

**CONSERVACION DEL FRUTO DE ARAZA (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) DURANTE LA POSCOSECHA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES TECNICAS**

**MARIA SOLEDAD HERNANDEZ GOMEZ**  
Bióloga, M.Sc.

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de Doctorado en Ciencias Agrarias. Area de énfasis: Fisiología de Cultivos

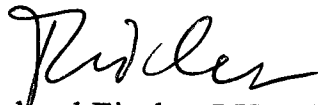
Director  
Harvey E. Arjona D. I.A., Ph. D.

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Agronomía  
Bogotá  
2001

*A Isabel por su apoyo decidido.  
Al eterno presente.  
A toda mi familia, por el amor.  
A Paco por enseñarme que:  
"De más alto se cayó una iguana".  
Al maestro por la bondad  
y la paciencia al enseñarme.  
A los amigos, los que quedaron.*

## NOTA DE ACEPTACIÓN

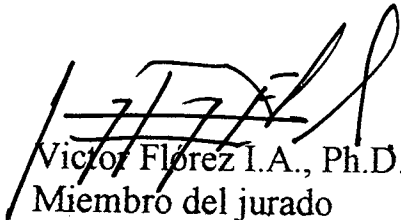
En sesión pública realizada el día 8 de Octubre de 2001, el jurado calificador aprobó la presente Disertación Doctoral.



Gerhard Fischer I.H., Ph.D.  
Presidente del jurado



Harvey Arjona I.A., Ph.D.  
Miembro del jurado



Victor Flórez I.A., Ph.D.  
Miembro del jurado



Orlando Martínez W. I.A., Ph.D.  
Miembro del jurado

## COMITÉ DOCTORAL

Dr. Harvey E. Arjona D. I.A., Ph.D. Presidente Comité Consejero.

Dr. Gerhard Fischer. I.H., Ph. D. Miembro Comité Doctoral

Dr. Orlando Martínez W. I.A., Ph.D Miembro Comité Doctoral

Dr. Rodrigo Artunduaga I. A., Ph. D. Miembro Comité Doctoral

Dr. Juan Pablo Fernández-Trujillo I.A., Ph.D. Asesor Internacional

**Declaración de originalidad**

El reporte de esta tesis es un trabajo original del autor y no ha sido presentado para otro grado en cualquier universidad

MARIA SOLEDAD HERNANDEZ GOMEZ

2001

## Contenido

	Páginas
Resumen	i
Summary	ii
Introducción	1
Revisión de Literatura	6
Desarrollo y maduración del fruto del araza y momento oportuno de cosecha.	37
Temperatura crítica de almacenamiento para el fruto de arazá.	71
Conservación del fruto arazá tratado con cloruro de calcio y almacenado a 12°C.	103
Un único periodo de calentamiento para prolongar la vida de almacenamiento a frutos de arazá.	145
Evaluación del almacenamiento de frutos de arazá, en condiciones de atmósfera modificada.	176
Conclusiones Generales	216

## AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Harvey E. Arjona D. por su orientación y conducción en la realización del programa de doctorado

Al Dr. Orlando Martínez W. del Instituto de Genética de la Universidad de los Andes por su contribución a la formulación y al análisis e interpretación de esta investigación.

Al Dr. Ing. Juan Pablo Fernández-Trujillo por sus enriquecedores aportes en la formulación, análisis, e interpretación del estudio.

Al Dr. Gerhard Fischer por el apoyo durante la realización del programa doctoral.

Al Dr. Rodrigo Artunduaga S. Instituto Colombiano Agropecuario, por su orientación durante el programa de estudios doctoral.

A las Doctoras Luz Marina Mantilla Cárdenas y Rosario Piñeres Vergara. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas –SINCHI- por su apoyo permanente.

Al Ingeniero Hernando Pérez E. Instituto SINCHI por sus aportes al presente estudio.

A los Ingenieros Jaime Alberto Barrera G. y Adriana E. Casas F. por su apoyo irrestricto durante la ejecución de esta propuesta.

Al Señor Aurelio Cuellar, propietario de la Finca “Copoazú” por la confianza y apoyo en la realización de la presente iniciativa.

Al Dr. Isaias Díaz. Director del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos ICTA de la Universidad Nacional, y en su cabeza a todos los docentes y personal técnico del Instituto, por la ayuda en la realización de la presente investigación.

A la Ing. Martha Cecilia Quicazán, por su apoyo incondicional, su contribución y su amistad durante la realización de este estudio.

A la Profesora Silvia Bermúdez P. Directora (E) del programa de especialización en alimentos. Departamento de Química Facultad de Ciencias, por su apoyo a la realización del presente estudio.

A las Ings. Fabiola Benavides y María Fernanda Espitia por su apoyo en el análisis de algunos aspectos de la presente investigación.

A la Profesora Luz Patricia Restrepo por sus aportes en la formulación y la realización de experiencias del presente estudio

A las Profesoras Bertha Coba y Nubia Becerra y Emira Garcés, por la conducción de los estudios anatómicos del presente estudio.

A los Ings. Luis Caycedo y Gerardo Rodríguez del Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia por su oportuno concurso en la realización de aspectos analíticos de esta investigación.

Al Dr. Ing. Francisco Artés Calero y en su cabeza a todo el personal del Laboratorio de Refrigeración y Postrecolección del CEBAS- Murcia, España por las inmejorables experiencias compartidas que ayudaron a la estructuración de mi programa de estudios.

A la Dra. María Isabel Gil Muñoz, del CEBAS-Murcia, España, por su orientación y enseñanzas durante la estancia doctoral.

A, D<sup>a</sup>. Elena Valero por el tiempo compartido y las enseñanzas recibidas.

A D<sup>a</sup>. Mercedes Almagro por su infinita bondad durante el tiempo de mi entrenamiento en el CEBAS.

Al Profesor Christopher B. Watkins, Department of Fruit &Vegetables. Cornell University, por sus contribuciones al presente estudio.

A los Ings. Victoria González y Elkin Florez por sus aportes a la edición del texto de la tesis.

A la Doctora Cilia Fuentes de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Nacional por su amistad y sabios consejos durante la realización de este programa de doctorado.

A los profesores ThomasLandwehr y Ricardo Martínez por sus oportunos consejos durante la realización del programa de estudios.

Al panel sensorial del Programa de Alimentos del Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia por su voluntad de participación en experiencias relacionadas con el presente estudio.

Al Ing. Frank Vargas de AGAFANO-Bogotá, por su colaboración en el suministro de mezclas de gases para los ensayos relacionados.

A toda la familia por que con su paciencia y apoyo hicieron posible la culminación de este estudio.

El arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) es una *Myrtaceae* originaria de la amazonia peruana, altamente adaptada a las condiciones de pobreza y acidez del suelo, cuya precocidad, alto rendimiento y buenas características organolépticas lo identifican como una de las especies con mayores oportunidades para su introducción en las economías de mercado. Sin embargo, su alta perecibilidad ha limitado su comercialización.

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar el proceso de maduración del fruto y evaluar algunos métodos de conservación que permitan la prolongación de la vida media útil del fruto fresco. En la primera etapa se estableció el patrón de crecimiento del fruto, su patrón respiratorio y se hizo un estudio preliminar de su anatomía. El arazá es un fruto de rápido crecimiento y el tiempo que toma su desarrollo completo es de 60 días desde la antésis hasta la madurez de consumo. El fruto presentó un patrón respiratorio de tipo climatérico, con tasas de respiración promedio mayores a  $300 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  y un máximo climatérico de  $1200 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  que incide directamente en una corta vida de postcosecha del fruto. El estudio anatómico preliminar mostró que el tejido principal del fruto de arazá es parénquima de paredes delgadas y células grandes y altamente vacuoladas, lo cual contribuye a su succulencia. El fruto no posee tejido de sostén, lo cual unido a su alto contenido de agua le confiere un carácter altamente perecedero, sobre todo en la madurez de consumo.

Las técnicas usadas para la conservación del fruto fueron la refrigeración, la inmersión del fruto en sales de calcio previa al almacenamiento refrigerado, la aplicación de un período de calentamiento del fruto tras la primera semana de almacenamiento y el almacenamiento de los frutos en condiciones de atmósfera modificada a fin de retrasar su maduración y senescencia.

En el almacenamiento a bajas temperaturas de arazá se probaron 3 temperaturas 7, 10 y 12°C. Se encontró que la maduración continuó en frutos almacenados a 12°C y que tras dos semanas de almacenamiento y un período de 3 días de maduración complementaria el fruto alcanza similares características al fruto recolectado maduro. Por el contrario en las temperaturas de 7 y 10°C, la maduración del fruto no se completa, no hay aumento de sacarosa y fructosa, mientras que el ácido málico y succínico aumentan su nivel de manera significativa.

Las soluciones de cloruro de calcio utilizadas para la inmersión del fruto se mantuvieron a dos temperaturas 4 y 15°C. Las concentraciones empleadas de cloruro de calcio fueron 0, 0.36 mol·L<sup>-1</sup> y 0.72 mol·L<sup>-1</sup> (0,4,8 %p/v). Los frutos tratados con una solución de 0.36 mol·L<sup>-1</sup> y 4°C presentaron la mayor firmeza y el proceso de maduración se dio más lentamente. La solución de 0.72 mol·L<sup>-1</sup> resultó tóxica a los frutos y la maduración no se completó. El efecto de la temperatura de la solución no fue claro, aunque existe un efecto sinérgico entre la temperatura baja de la solución y su concentración y la conservación de niveles de sacarosa y de fructosa, así como de ácido málico del fruto.

La duración de los ciclos de calentamiento aplicados al fruto de arazá fue de 6, 12 y 18 horas a 20°C al final del sexto día de almacenamiento a 10°C. Los frutos tratados durante 18 horas de calentamiento no presentaron daño por frío y completaron su maduración después de 2 semanas y 3 días de maduración complementaria, siendo menos susceptibles a la incidencia de antracnosis. La actividad respiratoria disminuyó en frutos tratados, restableciendo la actividad metabólica normal de los frutos, lo cual contribuyó al aumento de los contenidos de sacarosa y la retención de ácidos málico y succínico, así como de ácido ascórbico. Los frutos tratados con ciclos más cortos no maduraron homogéneamente aunque se las lesiones externas fueron menores al compararlos con frutos testigo y los contenidos de sacarosa y ácido ascórbico fueron mayores de manera significativa.

Finalmente, el almacenamiento de los frutos en condiciones de atmósfera modificada (activa o pasiva) arrojó los mejores resultados en la conservación del fruto, el cual mantuvo

su calidad, sin marchitamiento y escaldadura, conservó la concentración de azúcares y ácidos en el fruto almacenado. Los frutos tratados maduraron normalmente durante el período de maduración complementaria. En estos tratamientos se alcanzó el óptimo con modificación activa en LDPE-38  $\mu\text{m}$  y 21% de  $\text{O}_2$  y 2% de  $\text{CO}_2$  en el estado estacionario (tras 10 días a  $10^\circ\text{C}$ ).

## SUMMARY

ii

Araza (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) is a tree from the *Mirtaceae* family. It is native from the peruvian amazonic region. Araza grows well in the acid and poor soils of the region. Its high yield and flavor characteristics classifies this species as one of the most promising in the regional productive system. Although, its perishable structure limits its commerce.

This study was carried out in order to characterize fruit ripening process and to extend its postharvest life. In the first experiment fruit growth and its respiratory pattern were studied. Fruit growth showed a typical sigmoidal curve and time from anthesis to maturity was 60 days. The respiratory pattern shows a climacteric pattern, with rates of  $300 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  during development and a climateric peak during ripening of  $1200 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  at maximum. The average respiratory rate fruit indicates that araza fruit as a very perishable fruit. Anatomic studies of fruit show parenchyma as a principal tissue with vacuolated cells of thin walls, which contributes to succulence of product, and absence of collenchymas and sclerenchima led fruit to be extremely soft and very susceptible to handling and transport bruising.

Postharvest techniques applied to the fruit were cold storage with or without coadjutants, calcium chloride dips, intermittent warming and modified atmosphere packaging. These techniques were improved in order to delay maturity and senescence.

