 y 5 (figura 5).

Conclusiones

- El almacenamiento de los frutos de mora de Castilla bajo la técnica de atmósferas modificadas activas, más el uso de películas plásticas, conserva las condiciones físico-químicas y fisiológicas del producto.
- El almacenamiento de frutos de mora de Castilla bajo las condiciones de atmósfera modificada activa y con el uso de películas de polímero aumenta la vida útil del producto hasta 6 d después de la cosecha y les mantiene los atributos sensoriales y la calidad, comparado con la técnica de refrigeración convencional, que aumenta la vida útil hasta 3 d.
- Los frutos en GM 5 presentan mejores características de calidad cuando son almacenados en empaque de PEBD, calibre 2, con AM 20-10-70.
- Los frutos cosechados en GM 3 presentan mejores características de calidad cuando son almacenados en empaque de PP, calibre 2, con AM 25-5-70.
- Los resultados indican que los empaques con atmósferas modificadas activas disminuyen los procesos de maduración de la mora.

Literatura citada

Acero, G.J. y L.E. Aparicio. 1989. Caracterización y estudio de maduración poscosecha en atmósfera confinada (CO₂) para la mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.). Trabajo de grado. Departamento de Farmacia, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 120 p.

Antoniolli, L.R., P. de Camargo, R. Kluge y J. Scarpore. 2003. Use of polyethylene bags on conservation of 'Giombo' persimmons during cold storage. *Bras. Frutic.* 25(1), 77-80.

Bittencourt, L., J. Vidigal de Castro, C. Limonta y C. Rossetto. 2003. The effect of modified atmosphere and refrigeration on post-harvest of mango 'Red Espada'. *Rev. Bras. Frutic.* 25(3), 410-413.

Botero, V.O. 2002. Conservación de la mora de Castilla en atmósferas modificadas. pp. 247-251. En: Memorias 4º Seminario nacional de frutales de clima frío moderado. Medellín, noviembre 20 a 22 de 2002. Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales (CDTF) y Corpoica, Medellín. 392 p.

Camargo, L.N., R. João, C. Valmor y R. López. 2004. Storage in passive modified atmosphere of 'Golden Star' starfruit (*Averrhoa carambola* L.). *Rev. Bras. Frutic.* 26(1), 13-16.

Camargo, N.L., A. Corrent, L. Marini, L. Luchhetta, M. Roggia, E. Dias, J. Zanatta, F. Rufino y C. Valmor. 2003. Modified atmosphere and 1-methylcyclopropene on postharvest conservation of kiwis cv. 'Bruno'. *Rev. Bras. Frutic.* 25(3), 390-393.

Camargo, L.N., A. Couto y R. López. 2002. Low density polyethylene (LDPE), in the postharvest conservation of fig cv. 'Roxo de Valinhos' stored under cold storage. *Bras. Frutic.* 24(1), 57-62.

Carmona, M.J., G. Aguirre, M. Echeverri, J. Giraldo, A. Gutiérrez, W. Tovar y S. Varón. 1996. Caracterización fisicoquímica de seis materiales de mora (*Rubus glaucus* Benth.) producidas en la ciudad de Manizales. pp. 55-60. En: Memorias 1º Seminario nacional de frutales de clima frío moderado. Manizales, octubre 10 y 11 de 1996. Corpoica, Manizales. 235 p.

Carpenter, R.P., Lyon, D.H. y T.A. Hasdell. 2002. Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza (España). 356 p.

Carreño, W.J. y J.C. Clavijo. 1995. Conservación de la fresa (*Fragaria sp.*) var. 'Seascape' bajo la técnica de la atmósfera modificada. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 93 p.

Castillo, P.L. 2001. Efecto de dos tipos de empaque en la conservación en frío de la mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) con y sin presencia de cáliz. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 87 p.

Corporación Colombia Internacional [CCI]. 1999. Mora: un cultivo promisorio. *Exótica* 10 (3), 13-17.