Fruit were stored at 7, 10 and  $12^\circ\text{C}$ . Fruit matured completely after 5 days at  $20^\circ\text{C}$  or after two weeks of storage at  $12^\circ$  plus 3 days of shelf-life at  $20^\circ\text{C}$  while fruits at 7 and  $10^\circ\text{C}$  showed chilling injury symptoms, sucrose and fructose did not increase, retention of acidity increase, anthracnose incidence increase as similar of uneven ripening and scald appearance.

Calcium chloride dip treatments were applied at two temperatures 4 and 15°C in order to reduce decay and enhance calcium uptake respectively. The concentration of the solutions were 0, 0.36 mol·L<sup>-1</sup>, and 0.72 mol·L<sup>-1</sup> (0,4,8% p/v). Fruits treated with 0.36 mol·L<sup>-1</sup> solutions showed increase in firmness and ripening delay. The 0.72 mol·L<sup>-1</sup> calcium chloride solution was phytotoxic to the fruit and ripening did not occur. Solution temperature effect was unclear, but it seems to exist a synergic effect between low temperature of the solution and its concentration.

A single warming treatment for 6, 12 and, 18 hours at 20°C after 1 week of storage at 10°C were applied. It was found that fruits treated with an 18 hours warming period did not show chilling injury and reach full maturity after 2 weeks storage plus 3 days of additional ripening, as a result of respiratory activity decreasing. Short warming periods did not improved fruit quality because of chilling injury and partial uneven to ripe, although sucrose and ascorbic acid levels increase in those treatments.

Finally, modified atmosphere (either active or passive) showed the best results to maintain araza fruit quality. LDPE-2 package avoided chilling injury (scald), preserved high sugars and acid levels and decreased decay. The optimum condition was achieve by active/passive packaging in LDPE 38µm that resulted in 21% O<sub>2</sub> and 2% CO<sub>2</sub> gas concentration within the packages at the steady state, after 10 days at 10°C.

## INDICE DE ABREVIATURAS

- A:** Almacenamiento
- AM:** Atmósfera modificada
- ATM:** Atmósfera
- ATT:** Acidez total titulable.
- AR:** Actividad respiratoria.
- C:** Concentración de la solución, ensayo con inmersión en soluciones de cloruro de calcio.
- CI:** Calentamiento intermitente.
- CLAE:** Cromatografía líquida alta eficiencia.
- CME:** Cuadrado medio del error (Análisis de varianza).
- CO:** Canales oleíferos del fruto (estudio anatómico).
- D:** Densidad del polietileno en ensayo de atmósfera modificada.
- DL:** Diámetro longitudinal del fruto.
- DLe:** Diámetro longitudinal del estoma.
- DT:** Diámetro transversal del fruto.
- Dte:** Diámetro transversal del estoma.
- E:** Etapas de desarrollo del fruto.
- G:** Grados de color en el fruto.
- IM:** Índice de madurez.
- LDPE:** Polietileno de baja densidad
- MC:** Período de maduración complementaria tras el almacenamiento.
- MPF:** Bolsa macroperforada, ensayo de atmósferas modificadas
- N:** Newtons medida de la textura del fruto.
- PF:** Peso fresco del fruto.
- PS:** Peso seco del fruto.
- S.I.:** Sin inyección, ensayo de atmósfera modificada.
- SST:** Sólidos solubles totales, medidos como °Brix.

**TA:** Tiempo de almacenamiento.

**TCD:** Detector de conductividad térmica.

**TS:** Temperatura de la solución, ensayo con inmersión en soluciones de cloruro de calcio.

Los expertos en comercialización de frutas y agroindustria señalan al siglo XXI, como el siglo de los frutos exóticos, los cuales tienen su origen en las zonas tropicales de América, Asia y Australia (Ordúz, 2000).

La familia *Myrtaceae* se distingue por el aporte de especies alimenticias de importancia en la economía mundial entre las cuales se pueden mencionar especies como el clavo, la canela, la nuez moscada y la pimienta de jamaica, sin olvidar el eucalipto por sus propiedades medicinales, mientras que entre las bayas se destacan los géneros *Campomanesia*, *Eugenia*, *Myrciaria* y *Psidium* con frutos como el arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh), el camu-camu (*Myrcaria dubia* Mc Vaugh), la guayaba (*Psidium guajava* L.), la jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg) y el pomorroso (*Syzygium malaccense* (L) Merr & L.M.Perry) cuya importancia va desde el consumo local, como es el caso de estos últimos hasta mundial como es el de la guayaba (Donadio, 1992; 1997).

El arazá es originario de la Amazonia oeste- Perú, Bolivia y Colombia- (Crane y Campbell, 1990; Morton, 1987) y se encuentra bien adaptado a las condiciones de suelos pobres y ácidos, propios de la región amazónica. Las características de productividad, precocidad de la planta, unidos a lo singular del aroma y sabor del fruto, así como sus apreciables contenidos de vitamina C (27 mg/100g pulpa) y proteína (12.4 % bs) unido a los altos rendimientos para obtención de pulpa, (mayores al 71%), lo convierten en uno de los frutales exóticos promisorios para el nuevo siglo, con un alto potencial comercial y agroindustrial (Clement 1983; Swift y Prentice, 1983).

El arazá ha sido incluido en los sistemas agroforestales de los sistemas productivos de la región amazónica colombiana y la de otros países de la cuenca, lo que hace que en esta década su producción empiece a incrementarse ya que las áreas de agroforestería alcanzan

400 hectáreas en el Departamento del Guaviare, en donde por ejemplo se reporta el arazá como una de las especies de mayor importancia de los sistemas agroforestales que actualmente se encuentran en plena producción (Giraldo et al, 2000), mientras que en el Departamento del Caquetá se reportan 4 hectáreas comerciales establecidas y algo más de 10 en proceso de establecimiento. La producción promedia anual de las parcelas comerciales, en el Departamento del Caquetá se encuentra alrededor de 13 ton/ha/ año, las cuales son comercializadas a escala local y en el último año han trascendido al mercado de cadenas del Departamento del Huila.

En el Departamento de Amazonas, las propuestas de agroforestería incluyen un componente de especies frutales en sus arreglos. Los colonos y las comunidades indígenas adelantan proyectos productivos que en total pueden significar el establecimiento de alrededor de 500 Hectáreas. en especies frutales y maderables, entre los cuales el arazá constituye una de las especies prioritarias junto con el camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh) y copoazú (*Theobroma grandiflorum* wild ex Spreng Schum).

Los reportes de Perú y Brasil de los primeros años de la domesticación del arazá, direccionaban apuntaban a la necesidad de tecnología para producir pulpas y sus derivados (Giacometti y Lleras, 1992; Villachica et al., 1996). Consideraban, estas investigaciones, que dada la alta percibibilidad del fruto de arazá y su elevada acidez, su comercialización en fresco resultaba prácticamente imposible y de poco interés, mientras que su mercado se afincaba definitivamente en los productos transformados y con miras a los mercados extranjeros (Gentil y Clement, 1997).

Dichas apreciaciones, aunque bien planteadas, desconocen algunos aspectos básicos de la comercialización de productos hortifrutícolas nuevos. En primer lugar no considera las etapas que tiene que abordar el tránsito de un nuevo fruto hasta hallar nichos de mercado, lo cual involucra el desarrollo de mercadeo como fruta fresca o procesada en mercados regionales, para luego pasar a ciudades intermedias y finalmente a las principales capitales, y a todo el país, para finalmente evaluar las posibilidades de mercados internacionales.

Dicho de otra manera, la comercialización del nuevo producto debe empezar por el país de origen para asegurar un consumo interno (incluido el turismo), para luego trascender las fronteras (Orduz, 2000 y Cuellar, 2000). Por otra parte desconocen la relación que el consumidor tiene que establecer entre el producto procesado y la materia prima de origen y además desconoce los hábitos alimenticios de los consumidores de diferentes orígenes. A esta condición se suma que Giacometti y Lleras (1992) sugieren, además, que la oportunidad del arazá se sitúa en la generación de tecnología para permitir que el consumo del fruto se traslade de los sitios de producción a los centros de consumo

La primera etapa de la comercialización consiste en posicionar el fruto fresco en los mercados para que se conozcan las características de esta promisoría especie tropical. En Colombia, los productores de arazá han encontrado demanda del producto en fresco, por lo que se hace indispensable que el paquete tecnológico incluya técnicas de conservación del fruto cosechado.

Es de esperar que una vez que la estructura del mercado del fruto de arazá se haya consolidado, generando sus oportunidades en el comercio nacional, la demanda del consumidor se dirija hacia productos elaborados de alta calidad y de más prolongada duración.

Un paquete tecnológico apropiado para el fruto de arazá incluirá adicionalmente, tecnologías para la obtención de pulpas, néctares, mermeladas y otros derivados, atendiendo, de esta manera, puntos de vista de investigadores como Clement (1983), Donadio (1997), Knight (1987) y Swift y Prentice (1987) quienes privilegian las oportunidades comerciales del arazá, principalmente a través de sus productos derivados.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar 4 métodos de conservación de frutos de arazá en estado verde maduro, para prolongar su vida útil en la poscosecha. Los estudios propuestos fueron diseñados con el fin de disminuir las principales pérdidas poscosecha del fruto como son la deshidratación y el marchitamiento, pérdida de firmeza y aroma

podriciones y daños por frío a bajas temperaturas (Pinedo et al., 1981; Galvis y Hernández, 1993 b). Para alcanzar dicho objetivo se caracterizó el proceso de crecimiento del fruto mediante el seguimiento a los cambios fisiológicos, físicos, químicos y anatómicos del fruto durante su desarrollo para determinar el momento oportuno de cosecha (Capítulo 3).

La refrigeración constituye uno de los métodos más ampliamente empleados en la conservación de frutas y hortalizas. En consecuencia, los frutos de arazá fisiológicamente maduros fueron almacenados en condiciones de refrigeración para establecer su sensibilidad a las bajas temperaturas, determinar la temperatura crítica de almacenamiento y la pérdida de calidad del fruto durante este período producida por el daño por frío y su actividad respiratoria (Capítulo 4).

Los frutos de arazá, son susceptibles a la disminución de firmeza y pérdidas por pudriciones y daños frío, por lo que se propusieron algunos métodos que en combinación con la baja temperatura aumentarían la firmeza y disminuirían las pudriciones. El primero de ellos fue el pretratamiento con cloruro de calcio, el cual ha sido empleado con moderado éxito en tratamientos de poscosecha aumentando la firmeza de los frutos tratados y disminuyendo la susceptibilidad al ataque de microorganismos (Capítulo 5).

Se evaluó la respuesta del fruto de arazá acondicionado con un ciclo de calentamiento elevando su temperatura transitoriamente. Otros investigadores han encontrado en otras especies ya que se ha encontrado que el calentamiento, bien como pretratamiento térmico al inicio del almacenamiento, así como durante el mismo pero a niveles más suaves, incrementa la resistencia de los frutos a la baja temperatura. Ello se demuestra en que las lesiones por frío retrasan su aparición e incidencia en incluso en almacenamientos cortos no aparecen (Capítulo 6).

Finalmente, se probó el efecto de almacenar frutos de arazá en estado verde maduro en condiciones de atmósfera modificada, usando polietileno de baja densidad LDPE-2 38  $\mu\text{m}$  y LDPE-3 74  $\mu\text{m}$  con modificación activa y pasiva de atmósfera y macroperforación para

establecer los efectos de dichos tratamientos en la prolongación de la vida útil del fruto y la incidencia del daño por frío (Capítulo 7).

### Origen y distribución del arazá

El arazá es originario de la región amazónica occidental comprendida entre los ríos Marañón y Ucayali y en las proximidades de Requena y el nacimiento del río Amazonas. Su origen corresponde a uno de los 5 centros de diversidad que se encuentran en la Amazonia (Donadio, 1995).

La mayor diversidad genética del arazá se registra en el sudoeste de la Amazonia y las mejores variedades fueron seleccionadas por los indígenas peruanos, en Iquitos. La planta se encuentra en estado silvestre en Bolivia, Colombia y el estado de Amazonas (Brasil) (Clement, 1989; Giacometti y Lleras, 1992; Pinedo et al., 1981; Moraes et al., 1994; Quevedo 1995).

Mc Vaugh (1956) describió dos subespecies, una silvestre, *stipitata* de Brasil y Perú, conocida como araza-boi en Brasil y pichi en Perú. La otra subespecie, domesticada, *sororia*, de Perú, también conocida como *rupina caspi* (Gentil y Clement, 1997).

El arazá, subespecie *sororia*, es cultivado en Perú, Brasil, Ecuador, Colombia, Bolivia y Costa Rica. En Colombia, se encuentra distribuida en los departamentos de Meta, Caquetá, Putumayo y Amazonas. También hay reportes en Cundinamarca, el eje cafetero y el Valle del Cauca, donde ha sido introducida en las últimas dos décadas (Rodríguez, 1991).

### La planta

El arazá *Eugenia stipitata* McVaugh subespecie *sororia* es un arbusto con follaje denso que alcanza alrededor de los 3 metros de altura (foto 2.1-2.4); hojas simples, opuestas, enteras, delgadas, fuertes, esclerófilas, de forma elíptica, elíptico-oblonga y lanceolada, con ápice acuminado hasta aristado y base redondeada obtusa a subcordada; la hoja exhibe una

longitud de 11 cm de longitud y un ancho de 4.49 cm presenta peciolo de 1 a 5 mm, algunas veces sésiles (Ariza, 2000).

La propagación del arazá se hace normalmente por medio de semillas, puesto que hasta el momento la propagación asexual no ha mostrado resultados exitosos. La planta de arazá inicia la producción de frutos después del segundo año de establecida en campo y a partir de este momento el rendimiento aumenta gradualmente; la producción comercial se alcanza entre el quinto y el duodécimo año y el cultivo se considera rentable a partir del sexto año. Esta especie produce a lo largo de todo el año, obteniéndose cosechas relativamente mayores cada dos o tres meses. Dependiendo de la edad del cultivo y de las condiciones ambientales y de manejo, se han estimado rendimientos entre 2.5 y 60 ton/ha-año (Ferreira y Gentil, 1999; Morton, 1987).

### **El fruto**

El fruto se caracteriza por ser una baya globosa-cóncava o esférica, algo deprimida (foto 5-6); el epicarpio es delgado, presenta pubescencia fina y color verde claro que se torna amarillento o anaranjado en la madurez; la pulpa (mesocarpio) es espesa, jugosa, entre amarillo y naranja, aromática y agridulce; y la cavidad interior del fruto está ocupada por un número de 12 a 16 semillas de 1-2.5 cm de longitud (Ariza, 2000; Ferreira y Gentil, 1999; Rodríguez, 1990).

La subespecie *stipitata* puede presentar hasta 23 semillas por fruto, mientras que en el proceso de domesticación el número de semillas ha disminuido y los reportes indican un número promedio de 12. En el caso de la subespecie *sororia* el número de semillas es menor a 12 y puede variar entre 8-10, con longitudes de máximo 1.5 cm (Ferreira, 1992; Morton, 1987; Swift y Prentice, 1983)

Actualmente en los sistemas productivos de la región amazónica colombiana se distinguen frutos de dos ecotipos, uno de origen peruano y otro de origen brasilero, producto de la

introducción de materiales foráneos. El arazá ecotipo peruano posee una forma aplanada y sus características organolépticas resultan más atractivas al consumidor; sin embargo, el fruto es más pequeño y el número de semillas por lo general es mayor aunque de menor tamaño.

Los frutos maduros de arazá tienen una alta variabilidad con relación a sus dimensiones, resultado de las condiciones ambientales y de manejo, el acervo genético y el carácter silvestre de la especie (tabla 2.1) (Hernández et al. 2001). El fruto promedio es de 7 cm y el diámetro transversal de 80 mm, mientras que el peso fresco puede ser superior a 200 g.

**Tabla 2.1.** Dimensiones promedio de frutos de arazá cosechado en la Amazonia colombiana.

Variables	Ariza (2000)	Hernández y Galvis (1993)	Paéz (2000)	
			Ecotipo Brasileño	Ecotipo Peruano
Diámetro longitudinal (mm)		70	70	80
Diámetro transversal (mm)	70-80	80	80	73
Peso fresco (g)	172-331	225.4	227.33	189.84

### **Caracterización química del fruto de arazá del piedemonte amazónico en estado maduro**

El fruto de arazá posee un alto contenido de humedad, alrededor del 90%. Los contenidos proteicos se encuentran alrededor de 12.7 (tabla 2.2), mientras que la fibra cruda alcanza un promedio de 10.5%. El arazá aporta una moderada cantidad de ácido ascórbico, entre otras vitaminas como la A (tabla 2.2). Además se han identificado hasta treinta compuestos volátiles en el fruto siendo los sesquiterpenos y particularmente el germacreno D los más abundantes (Franco y Shibamoto, 2000).

El fruto de arazá es reconocido por su alta acidez de  $230 \text{ mmol H}^+ \cdot \text{L}^{-1}$ , un pH de 2.9 y un moderado contenido de sólidos solubles de 5.5-6 % (Galvis y Hernández 1993 a,b; Tai Chun, 1995).

**Tabla 2.2.** Caracterización química de la pulpa del fruto de arazá del piedemonte amazónico en estado maduro. Los datos reportados se dan en base seca.

Variable	Contenido	
	Ecotipo Brasilero	Ecotipo Peruano
Materia seca	9.68	7.89
Proteína	12.67	11.05
Extracto etéreo	12.32	12.23
ENN	61.68	64.17
Fibra cruda	11.29	9.74
Cenizas	2.04	2.81
Vitamina A ( $\mu\text{g}$ )	-----	7.8
Vitamina C	-----	23.3

Fuente: Aguiar (1983) Barrera *et al.*, 2001; Oviedo y Barrera (2000); Pinedo *et al.*, (1981);

### Usos y potencialidades

En la región amazónica el arazá es comercializado como fruto fresco y producto procesado. Se han identificado aplicaciones agroindustriales del fruto para la elaboración de pulpas, mermeladas, néctares y bocadillos, así como de conservas y deshidratados de buena calidad y estabilidad (Hernández y Galvis 1993; Hernández y Barrera, 2000; Ferreira y Gentil, 1999).

Son muchos los autores que coinciden en afirmar que el potencial del fruto de arazá, como especie tropical es enorme (Clement, 1983; Gonzalez Tangoa, 1991; Campbell, 1996). Todos ellos destacan la precocidad de su producción, la calidad de su fruto, que no solo fortalece la nutrición regional sino que contribuyen a satisfacer los requerimientos mínimos de proteína, fibra y Vitaminas A y C e inciden de manera positiva en que el fruto de arazá sea incluido en las cadenas agroproductivas regionales, lo que podría favorecer la nutrición en la región amazónica, ya que de otra manera el consumo de vitaminas provendría principalmente de frutos “importados” a la región (tabla 2.2).

Algunos autores como Gentil y Clement (1997) aseguran que la principal posibilidad del fruto se encuentra a partir de su transformación en pulpa. Sin embargo, el mercado en

fresco del fruto esta iniciándose en Colombia y ya ha superado el consumo de la pulpa. En mercados como Neiva por cada 750 Kilos de fruto fresco comercializado, se comercializan máximo 10 kilos de pulpa, en el mismo tiempo (Cuellar, 2000; Orduz 2000).

### **Plagas y enfermedades del fruto**

Los frutos de arazá son atacados por la mosca de la fruta *Ceratitis capitata* y *Anastrepha obliqua*, según reportes de Couturier et al., (1993) y Suquilanda (1995), las cuales ovipositan desde estados iniciales de desarrollo del fruto. También son consideradas plagas de importancia económica los coleópteros: *Conothachelus eugeniae* y *Atractomerus imigrans*, que influyen sobre la calidad y la cantidad de los frutos cosechables y *Plectrophoroides impressicollis*, que a veces destruye completamente las flores (Couturier et al., 1996). Suquilanda (1995) reporta también, en estudios adelantados en el Ecuador, la presencia de un lepidóptero de la familia *Mimallonidae*, especie *Mimallo amilia* y el ácaro *Tegonotus guavae*.

Coinciden con estas observaciones, los resultados encontrados por Tai Chun (1995) en estudios adelantados en Costa Rica, quien reporta seis plagas y enfermedades en los frutos de arazá, destacando la mosca de la fruta *Anastrepha striata*, roya producida por *Uromyces sp*, antracnosis causada por *Colletotrichum sp* y roña originada por *Sphaceloma sp*.

*Ecthoea quadricorni* (Coleóptera), *Neosilba zadolichi* (Díptera) y *Trigona branneri* (Hymenoptera) constituyen plagas de importancia económica limitada, que aunque pueden llegar a causar daños en el fruto, son consideradas secundarias ya que son puntales y no permanentes (Couturier et al., 1996). Las abejas del género *Trigona* pueden realizar una función de polinizadores como lo han reportado Falcao et al. (1988) y Ariza (2000).

La principal enfermedad en frutos de arazá es antracnosis (*Gloesporium sp*), la cual se desarrolla en heridas o áreas del fruto afectadas por daños por frío (Arkcoll, 1990). Otro patógeno identificado en arazá es *Cylindrocladium scoparium* cuyas lesiones se inician

como pequeñas manchas café que luego pueden alcanzar hasta 0.3 cm del mesocarpio del fruto (Nuñez et al., 1995). La incidencia de roya en arazá ha sido reportada por Moraes et al. (1994) y Tai Chun (1995) en Manaos y en Costa Rica.

### **Grado de desarrollo de madurez en la cosecha**

De acuerdo con Alique y Zamorano (2000), el grado de madurez de recolección debe contribuir a que el fruto presente las mejores características de calidad (nutritiva, sensorial y microbiológica) y para su manipulación, transporte y comercialización. En frutos climatéricos, si la comercialización es a corta distancia y el transporte y la conservación están asegurados, deberán recolectarse en madurez de consumo. Por el contrario, si la comercialización es a mayor distancia, los frutos se recolectan en los inicios de su madurez fisiológica o biológica y se aplicarán tecnologías de post cosecha que retarden el desarrollo de la maduración.

Los índices de madurez pueden ser destructivos o no y deben reunir un mínimo de condiciones, tales como ser simples, fáciles de llevar a cabo en el cultivo, tienen que ser objetivos y además ha de ser repetibles. Existen valores mínimos de algunos de estos índices a partir de los cuales el fruto puede ser recolectado y también valores óptimos según el destino del producto. Los índices de madurez pueden agruparse en fisiológicos, como la respiración y la producción interna de etileno, químicos: contenidos de clorofila, y otros pigmentos, azúcares solubles, ácidos orgánicos, sustancias pécticas solubles e insolubles, compuestos fenólicos y producción de compuestos aromáticos y bioquímicos tales como, síntesis de proteínas o la síntesis de enzimas específicas del proceso de maduración (Alique y Zamorano, 2000; Reid, 1992).

Herrero y Guardia (1991) proponen como índices rápidos y de fácil ejecución el color, la forma, la dureza de la pulpa, el índice refractométrico (°Brix), el test del yodo-yoduro, la acidez total y la relación sólidos solubles/ acidez o índice de madurez, los cuales ofrecen al productor una prueba sencilla del desarrollo de la maduración del fruto.

En el caso del fruto de arazá, Galvis y Hernández (1993 a) sugieren que el color, el contenido de sólidos solubles (°Brix) y la firmeza constituyen índices adecuados para su cosecha.

### **Fisiología de postcosecha de frutas tropicales**

La producción mundial de frutas está dominada por los cítricos, las uvas, las bananas y las frutas de pepita (principalmente manzanas) y las frutas de hueso. De las especies de origen tropical de mayor importancia en los mercados mundiales se pueden destacar el aguacate, la papaya, el mango y la piña. Los estimativos de pérdidas de postcosecha de estas frutas varían ampliamente tanto en países desarrollados como en países en desarrollo. En muchos casos, no es claro que significan estos datos, especialmente cuando los rangos son tan amplios, entre el 20-95% en países en desarrollo. Se hace necesario disminuir estas cifras, mediante el conocimiento de la fisiología de postcosecha y aplicar las técnicas de manejo apropiadas a fin de conocer el real potencial de manejo de las especies tropicales (Paull, 1994).