Corporación Colombia Internacional [CCI]. 2001. Mora de Castilla. *Exótica* 1(5), 17-21.

Chapman, K.W., H.T. Lawless y K.J. Boor. 2001. Quantitative descriptive analysis and principal component analysis for sensory characterization of ultrapasteurized milk. *J. Dairy Sci.* 84, 12-20.

Franco, G., J.A. Bernal, J.L. Gallego, J.E. Rodríguez, N. Guevara y M. Londoño. 1996. Agronomía del cultivo de la mora. pp. 1-18. En: Memorias 1º Seminario nacional de frutales de clima frío moderado. Manizales, octubre 10 y 11 de 1996. Corpoica, Manizales. 235 p.

Galvis, J.A. 1995. La mora. Manejo poscosecha de mora. Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena) y Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 45 p.

Galvis, J.A., H. Arjona, G. Fischer y R. Martínez. 2005. Using modified atmosphere packaging for storing 'Van Dyke' mango (*Mangifera indica* L.) fruit. *Agronomía Colombiana* 23(2), 269-275.

Gallego, L.M. 2001. Aplicación de la atmósfera modificada en la conservación de la calidad de arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 92 p.

Gallo, F. 1996. Manual de fisiología, patología post-cosecha y control de calidad de frutos y hortalizas. Convenio Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena) - Reino Unido, Armenia (Colombia). pp. V23-24.

García, J.M., R.J. Medina y J.M. Olías. 1998. Quality of strawberries automatically packed in different plastic films. *J. Food Sci.* 63(6), 1037-1041.

- García, M.C. 2001. La agroindustria de la mora. Alternativas viables para los fruticultores. *Tecnología para el Agro* 1(2), 15-17.
- Giraldo, G.G., C. Agudelo y G. Franco. 1996. Conservación por frío de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) producida en el Eje Cafetero. pp. 28-39. En: Memorias 1^{er} Seminario nacional de frutales de clima frío moderado. Manizales, octubre 10 y 11 de 1996. Corpoica, Manizales. 235 p.
- Gómez, P.A., C.A. López y J. Cacace. 1997. Quality changes of green asparagus spears stored at 2 °C in different modified atmospheres. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 29 (1), 69-81.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. 1997. Frutas frescas. Mora de Castilla. Especificaciones. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá. 13 p.
- Kader, A.A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops. Publication 3311. 3rd ed. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, CA. pp. 135-144.
- Kader, A.A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technol.* 40(5), 99-104.
- Kays, S.J. 2004. Postharvest biology. Exon Press, Athens, CA. 568 p.
- Moreno, J. 1989. Materiales y empaques. Universidad Estatal Abierta y a Distancia, Bogotá. 203 p.
- Parra, C.A. y H.J. Hernández. 1997. Fisiología poscosecha de frutas y hortalizas. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 258 p.
- Parry R.T. 1993. Introducción. pp. 12- 32. En: Envasado de los alimentos en atmósfera modificada. Editorial Madrid Vicente, Madrid. 435 p.
- Sarmiento, A.L. 1992. Envases y empaques para la conservación de alimentos. Asociación Nacional de Industriales (ANDI), Medellín. 131 p.
- Snowdon, A.L. 1990. A colour atlas of post-harvest diseases and disorders of fruits and vegetables. Vol. 1. General introduction and fruits. Wolfe Scientific, London. pp. 238-239.
- Sudzuki, F.H. 1983. Cultivo de frutales menores. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 246 p.
- Wills, R., B. McGlasson, D. Graham y D. Joyce. 1998. Postharvest: an introduction to the physiology and handling. CAB International, Wallingford (UK).
- Yahia, E.M. 1997. Modified and controlled atmosphere for tropical fruits. *Hort. Rev.* 22, 123-183.
- Yahia, E.M. y E. Rivera. 1992. Fisiología y tecnología poscosecha de productos hortícolas. Editorial Limusa, México DC. 360 p.