Paull (1994) y Nakasone y Paull (1998) mencionan que la fisiología de las frutas tropicales no difiere de la fisiología de los frutos de clima templado y subtropical, por lo que se pueden implementar tecnologías ya probadas y conocidas en ellos. Sin embargo, es posible encontrar diferencias en la velocidad de maduración y en la senescencia y en algunos casos en el orden cronológico de los eventos que ocurren en el proceso de maduración. Las diferencias más relevantes que Paull (1990) anota entre los frutos tropicales y los de clima templado son, entre otras, la mayor velocidad para madurar de los frutos de tipo climatérico, de origen tropical y la necesidad de someterlos a tratamientos cuarentenarios, si su destino es el mercado internacional, considerando los problemas de la mosca de la fruta, adicional, a su sensibilidad al daño por frío. Existe una brecha considerable entre la tecnología desarrollada para frutos de los países desarrollados y climas temperados y los

frutos de los países en desarrollo y de origen tropical. Las pérdidas postcosecha en estos últimos pueden superar el 50%.

La sensibilidad de los frutos tropicales a las bajas temperaturas puede constituir un limitante a su conservación. La refrigeración es el método de conservación para frutas y hortalizas más empleado. Sin embargo, su implementación requiere de conocimiento previo de la fisiología del producto a fin de no generar daños irreversibles.

### **Maduración de frutos**

Brady (1987) define la maduración de un fruto como la transición entre el crecimiento y el desarrollo a la senescencia. El inicio de la maduración, de hecho, es un comienzo de la diferenciación de ciertos tejidos programada en el genoma de los frutos y que conducirá a la senescencia, y posterior “muerte de los tejidos”. La acumulación de pigmentos y cambios en la pared celular no son procesos de senescencia, ya que involucran procesos de síntesis y la senescencia está asociada con procesos catabólicos.

Por mas de 40 años se considero que el proceso de maduración era una consecuencia de la ruptura de la resistencia de los compartimentos celulares. Solo, durante las últimas dos décadas se encontraron evidencias de la acumulación de proteínas y la síntesis de RNA durante la maduración y del control genético que existe del proceso. A partir de este momento la maduración se identifica con un proceso de diferenciación de tejidos (Brady, 1987).

### **Ablandamiento de los frutos**

El ablandamiento de los frutos es un proceso integral de la maduración de casi todos los frutos y tiene una inmensa importancia porque la vida comercial de los productos se ve limitada por éste. La principal consecuencia del ablandamiento son los daños durante la manipulación y un incremento en la susceptibilidad a enfermedades.

El ablandamiento está normalmente acompañado por un incremento en la concentración de polisacáridos pécticos solubles. El incremento en residuos de ácido péctico soluble está relacionado con un incremento en las enzimas endo y exo poligalacturonasa (Brady, 1987).

Montiel et al. (2000), encontraron que durante la maduración de la guayaba, familia *Myrtaceae*, disminuyen los contenidos promedios de ácido galacturónico de 4.8 a 2.2%, mientras que el porcentaje de metoxilo y el grado de esterificación también disminuyen entre 2.4 y 2.1% y 48 y 25.8 respectivamente, indicando el desdoblamiento de las protopectinas a unidades más pequeñas lo cual es responsable del ablandamiento de la fruta.

### **Respiración y energía**

La maduración requiere la síntesis de proteínas nuevas y RNAm, así como también pigmentos y aromas. Estos procesos anabólicos requieren esqueletos de carbono que son suministrados por la respiración (Biale y Young, 1971; 1981).

Los frutos carnosos pueden ser clasificados como climatéricos y no climatéricos de acuerdo con su patrón de respiración. Los frutos climatéricos presentan un ascenso en la respiración; este pico puede coincidir con la madurez de consumo, o puede antecederla o ser posterior a ella. También la magnitud del pico puede variar de un fruto a otro. Este pico climatérico desencadena cambios bioquímicos, que tienen su inicio con la producción autocatalítica de etileno (Rhodes, 1980). En contraste, los frutos no climatéricos simplemente presentan un decrecimiento gradual de su respiración durante la maduración (Biale y Young, 1971). Los frutos con más alta intensidad respiratoria maduran más rápido y son mucho más perecederos, mientras que los frutos con menor intensidad respiratoria poseen una vida post cosecha más larga. Esto ha conducido a que la regulación de la respiración puede llegar a ser la estrategia para la manipulación bioquímica de la vida del producto durante la postcosecha (Paull, 1990; Seymour et al., 1993).

Los dos principales sustratos respiratorios encontrados en los frutos son los azúcares y los ácidos orgánicos. En algunos casos como el aguacate y la aceituna existen importantes reservas de lípidos; sin embargo, éstos no parecen ser usados como sustrato respiratorio.

El cociente respiratorio de los frutos carnosos varía alrededor de uno (1), indicando que los azúcares son el sustrato respiratorio predominante. En otros casos, el metabolismo de los ácidos orgánicos puede llegar a aportar significativamente en la respiración, en cuyo caso el cociente es de 1.33. Tanto azúcares como ácidos son almacenados en la vacuola y constituyen la mayor parte del sabor de los frutos. Ellos van siendo liberados de manera controlada por la vacuola y hay una cantidad disponible para la respiración (Wills et al., 1998).

### **Cambios de sabor**

En los frutos carnosos, los azúcares y los ácidos orgánicos son los que contribuyen inicialmente al sabor, mientras que la naturaleza astringente de algunos de éstos puede ser atribuida a la presencia de compuestos fenólicos y taninos. Por otra parte, el aroma característico de cada fruto se debe a la producción de volátiles específicos. El aroma de los frutos depende de la compleja interacción de azúcares, ácidos orgánicos, fenoles y compuestos aromáticos, incluyendo un amplio rango de volátiles (Seymour et al., 1993; Rhodes, 1980).

Algunos frutos acumulan toda su reserva de carbohidratos antes de dar inicio a la maduración. Estos son almacenados en forma de azúcares como el tomate, o como almidones en el caso de la banana. Otros continúan acumulando azúcares de la planta durante la maduración (como la fresa y la uva) y ello contribuye, de manera importante, en su sabor. Los frutos que acumulan sus asimilados antes de la maduración pueden ser cosechados en el estado verde maduro y pueden llegar a alcanzar un sabor aceptable en la maduración. Claros incrementos del contenido de sacarosa se presentan en melocotón, mango, zapote mamey, a medida que el fruto madura, mientras que la glucosa y la fructosa

permanecen constantes (Díaz-Pérez et al., 2000; Meredith et al., 1989). Esto es importante cuando se considera la necesidad de una cosecha temprana para optimizar la vida de mostrador.

En el caso de los ácidos orgánicos se puede afirmar que las concentraciones disminuyen durante la maduración debido a que son utilizados como sustratos respiratorios, mientras que los niveles de azúcar en el fruto tienden a aumentar, debido a la importación desde la planta o a la movilización de reservas de almidón dentro del fruto, dependiendo del tipo de fruto y de si éste madura o no fuera de la planta (Seymour et al., 1993).

La disminución del contenido de ácidos orgánicos durante la maduración de los frutos, no es general en todas las especies, sin embargo, se ha encontrado que en la gran mayoría existe una clara tendencia a la disminución del contenido. Ejemplos son el melocotón, la chirimoya y la pitaya, entre otros (Centurión et al., 2000; Díaz-Pérez et al., 2000; Meredith et al., 1989; Selli y Sansavini, 1995; Vizzoto et al., 1996).

Los compuestos volátiles aromáticos están presentes en muy bajas concentraciones, del orden de ppm, pero son muy importantes debido a que son los que proveen el sabor y el aroma característico de diferentes frutos. Se conoce poco sobre ellos y apenas en manzana y jugo de naranja y en algunos tropicales como lulo, arazá, o copoazú se han hecho avances.

En el fruto de copoazú, los aromas se encuentran asociados a la parte fibrosa de su pulpa y son las porciones de ácidos de cadena corta los responsables del aroma y sabor característico. En arazá y camu-camu los terpenoides parecen los compuestos volátiles de mayor abundancia (91-98%), los cuales son sintetizados durante el proceso de maduración (Fischer et al., 1995; Franco y Shibamoto, 2000).

## **Cambio de color**

No todas las frutas cambian de color.. El cambio de color también está asociado con la degradación de la clorofila, que desenmascara los pigmentos  $\beta$ -caroteno que estaban presentes con anterioridad. En otras oportunidades el cambio de color se da porque hay degradación de la clorofila y a su vez hay síntesis de otros pigmentos como antocianinos y carotenoides que son responsables del color morado y naranja (Rhodes, 1980; Wills et al., 1998).

La degradación de la clorofila se da en dos pasos: el primero es la solubilización de la clorofila dentro del estroma. El segundo, una vez solubilizada la clorofila, ésta puede ser oxidada químicamente a los productos incoloros purinas y clorinas. La degradación de la clorofila permite el desenmascamiento de pigmentos  $\beta$ -caroteno y xantofilas. En la mayoría de los frutos hay una conversión de los cloroplastos en cromoplastos. Los procesos de conversión de organelos y síntesis de pigmentos se dan de manera simultanea (Hobson, 1993).

## **Senescencia de frutos**

La senescencia de los frutos se define como el estado final de su ontogenia, período en el cual se dan eventos de carácter irreversible que conlleva a la descompartimentalización y al caos (Rhodes, 1980). En general, estos cambios están asociados con alteraciones de color, sabor, textura y aroma. Estos cambios son propios de cada fruto, regulados por la actividad de las enzimas específicas de cada proceso (Grierson, 1987).

La senescencia constituye la etapa final del desarrollo de los frutos. Se caracteriza porque los procesos catabólicos sustituyen a los anabólicos o de síntesis. En esta etapa tiene lugar la pérdida de la selectividad de las membranas plasmáticas, fuga de iones, peroxidación de sus lípidos, así como pérdida de fosfolípidos e incremento de saturación de los ácidos grasos que la constituyen (Todd et al., 1992).

## **Conservación de frutas a bajas temperaturas**

La maduración de los frutos ocurre en un estrecho rango de temperatura. A temperaturas inferiores a la temperatura crítica se interrumpe el proceso de maduración. Similarmente, a temperaturas superiores a 35°C no se presentan cambios de color característico y en frutos de tipo climatérico no se presenta el alza climatérica. La maduración normal de los frutos y hortalizas se produce entre 10 y 25°C (Rhodes, 1980; Thompson, 1996).

La vida útil de los frutos durante la postcosecha puede ser aumentada mediante tratamientos como la refrigeración. Disminuir la temperatura contribuye a controlar la síntesis de etileno, que es la hormona encargada de regular la síntesis de enzimas que degradan la lamina media de la pared celular, clorofilasas y amilasas; en consecuencia, se prolonga la vida de poscosecha del producto (Alique y Zamorano, 2000).

La temperatura es un factor decisivo en la actividad respiratoria en particular y en el metabolismo de los frutos, en general. Una disminución de 10°C trae consigo una reducción en la velocidad de las reacciones a aproximadamente a la mitad (Wills et al., 1998). El objetivo de conservar los productos de origen vegetal, regulando el metabolismo durante la postcosecha es prolongar su vida útil, así como procurar el suministro permanentemente de éstos productos y con ello la satisfacción de un mercado en constante demanda, con lo cual se consolidan las cadenas de comercialización (Alique y Zamorano, 2000; Marangoni et al., 1996).

En los frutos climatéricos, la regulación de la maduración puede lograrse con mayor éxito y por tanto optimizar su comercialización. Éstos pueden ser recolectados de manera anticipadamente, consiguiéndose, de esta manera, una mejor regulación de la maduración. En éstos, se reduce tanto la hidrólisis de almidón como el consumo de azúcares monosacáridos glucosa y fructosa y se mantienen los ácidos orgánicos, aunque en frutos tropicales se ha encontrado que éstos pueden llegar a aumentar (Alique y Zamorano, 2000; Thompson, 1996).

## **Daño por frío**

El daño por frío es el daño fisiológico permanente de tejidos, células y órganos que resultan de la exposición de las plantas sensibles al frío a temperaturas por debajo de la temperatura crítica. Para la mayoría de los cultivos sensibles se encuentra alrededor de 10-12°C, aunque esta sensibilidad depende del tiempo de exposición. Esta sensibilidad dificulta el manejo de postcosecha y el almacenamiento de los productos, ya que la refrigeración es la forma más común de extender la vida útil de los productos perecederos (Lyons y Breidenbach, 1987; 1990).

Lyons y Breidenbach (1987) anotan que los factores que determinan la magnitud del daño por frío son la temperatura, la duración de la exposición a la baja temperatura, si esta exposición es continua o intermitente y la edad fisiológica del órgano. Wang (1994) afirma que el estrés por frío está influenciado por la temperatura de campo durante la precosecha y que el daño por frío puede iniciarse desde que el fruto es sometido a la baja temperatura desde la precosecha.

La hipótesis más reciente del desarrollo del daño por frío afirma que se produce en dos etapas, en la primera hay una modificación física de la membrana celular, la cual pierde su estructura flexible y se torna rígida solidificada y gelatinosa (Wang, 1982; Marangoni et al., 1996). Las membranas de los organelos y el citoplasma se modifican y permiten la salida de iones y de compuestos orgánicos. La descompartmentalización a nivel celular conduce a la liberación de enzimas, las cuales reunidas con los sustratos aceleran la velocidad de senescencia (Marangoni et al., 1996). Parkin et al. (1989) mencionan que las bajas temperaturas inducen cambios en las enzimas solubles, la actividad de la fenil amonio liasa aumenta, mientras que las actividades de la superóxido dismutasa y la catalasa disminuyen, facilitando la acumulación de compuestos cuyos niveles pueden resultar tóxicos.

En la segunda etapa se da la separación de la membrana plasmática (Platt-Aloia y Thompson, 1987) y tienen lugar las manifestaciones externas asociadas al cambio de la

conformación de membranas dentro de las que se destacan la estimulación a la producción de etileno, incrementos en la tasa de respiración, y aumento de gasto de energía. Frecuentemente se observa la disminución del movimiento de ciclización intracelular y un incremento en la permeabilidad de la membrana, la cual pierde la selectividad (Wang, 1982; 1994). En esta fase, el daño se torna irreversible, debido a la degradación de los lípidos de la membrana y a la acumulación de productos de la degradación de los lípidos (Marangoni et al., 1996).

Saltveit y Morris (1990) y Alique y Zamorano (2000) resumen las manifestaciones del daño por frío en lesiones superficiales, picado y/o quemaduras, encharcamiento de los tejidos, decoloración y descomposición interna, senescencia acelerada, aumento de la susceptibilidad a la pudrición e incapacidad para madurar normalmente. Luza et al (1992) describen los cambios ultraestructurales en melocotones afectados por el daño por frío. En los melocotones se presentan dos tipos principales de lesiones, la harinosidad o lanosidad y el acorchado. La lanosidad se caracteriza por la separación de las células parenquimáticas del mesocarpo, con lo cual se incrementan los espacios intercelulares y se acumulan las sustancias pécticas en la matriz intercelular. En frutos con síntomas de acorchado las células del parenquima del mesocarpo se colapsan y los espacios intercelulares se incrementan dando como resultado el engrosamiento relativo del mesocarpo.

Los principales cambios a nivel ultraestructural ocasionados por el daño por frío en los tejidos de los frutos se pueden resumir como la disolución de la lamina media, separación de las células, engrosamiento irregular de la pared primaria y plasmólisis de las células del parenquima del mesocarpo (Luza et al., 1992).

La mayor parte de estas manifestaciones tienen su base en el hecho de que la descompartimentalización celular permite la fuga de iones y fluidos desde la célula, lo que forma zonas encharcadas en las cuales se impide la difusión de gases (Murata, 1989). En éstas áreas se desarrollan, por lo general, microorganismos, cuya consecuencia es la deshidratación y necrosis de las mismas. Una vez que el agua se evapora, principalmente,

en aquellas áreas próximas a la epidermis forma las áreas hundidas en el fruto y el picado es una de las manifestaciones de la lesión.

De acuerdo con Alique y Zamorano (2000), las especies pueden ser clasificadas en función de su sensibilidad al daño por frío en:

- **No sensibles:** foliaceas, inflorescencias, bulbos y semillas, la temperatura recomendada para su almacenamiento es cercana a 0°C.
- **Sensibles:** frutos madurados de climas templados, frutos de pepita (pera y manzana), frutos de hueso (nectarines, melocotones, ciruelas) raíces y tubérculos. Aunque la temperatura recomendada para el almacenamiento es de 4°C, la mayoría de los productos de este grupo se conserva alrededor de 0-1°C. Por el contrario, a temperatura de 4°C se pueden ocasionar daños por frío en muchas variedades de melocotón y nectarinas refrigerados. La duración de la exposición a la temperatura de refrigeración determina también si se presentan los daños por frío.
- **Muy sensibles:** en cuya categoría se sitúan los frutos tropicales y subtropicales, frutos inmaduros como el calabacín, pepino y pimentón. La temperatura de almacenamiento, especialmente para conservación prolongada no debe ser inferior a 8°C.

Los frutos de la familia *Myrtaceae*, guayaba y arazá, han mostrado lesiones por frío cuando son almacenados en temperaturas de 8°C, con lo cual pueden ser clasificados como muy sensibles. La maduración se interrumpe, los frutos se ablandan o endurecen y no hay síntesis de compuestos volátiles (Reyes y Paull, 1995; Galvis y Hernández, 1993b; Tai Chun, 1995).

### **Reducción del daño por frío**

Wang (1993a) afirma que un objetivo primordial en referencia al daño por frío es encontrar métodos efectivos de reducción o de retraso de la aparición de la lesión. Las técnicas pueden ser agrupadas en acondicionamiento a la temperatura como calentamientos

intermitentes o pretratamientos térmicos, modificación de la composición de gases, en cuyo caso atmósferas controladas o modificadas pueden ser empleadas, tratamientos químicos como el calcio, aceites minerales o vegetales y algunos fungicidas, encerado, películas de recubrimiento y empaque. Las atmósferas controladas o modificadas cambian la composición gaseosa. Los primeros modifican el ambiente de almacenamiento, mientras que los otros son tratamientos que se aplican directamente sobre el fruto.

### **Tratamientos químicos**

#### **Calcio**

El efecto positivo del tratamiento con calcio de frutos durante la postcosecha, según Wang (1993), se asocia con el retraso de la aparición de los eventos secundarios de la lesión, esto es, los procesos oxidativos, incremento de la relación ácidos grasos insaturados/ácidos grasos saturados en la membrana celular y reducción de la pérdida de humedad.

Los efectos encontrados con el uso de pretratamientos con cloruro de calcio sólo o en compañía de otros tratamientos como el calentamiento (pretratamiento térmico o calentamiento intermitente han mostrado disminución del ablandamiento de los frutos, así como de la incidencia de pudriciones. De acuerdo con Preston (1979) y Sams et al. (1993) las pectinas están compuestas de residuos de ácidos poligalacturonidos con cadenas de ramnosa intercaladas. La ramnosa intercalada genera una disposición de ramillete en donde se insertan cationes, principalmente calcio. La formación de puentes entre los ácidos urónicos y los cationes hacen la pared celular menos accesible a las enzimas pectinasas y poligalacturonasas propias del fruto o las producidas por hongos patógenos.

El calcio, suministrado en solución, es absorbido por las lenticelas y transportado vía apoplasto al interior del fruto (Harker et al., 1989). De esta manera se hace disponible para unirse a las cadenas de pectinas de la pared celular formando pectatos de calcio. Consecuentemente, la pared celular se hace menos accesible a la acción de las enzimas

pectin metil esterases encargadas de la hidrólisis de pectinas de la lámina media (Lurie y Klein, 1992; Lurie et al., 1996; Klein et al., 1990).

En otros casos, se ha encontrado que el contenido de calcio en el fruto no guarda ninguna relación con la susceptibilidad del mismo al daño por frío. En el caso de toronja, algunos frutos mostraron tolerancia a la baja temperatura, mientras que otros resultaron susceptibles; sin embargo, no se encontró diferencia entre el contenido de calcio en la epidermis de estos dos grupos (Purvis, 1985). En casos más extremos se ha observado que frutos como papaya, al ser tratados con sales de calcio (8% p/v), desarrollaron mayores lesiones por frío que los no tratados (Chen y Paull, 1986).

### **Calentamientos intermitentes**

Los calentamientos intermitentes consisten en breves interrupciones de la conservación frigorífica convencional o en atmósfera controlada o modificada, con elevación progresiva de la temperatura, de intensidad, duración y periodicidad variables (Artes, 1995).

Wang (1993) afirma que la interrupción del almacenamiento a baja temperatura, con uno o más períodos cortos de temperatura alta puede incrementar el tiempo de vida útil de algunos productos sensibles al frío. Es indispensable que el calentamiento se realice antes que el daño por frío adquiera el carácter de irreversible, sobrepasando el denominado *periodo de latencia* o de inducción de la misma, ya que de lo contrario el calentamiento sólo conduce a la exacerbación de la lesión.

El momento de aplicación del ciclo de calentamiento no puede ser muy temprano durante al almacenamiento, así como tampoco se recomienda realizar frecuentes ciclos de calentamiento, ya que de lo contrario el tejido se volverá blando y propenso al ataque de microorganismos. Cabrera y Saltveit (1990) y Kramer y Wang (1989) encontraron que productos con vida corta de postcosecha como el cohombro, pimentón y zucchini tienen un período de latencia a la alteración muy corto. En consecuencia, el tratamiento de

calentamiento tiene que darse más próximo al inicio del almacenamiento y hacerse más frecuentemente. El momento de aplicación del calentamiento, así como la duración del mismo son esenciales para el éxito de este tratamiento (Wang, 1993).

Las temperaturas más frecuentemente reportadas para los calentamientos se sitúan entre 15° y 25°C y la duración de algunas horas como en el caso del cohombro, días en el caso del melocotón y semanas en el caso de la papa (Ben Arie et al., 1970; Cabrera y Saltveit, 1990; Wade, 1981; Wang y Baker, 1979). Artés (1995) precisa sobre las condiciones del calentamiento que las temperaturas varían entre 15 y 25°C y la duración entre 8 y 48 horas. La periodicidad desde cada 6 días hasta cada 15 días. Por otra parte ha de optimizarse el ciclo resultado de una combinación de estas variables para tener un adecuado balance entre los efectos positivos y negativos de los calentamientos.

Los beneficios que se reportan del tratamiento con calentamiento intermitente en frutos como melocotón, nectarines, ciruelas y tomates incluyen la reducción de la pérdida de contenidos de vitamina C, aumento de la actividad de la poligalacturonasa con mantenimiento del balance con la actividad de la pectinmetilesterasa, disminución de la actividad respiratoria o mantenimiento a unos niveles adecuados para el estado de madurez del fruto y conservación de la calidad y contenidos característicos de acidez, entre otros, así como disminución daños por frío (lesiones superficiales, harinosidad o lanosidad, mal radiante, vitrescencia, podredumbres) (Anderson, 1979; Anderson y Penney, 1975; Fernández-Trujillo y Artés, 1998; Fernández-Trujillo et al., 1998). Los cambios ultraestructurales como la degeneración de las mitocondrias y plastidios se reducen tras los calentamientos; de igual manera, se previene la separación de la membrana celular (Moline, 1976).

Los mecanismos de acción del calentamiento, según se ha encontrado en tomate, cohombro, pimentón y melocotón, están asociados con el restablecimiento de la actividad enzimática normal durante la maduración, igualmente se asocian a la reparación de las membranas de organelos como mitocondrias, cloroplastos y plasmalema, aumentando la

proporción de ácidos grasos insaturados en relación con ácidos grasos saturados y a la reactivación de rutas metabólicas que se interrumpen como resultado de la lesión por frío (Lyons y Breidenbach, 1987; Wang y Baker, 1979; Wang et al., 1992). El calentamiento contribuye a la eliminación del etanol y del acetaldehído, así como de otros compuestos tóxicos que se producen en el fruto durante el almacenamiento a baja temperatura, por debajo de la temperatura crítica de almacenamiento (Artés, 1995; Schirra y Cohen, 1999).

La humedad relativa alta es indispensable para el éxito de la aplicación del calentamiento intermitente ya que de esta manera se retarda la desintegración de la membrana celular y en consecuencia se minimizan las pérdidas de peso y la deshidratación del fruto sometido al calentamiento (Fernández-Trujillo y Artés, 1998)

El estado de madurez de los frutos es decisivo en el calentamiento, el fruto al inicio de su maduración es más sensible al daño que cuando se encuentra más avanzada su madurez. En frutos de arazá, cuya recolección se hace en estados iniciales de maduración para minimizar los daños mecánicos durante el transporte, el calentamiento se debe aplicar rápidamente después de iniciar el almacenamiento. El calentamiento ayuda a la maduración del fruto durante el almacenamiento, por lo que también cambia la sensibilidad del mismo al daño por frío, ya que el fruto más maduro resulta menos sensible y las pérdidas por daño por frío se minimizan (Fernández-Trujillo et al., 1998 a; Artés et al., 1998)

### **Atmósferas modificadas**

El  $O_2$  y el  $CO_2$  son moléculas fundamentales en el metabolismo primario y secundario de frutas y hortalizas. Su influencia radica en la modificación del comportamiento de la planta que se traduce en la prolongación de la vida comercial. Los bajos niveles de  $O_2$  retardan la respiración y el metabolismo de carbohidratos; en tomates, por ejemplo, la hidrólisis de almidón se disminuye significativamente, mientras que altos niveles de  $CO_2$  empleados en la atmósfera de almacenamiento actúan eficientemente en retardar los mecanismos dependientes de la síntesis de etileno, como la degradación de la pared celular y los

cambios de color (degradación o síntesis de pigmentos). En especies como manzana y pera, la degradación de ácidos orgánicos se reduce en condiciones de atmósfera modificada o controlada. Dicha reducción puede ser explicada como un incremento en la fijación del  $\text{CO}_2$ , reducción de la respiración y un menor consumo de los mismos (Beaudry, 1999; Wang, 1983).

Beaudry (1999) agrupa los efectos de la manipulación del  $\text{O}_2$  y el  $\text{CO}_2$  en efectos sobre la producción de etileno, efectos sobre el metabolismo primario y efectos sobre el metabolismo secundario. En el primer caso, el aumento de la presión parcial del  $\text{CO}_2$  y la disminución de la presión parcial de  $\text{O}_2$  disminuyen la respuesta del etileno; si la presión parcial del  $\text{O}_2$  disminuye a 2.8 kPa o si la del  $\text{CO}_2$  aumenta hasta 1.55 kPa se inhibe la síntesis y acción del etileno, con lo cual se puede afirmar que la modificación de la atmósfera retrasa el proceso de maduración en frutos climatéricos, no sólo porque disminuye la actividad respiratoria, sino porque se disminuye la acción del etileno.

En cuanto al metabolismo primario, Beaudry (1999) anota que el primer efecto es la reducción de la respiración y la disminución de la actividad de algunas enzimas como la piruvato kinasa que cataliza el paso final de la glicolisis. Si la presión parcial de  $\text{O}_2$  se reduce a niveles menores de 2kPa, disminuyen la disponibilidad de esqueletos de carbono y la energía para la síntesis de proteínas, induciéndose la fermentación. Dicha condición puede agravarse si las presiones parciales de  $\text{CO}_2$  alcanzan niveles de 20 kPa; aún con concentraciones de 5 kPa de  $\text{CO}_2$  se ha encontrado que disminuye la utilización de azúcares.

La disminución de  $\text{O}_2$  y el aumento de  $\text{CO}_2$  en la generación de las atmósferas modificadas afecta tres procesos del metabolismo secundario, como son el metabolismo de pigmentos, el de fenoles y el de compuestos volátiles. En general, la degradación de la clorofila, el pardeamiento por acción de la polifenoloxidasas y la síntesis de compuestos volátiles disminuyen con la disminución de la presión parcial de  $\text{O}_2$  (Makhlouf et al., 1989).

La atmósfera modificada se logra envasando órganos vegetales en una película de polímero plástico de dimensiones reducidas, relativamente permeable a los gases del aire ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ , Vapor de  $H_2O$  y  $C_2H_4$ ) y provista de un cierre hermético. Es un método complementario del frío y su principal efecto es la reducción de la intensidad respiratoria, retrasando la aparición del climaterio, o en algunos casos, desapareciendo el pico climatérico (Kader, 1986; 1992).

La composición de la atmósfera se hace en función de las características fisiológicas del producto y del objetivo comercial que se pretenda, sin embargo se pueden mencionar algunas atmósferas tipo que Artés (2000) propone:

- **De  $N_2$  y  $O_2$** , enriquecida o no con  $CO_2$ , de uso generalizado.
- **De  $N_2$  y muy poco  $O_2$**  aconsejada para productos sensibles al  $CO_2$  y tolerantes a bajas concentraciones de  $O_2$ .
- **De aire y  $CO_2$**  que se recomienda para productos tolerantes al  $CO_2$  y en la cual hay efectos fisiológicos y fungicidas del  $CO_2$ .
- **De aire y  $C_2H_4$**  que se emplea para acelerar la maduración de los frutos almacenados.

Los polímeros más empleados lo constituyen el grupo de las poliolefinas que incluye al polietileno y al polipropileno. El polietileno se encuentra entre los polímeros mas ampliamente empleados. Los polietilenos de baja densidad LDPE presentan un alto coeficiente de selectividad (permeabilidad al  $CO_2$ /permeabilidad al  $O_2$ ) lo que permite el descenso del  $O_2$ , sin aumento excesivo del  $CO_2$  en el interior del empaque (Artes, 2000).

La concentración gaseosa en el estado estacionario en AM además será función de la permeabilidad del polímero a los gases, la temperatura, y el volumen del envase y del producto en el interior del envase (Lurie, 1993; Kader, 1986). Sin embargo, hay que considerar la tolerancia del producto a un aumento de la concentración de  $CO_2$  y disminución de la de  $O_2$ . En general, y para cualquier temperatura y duración de conservación, la tolerancia a niveles más altos de  $CO_2$  aumenta cuando es posible mantener

una mayor concentración de  $O_2$  (Kader et al., 1989). Las condiciones de bajos niveles de  $O_2$  y altos de  $CO_2$  en AM dan lugar a procesos fermentativos (Beaudry, 1999), a pesar de que puedan reducir daños por frío internos en algunos frutos (Fernández-Trujillo et al., 1998b).

Según Forney y Lipton (1990) la lesión por frío puede aliviarse con el uso de atmósferas modificadas, aunque dependerá de la tolerancia de cada producto a la atmósfera que se alcance. En zuchini, toronja, melocotón, nectarines, papa, entre otros, los beneficios de la disminución de los niveles de  $O_2$  y aumento de  $CO_2$  en el ambiente de almacenamiento se relacionan con la reducción de la lesión externa, acumulación de azúcares reductores, disminución de pudriciones internas, de pérdida de acidez y firmeza, así como de acumulación de azúcares reductores. En otros casos, la atmósfera modificada causa un efecto contrario, de agravar el daño por frío. En tomate, cohombro, espárragos, lima y pimentón, el aumento de niveles de  $CO_2$  y la disminución de  $O_2$  acelera las lesiones externas y aumenta la susceptibilidad a daños por microorganismos.

Se puede afirmar que la reducción del daño por frío en frutos almacenados en atmósfera modificada depende del producto (especie, variedad, estado de desarrollo y estado de madurez), la concentración gaseosa ( $O_2$ ,  $CO_2$  vapor de agua etileno y volátiles) en el interior del envase y el tiempo y la duración del tratamiento (Kader y Morris, 1975; Cappellini et al., 1984, Kader, 1986).

## LITERATURA CITADA

- Aguiar, J.P.L. 1983. Araça-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh): aspectos e dados preliminares sobre a sua composição química. Acta Amazonica 13 (5-6): 953-954
- Alique, L. R y J. P. Zamorano R. 2000. Productos vegetales: regulación de los procesos fisiológicos postrecolección. En: Lamúa, M. (Ed.) Aplicación del frío a los alimentos. A Madrid Vicente, Ediciones y Mundi-Prensa España. p.69-104
- Anderson, R. E. The influence of storage temperature and warming during storage on peach and nectarine fruit quality. Journal of the American Society for Horticultural Science. 104: 459-461.
- Anderson, R. E. y R. W. Penney. 1975. Intermittent warming of peaches and nectarines stored in a controlled atmosphere on air. Journal of the American Society for Horticultural Science. 100: 151-153.
- Ariza, A. 2000. Biología floral y caracterización morfológica de 6 ecotipos de arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh) en el departamento del Caquetá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Tesis (Pregrado). Bogotá. 49 p. (Inéd)
- Arkcoll, D. 1990. New crops from Brazil. In: Janick, J. and J.E. Simons (Eds.) Proc. Second Nat. Symp. New Crops, pp. 367-371. Indianapolis, Indiana. John Wiley and Sons, NY. p. 367-371.
- Artés, F., F. García, J. Marquina, A. Cano y J.P. Fernández-Trujillo, 1998. Physiological responses of tomato fruit to cyclic intermittent temperature regimes. Postharvest Biology and Technology 14:283-296
- Artés, F. 2000. Conservación de los productos vegetales en atmósfera modificada. En: Lamua (ed). Aplicación del frío a los alimentos. Mundiprensa-AMV editores. p. 105-126.
- Barrera, J.A.; M.S. Hernández; D. Páez y E. Oviedo. 2001. Tecnologías para el aprovechamiento integral de frutas nativas en la región amazónica colombiana. Programa Nacional de Transferencia de tecnología Agropecuaria -PRONATTA-. Instituto Amazónico de investigaciones científicas -SINCHI-. Universidad de la Amazonía. Florencia-Caquetá. p.41-58.
- Beaudry, R. 1999. Effect of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. Postharvest Biology and Technology 15: 293-303.
- Ben Arie, R. S. Lavee y S. Guelfat Reich. 1970. Control of woolly breakdown of 'Elberta' peaches in cold storage by intermittent exposure to room temperature. Journal of the American Society for Horticultural Science 95: 801-803.
- Biale, J.B. y R.A. Young. 1971. The biochemistry of fruits and their products, Vol II. AP, London . p. 1-63.
- Biale, J.B. y R.A. Young. 1981. Respiration and ripening in fruits-Retrospect and prospect. En: Friend , J y M.J.C. Rhodes. Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables AP London p. 1-40.
- Brady, C.J. 1987. Fruit ripening. Annual Review of Plant Physiology 38: 155-178.
- Cabrera , R.M y M.E. Saltveit, Jr. 1990. Physiological response to chilling temperatures of intermittently warmed cucumber fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science 115: 256-261.

- Campbell, R.J. 1996. South American fruits deserving further attention. En: Janick, J. Progress in new crops. ASHS Press. p. 431-438.
- Cappellini, M.C. P.A. Lachance y D.E. Hudson. 1984. Effect of temperature and carbon dioxide atmospheres on the market quality of green bell peppers. Journal of Food Quality 7: 17-25.
- Centurion Y., A.R. Perez-Vergara, M. Solis Pereira, S. Baez Sañudo, R. Mercado Silva, E. C. Saucedo Veloz y E. Sauri Duch. 2000. Crecimiento, desarrollo y comercialización de la pitaya (*Hylocereus undatus*) durante la postcosecha. Revista Iberoamerica de Tecnología Postcosecha. Vol. 2(2): 161-168.
- Chen, N.M. y R.E. Paull. 1986. Development and prevention of chilling injury in papaya fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science 111: 639-643.
- Clement, C. 1989. A center of crop genetic diversity in western Amazonia. Biological Science 9: 624-631.
- Clement, C.R. 1983. Underexploited amazonian fruits. Proceeding. American Society for Tropical Horticultural Science. 27 A, 117-142 Crane, J.H. y C.W. Campbell. 1990. Origin and distribution of tropical and subtropical fruits. En: Nagy, S., P. Shaw, W.F. Wardowski. (eds) Fruits of tropical and subtropical origin. FSS. Florida. p. 1-65.
- Couturier, G., E. Tanchiva, J. González, R. Cárdenas y H. Inga. 1996. Observations préliminaires sur les insectes nuisibles à l'araza (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh, Myrtaceae), nouvelle culture fruitière en Amazonie 51: 229-239.
- Couturier, G., R. A. Zucchi, G. Saravia y N. Da Silva. 1993. New records of fruit flies of the genus *Anastrepha* Schiner, 1868 (Dipetera: Tephritidae) and their host plants, in the Amazon region. Annual Society Entomology of France 29(2): 223-224.
- Crane, J.H. y C.W. Campbell. 1990. Origin and Distribution of Tropical and Subtropical Fruits. En: Nagy, S., P.E. Shaw y W.F. Wardowski. Fruits of tropical and subtropical origin FSS. p. 1-65.
- Cuellar, A. 2001. Experiencias de un productor de arazá en el suroccidente colombiano. Comunicación personal. (Inéd)
- Cuellar, S. 2000. Oportunidades del arazá en los mercados nacionales e internacionales. Comunicación personal. Corporación Colombia Internacional.
- Díaz-Pérez, J.C., S. Bautista y R. Villanueva. Quality changes in sapote mamey fruit during ripening storage. Postharvest Biology and Technology 18:67-73.
- Donadio, L.C. 1992. Fruteiras Nativas da Região Sudeste. Anais Simposio Nacional de Recursos Genéticos de Fruteiras Nativas. Bahia. p.57-60.
- Donadio, L.C. 1995. Native fruits of Brasil. Acta Horticulturae. 370:109-112.
- Donadio, L.C. 1997. Study of some brazilian *Myrtaceae* in Jaboticabal SP. Acta Horticulturae. 452: 181-183.
- Falcão M.A., W.B. Chavez Flores, S.A.N. Ferreira, C.R. Clement, J.M.B. Barros, J.M.C. Brito y T.C.T. dos Santos. 1988. Aspectos fenológicos y ecologicos do araza-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) na Amazonia central I Plantas juvenis. Acta Amazonica 18(3-4): 27-38.
- Fernández-Trujillo J. P., A. Cano y F. Artés. 1998 a. Physiological changes in peaches related to chilling injury and ripening. Postharvest Biology and Technology 13: 109-119.
- Fernández-Trujillo J.P. y F. Artés. 1998. Intermittent warming during cold storage of peaches packed in perforated polypropylene. Lebensm. Wiss. U. Technol. 31: 38-43.

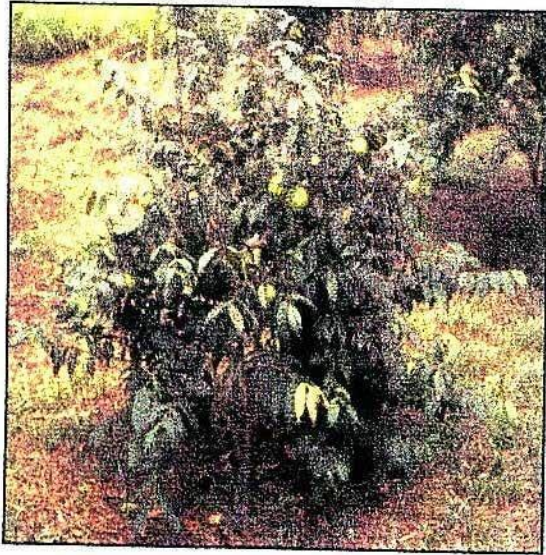
- Fernández-Trujillo, J.P., Martínez y J.A., Artés, F. 1998 b. Modified atmosphere packaging affects the incidence of cold storage disorders and keeps flat peach quality. *Food Research International* 31: 571-579.
- Fischer, N., F.J. Hammerschmidt y E.J. Brunke. 1995. Analytical investigation of the flavor of cupuacu (*Theobroma gradiflorum* Spreng). *Fruit Flavors* 596:8-20.
- Ferreira, S.A.D. y D.F.O. Gentil. 1999. Araza (*Eugenia stipitata*), Cultivo y utilización. Tratado de cooperación amazónica, Secretaria PRO TEMPORE. 107 p.
- Forney, C.F. y W.J. Lipton. 1990. Influence of controlled atmospheres and packaging on chilling sensitivity. En: Wang, C.Y. (ed) Chilling injury of horticultural crops CRC Press. Boca Ratón, Florida. p. 257-267.
- Franco, M.R.B. y T. Shibamoto. 2000. Volatile composition of some Brazilian fruits: Umbu-caja (*Spondias citherea*), camu-camu (*Myrciaria dubia*), araza-boi (*Eugenia stipitata*), and cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). *Journal of Agricultural Food Chemistry* 48: 1263-1265.
- Galvis, J.A. y M.S. Hernández. 1993a. Análisis de crecimiento del fruto y determinación del momento óptimo de cosecha del arazá (*Eugenia stipitata*) Colombia Amazónica 6: 107-122.
- Galvis J.A. y M.S. Hernández. 1993b. Comportamiento fisiológico del arazá (*Eugenia stipitata*) bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. Colombia Amazónica 6: 123-134.
- Gentil, D.F.O. y C.R. Clement. 1997. The Araza (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh): Results and research directions. *Acta Horticulturae* 452: 9-17.
- Giacometti, D. y E. Lleras. 1992. Mirtáceas subtropicales. En: Hernández, J.E. y J. León. Cultivos marginados otra perspectiva de 1992. Colección FAO Producción y protección vegetal. No 26. 227-259.
- Giacometti, D., E. Lleras 1992. Mirtáceas subtropicales En: Hernández Bermejo, J.E. y J. León. Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. Roma, FAO .p. 227-235.
- Giraldo, B., P.E Bucheli y H. Pérez. 2000. Caracterización de practicas agroforestales tradicionales en la amazonia norte colombiana (Departamento del Guaviare). *Produmedios*. 27p.
- González-Tangoa, J.R. 1991. El cultivo del arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) en la amazonia peruana. INIAA Programa de investigación en cultivos tropicales 30 p.
- Grierson, D. 1987. Senescence in fruits. *HortScience*. 22(5):859-862.
- Harker, F. R. e I. B.Ferguson. 1989. Transport of calcium across cuticles isolated from apple fruit. *Scientia Horticulturae* 36: 205-217.
- Hernández, M.S. y J.A. Galvis. 1993. Procesamiento de arazá y copoazú. Colombia Amazónica 6 (2): 135-148.
- Hernández, M.S. y J.A. Barrera. 2000. Manejo postcosecha y Transformación de frutales nativos promisorios en la Amazonia colombiana. *Produmedios*. 62 p.
- Hernández, M.S. , J. A Barrera, D. Paez, E. Oviedo y H. Romero. 2001. Aspectos biológicos y conservación de frutas promisorias de la Amazonia colombiana. Instituto SINCHI. Bogotá. p. 42-58.
- Herrero, A y J. Guardia. 1991. Conservación de frutos. Manual técnico. Ediciones Mundi-Prensa publishing. p. 93-113.

- Hobson, G.E. 1993. Maduración del fruto. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talon. (eds). Fisiología y Bioquímica vegetal. Mc Graw Hill-Interamericana de España. p. 463-478.
- Kader, A.A. 1986. Biochemical and physiological and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology* 5:99-104.
- Kader, A.A. 1992. Modified atmosphere during transport and storage. En: Kader, A.A. (Ed) Postharvest technology of horticultural crops. University of California. Second edition. p. 85-92.
- Kader, A.A. y L.L. Morris. 1975. Amelioration of chilling injury symptoms on tomato fruits. *HortScience* 10:324.
- Kader, A. A., D. Zagory y E.L. Kerbel. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews of Food Science and Nutrition* 28: 1-30.
- Klein, J.D., S. Lurie y R. Ben-Arie. 1990. Quality and cell wall composition of 'Anna' and 'Granny Smith' apples treated with heat, calcium, and ethylene. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115: 954-958.
- Knight, R.J. 1987. Achieving effective expansion of fruit production in the tropics and nearby regions. *Acta Horticulturae* 211: 17-21.
- Kramer, G.F. y C. Y.Wang 1989. Reduction of chilling injury in zucchini squash by temperature management. *Horticultural Science* 24: 995-996.
- Lurie, S. 1993. Modified atmosphere storage of peaches and nectarines to reduce storage disorders. *Journal of Food Quality* 16:57-65.
- Lurie, S. y J.D. Klein. 1992. Calcium and heat treatments to improve storability of 'Anna' apples. *HortScience* 27:36-39.
- Lurie, S. E. Fallik y J.D. Klein. 1996. The effect of heat treatment on apple epicuticular wax and calcium uptake. *Postharvest Biology and Technology* 8: 271-277.
- Luza, J.G., Van Gorsel, R., Polito, V.S., Kader, A.A. , 1992 Chilling injury in peaches: a cytochemical and ultrastructural cell wall study. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117:114-118.
- Lyons, J.M. y R.W. Breidenbach. 1987. Chilling injury. En: Weichman, J.(ed.) *Postharvest Physiology of Vegetables*. Marcel Dekker Inc. p. 305-326.
- Lyons, J.M. y R.W. Breidenbach. 1990. Relation of chilling stress to respiration. En: C.Y. Wang (eds), *Chilling Injury of horticultural crops*. CRC Press Inc. p. 223-233.
- Makhlouf, J., C. Willemot, J. Arul, F. Castaigne y J.P. Emond. 1989. Long-term storage of broccoli under controlled atmosphere. *HortScience* 24: 637-639.
- Meredith, F.I., J.A. Robertson y R.J. Hovat. 1989. Changes in physical and chemical parameters associated with quality and postharvest ripening of harvester peaches. *Journal Agricultural of Food Chemistry*. 37: 1210-1214.
- Moline, H.E. 1976. Ultrastructural changes associated with chilling of tomato fruit. *Phytopathology* 66: 617-624.
- Montiel, P., O. Ferrer, G. Ojeda y V. Morales. 2000. Influencia del estado de madurez en el contenido de pectina en guayabas (*Psidium guajava* L.) cultivadas en la planicie de Maracaibo-Venezuela. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 2 (2): 121-124.
- Moraes, V.H., C.H. Muller, A.G.C. de Souza e I. C Antonio. 1994. Native fruit species of economic potential from the Brazilian Amazon. 1994. *Applied Botany*. 68: 47-52.

- Marangoni, A.G. T. Palma, D.W. Stanley. 1996. Membrane effects in postharvest physiology. *Postharvest Biology and Technology* 7: 193-217.
- Mc Vaugh, R. 1956. *Eugenia* sp. In: *Tropical American Myrtaceae. Notes on generic concepts and descriptions of previously unrecognized species.* *Fieldiana Botany* 29(3): 219-220
- Morton, J.F. 1987. *Fruits of warm climates.* Media Incorporated U.S.A. p. 366-452.
- Murata, T. 1989. Relation of chilling stress to membrana permeability. En Wang, C.Y.(Ed) *Chilling injury of horticultural crops.* CRC Press. Boca Raton. Florida. p. 201-209.
- Nakasone, H.Y. y R. Paull. 1998. *Tropical fruits.* CABI publishing. 445 p.
- Núñez, A.M.L., R.L.B. Stein y F.C. Albuquerque. 1995. Araça-boi (*Eugenia stipitata*): um novo hospedeiro de *Cylindrocladium scoparium*. *Fitopatología Brasileira* 20 (3): 488-490.
- Orduz, J.O. 2000. Introducción, conservación y evaluación de frutales exóticos y promisorios en el piedemonte llanero con alta potencialidad en el mercado regional y nacional. CORPOICA- PRONATTA. Informe Técnico Final. 100 p.(Inéd)
- Oviedo, E. 2000. Caracterización y valoración nutricional de frutas promisorias en la Amazonia colombiana. En: Memorias seminario "Tecnologías de recolección y manejo postcosecha de frutas amazónicas con potencial económico y comercial en la Amazonía occidental colombiana". Universidad de la Amazonía. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas -SINCHI-. Programa Nacional de Transferencia de tecnología Agropecuaria -PRONATTA-. Florencia-Caquetá. s/n.
- Paéz, D. 2000. Caracterización fisicoquímica de los frutos y de sus principales constituyentes. En: Memorias seminario "Tecnologías de recolección y manejo postcosecha de frutas amazónicas con potencial económico y comercial en la Amazonía occidental colombiana". Universidad de la Amazonía. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas -SINCHI-. Programa Nacional de Transferencia de tecnología Agropecuaria -PRONATTA-. Florencia-Caquetá. s/n.
- Parkin, K.L., A. Marangoni, R.L. Jackman, R.Y. Yada y D. W. Stanley. 1989. Chilling injury. A review of possible mechanisms. *Journal of Food Biochemistry* 13: 127-153.
- Paull, R.E. 1990. Heat shock response in field grown, ripening papaya fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115: 623-631.
- Paull, R.E. 1994. Tropical fruit physiology and storage potential. En: Champ, B.R. E. Highley y G. I. Johnson (eds) *Postharvest handling of tropical fruits.* ACIAR Proc. No 50. p. 198-204.
- Pinedo, P.M.; N.F. Ramírez y L.M. Blasco. 1981. Preliminary notes concerning the arazá (*Eugenia stipitata*), native fruit of the Peruvian Amazonia. M.A.A./INIA/IICA. Publicación Miscelánea 229. Lima- Perú. p. 57.
- Platt-Aloia, K.A y W.W. Thompson. 1987. Freeze fracture evidence for lateral phase separation in the plasmalemma of chilling injured avocado fruit. *Protoplasma* 136:71-80.
- Preston, R.D. 1979. Polysaccharide formation and cell wall function. *Annual Review Plant Physiology* 30: 55-78.
- Purvis, A. 1985. Susceptibility of 'Marsh' grapefruit to chilling injury is not related to endogenous calcium levels in flavedo tissue. *HortScience* 20: 95-96.

- Quevedo G.E. 1995. Aspectos agronómicos sobre el cultivo del arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh). *Agronomía Colombiana* 12(1): 27-65.
- Reid, M.S. 1993. Maturation and Maturity index. En: Kader, A.A. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University of California. Second Edition. p. 21-28.
- Reyes, M.U. y R. Paull. 1995. Effect of storage temperature and ethylene treatment on Guava (*Psidium guajava* L.) fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 6: 357-365.
- Rhodes, M.J.C. 1980. The maturation and ripening of fruits. En: Thimann, K.V. (eds). *Senescence in plants*. CRC Press. Boca Raton, Florida. p. 158-199.
- Rodríguez, S. 1991. El arazá (*Eugenia stipitata*). Corporación colombiana para la Amazonía. San José del Guaviare. Colombia. p30.
- Saltveit, M.E. y L.L. Morris. 1990. Overview on chilling injury of horticultural crops. In C.Y. Wang (eds). *Chilling horticultural crops*. CRC Press Incorporated. p. 4-15.
- Sams, C.E., W. S. Conway; J. A. Abbott; R. J. Lewis y N. Ben-Shalom. 1993. Firmness and decay of apples following postharvest pressure infiltration of calcium and heat treatments. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118 (5): 623-627.
- Schirra, M. y E Cohen. 1999. Long-term storage of 'Olinda' oranges under chilling and intermittent warming temperatures. *Postharvest Biology and Technology* 16: 63-69.
- Selli, R. y S. Sansavini. 1995. Sugar, acid and pectin content in relation to ripening and quality of peach and nectarine fruits. *Acta Horticulturae* 379: 345-358.
- Seymour, G.B., J.E. Taylor y G.A. Tucker. 1993. Introduction. En: Seymour, G.B., J.E. Taylor y G.A. Tucker. *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman & Hall. p. 1- 52.
- Suquilanda, M.B.V. 1995. Arazá. Manual para la producción orgánica. Quito, Ecuador UPS. Fundeagro. 29p.
- Swift, J.F. y W.E. Prentice. 1983. Native fruit species of the ecuadorian amazon: production techniques and processing requirements. *Proceedings American Society for Horticultural Science. Tropical Region*. 27 A, 95-100.
- Tai Chun, P.A. 1995. Pre and postharvest pest and diseases of araza (*Eugenia stipitata* McVaugh) in Costa Rica. IICA Headquarters/Costa Rica. p. 1-63.
- Thompson, A. K. 1996. *Postharvest technology of fruit and vegetables*. Blackwell Science Publishing. p. 410.
- Todd, J.E., G. Palyath y J. E. Thompson. 1992. Effect of chilling on the activities of lipid degrading enzymes in tomato fruit microsomal membranes. *Plant Physiology Biochemistry* 30: 517-522.
- Villachica, J.E.U. Carvalho, C.H. Müller, C. Díaz y M. Almanza. 1996. *Frutales y Hortalizas promisorias de la Amazonia*. Lima, Perú, Tratado de Cooperación Amazónica -Secretaría Pro-Tempore. 367p.
- Vizzoto, G. R. Pinton, Z. Varanini y G. Costa. 1996. Sucrose accumulation in developing peach fruit. *Physiologia Plantarum* 96: 225-230.
- Wade, N.L. 1981. Effects of storage atmosphere, temperature and calcium on low temperature injury of peach fruit. *Scientia Horticulturae* 15: 145-154.
- Wang, C.Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling injury. *HortScience* 17(2): 173-186.
- Wang, C.Y. 1983. Postharvest responses of Chinese cabbage to high CO<sub>2</sub> treatment or low O<sub>2</sub> storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 108: 125.

- Wang, C.Y. 1993. Approaches to reduce chilling injury of fruit and vegetables. *Horticultural Reviews* 15: 63-95.
- Wang, C.Y. 1994. Chilling injury of tropical horticultural commodities. *HortScience*(29): 986-996.
- Wang, C.Y. G.F. Kramer, B.D. Whitaker y W. R. Lusby. 1992. Temperature preconditioning increases tolerance to chilling injury and alters lipid composition in zucchini squash. *Journal of Plant Physiology* 140: 229-235.
- Wang, C.Y. y J.E. Baker. 1979. Effects of two free radical scavengers and intermittent warming on chilling injury and polar lipid composition of cucumber and sweet pepper fruits. *Plant Cell Physiology* 20: 243-25.
- Wills, R.; B. Mc Glasson, D. Graham y D. Joyce. 1998. *Postharvest, An introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables and ornamentals* CABI publishing. p.1-60.



**Foto 2.1.** Arbusto de arazá de 1.5 años de edad. Primera producción



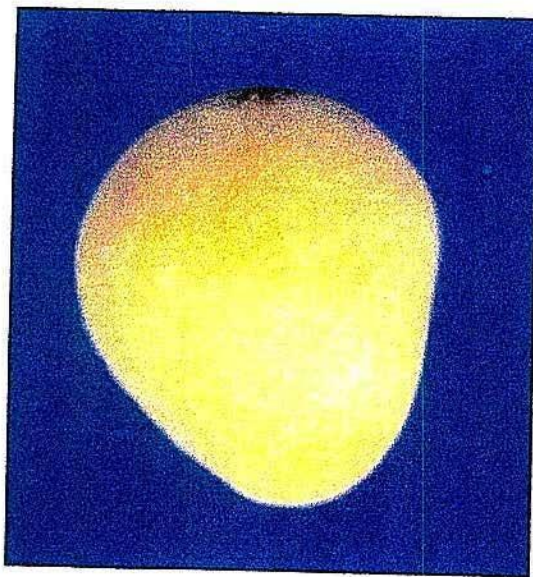
**Foto 2.2.** Inicio del desarrollo del fruto de arazá



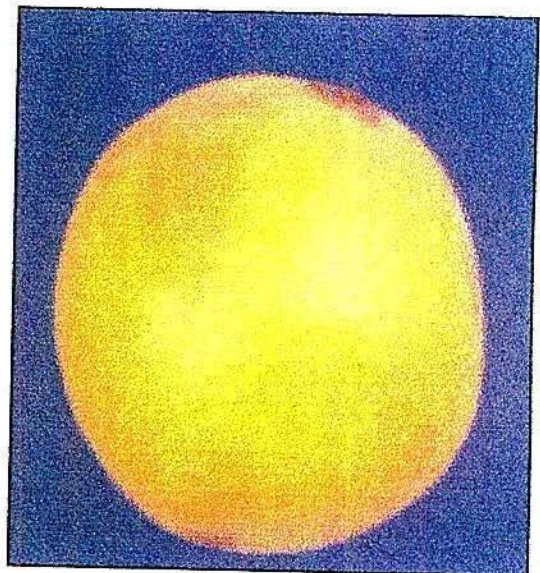
**Foto 2.3.** Rama de arazá con botones florales



**Foto 2.4.** Inflorescencia de arazá



**Foto 2.5.** Fruto de arazá en madurez de consumo. Ecotipo peruano



**Foto 2.6.** Fruto de arazá en estado de madurez de consumo. Ecotipo brasileiro

## RESUMEN

En el Municipio El Doncello, Departamento del Caquetá, en el huerto comercial de la Finca 'Copoazú' se realizó el estudio de los cambios ocurridos durante el desarrollo del fruto de arazá, desde la antesis hasta la madurez de consumo. Las condiciones climáticas promedio de la zona son temperatura 25°C, humedad relativa del 85%, precipitación anual 3600 mm y brillo solar 1500 horas/año. Se evaluaron cambios físicos del fruto como diámetros longitudinal y transversal, peso fresco y seco, color y firmeza de la pulpa, así como también intensidad respiratoria y cambios anatómicos y químicos de pH, acidez total titulable, sólidos solubles, y la índice de madurez sólidos solubles/acidez. El período transcurrido entre el cuajado y la madurez comercial del fruto de arazá fue de  $55 \pm 5$  días. Se identificaron 3 etapas en el crecimiento de tipo sigmoidal: la primera de división celular, la segunda de máximo crecimiento, que corresponde a la expansión celular y una etapa final de estabilización del crecimiento. Al final del crecimiento el fruto de arazá mostró cambios de color, máximo contenido de sólidos solubles, así como aumento de pH y disminución de acidez. El patrón respiratorio del fruto de arazá es de tipo climatérico. Los frutos de arazá podrán ser recolectados a partir de que alcancen su máximo tamaño y presenten coloración verde mate. El estudio anatómico del fruto permitió establecer que el tejido principal es el parénquima, de células pequeñas y ordenadas durante las dos primeras etapas del desarrollo. En la etapa de maduración del fruto, las células del parénquima se agrandan, sus paredes se adelgazan y se presenta lisis en la etapa de senescencia. En el fruto de arazá no se identificaron tejidos de sostén, ni colenquima, ni esclerenquima, por lo cual se puede inferir que el ablandamiento del fruto durante la maduración se incrementa por esta condición.

Palabras claves: Acidez, climaterio, coloración, índices de madurez intensidad respiratoria, sólidos solubles.

## FRUIT DEVELOPMENT, HARVEST INDEX AND RIPENING CHANGES OF ARAZA

### SUMMARY

The study was carry out with samples collected in El Doncello, Caqueta in the Copoazú orchard. The place presents 25°C, average temperature, 85% of R.H, sun bright of 1500 h/year and pluviosity of 3600 mm. The fruit development araza fruit was studied from the anthesis to the ripening. The changes studied were longitudinal and transverse diameters, fresh and dried weight, color and flesh firmness, anatomical and chemical changes of pH, tritratable total acidity, soluble solids and the maturity index soluble solids/tritable total acidity. The period between anthesis and the commercial ripeness of araza fruit was  $55 \pm 5$  days. Three stages of a single sigmoidal growth were identified: the first one, cellular division, the second one, maximum growth, during which the cellular expansion takes place, and a final state of stability of the growth. At the end of the fruit growth araza showed changes of color, maximum content of soluble solids, increase of pH and decrease of acidity. The respiratory pattern of araza has been classified identified as climateric. Fruits from the araza tree can be harvested after reaching their maximum size with a dull green coloration. The anatomic study showed that parenchima is the principal tissue in the araza fruit. Its cells are small and well ordered since the anthesis until second step end, while in the third step they grows and cell wall start to be thin and break down. Arazza anatomy did not show neither sclerenchima nor colenchima as stand tissues as other fruits, consequently fruit soft very fast during ripening period and they bruise easily.

Key words: Acidity, climateric, color, ripening index, respiration rate soluble solids.

## INTRODUCCION

Un fruto es una estructura proveniente de la transformación de la flor como consecuencia del desarrollo de los tejidos que soportan los óvulos de la planta. Después de la polinización de la flor, los primordios seminales dan lugar a semillas y el ovario sufre una serie de divisiones celulares que lo convierten en una estructura carnosa. Cuando las células del ovario empiezan a dividirse, iniciando el crecimiento del fruto, se habla de que el fruto ha cuajado (Grange, 1993).

El crecimiento de los frutos involucra 3 fases, la inicial en la cual se da la división celular, la segunda de elongación celular y una tercera o final de estabilización del crecimiento. Se distinguen dos patrones de crecimiento en frutos carnosos, el crecimiento de tipo sigmoidal simple en el cual se agrupan la piña, la manzana, el tomate y la fresa entre otros y otro tipo sigmoidal doble que involucra dos períodos de crecimiento con un período de disminución o suspensión entre estos dos. Este último patrón de crecimiento es característico de frutos de hueso como el melocotón, el albaricoque, la ciruela, la cereza y otros sin hueso como el higo y la uva (Coombe, 1976; Leopold, 1975).

La maduración ha sido definida como la transición entre el crecimiento y el desarrollo a la senescencia (Brady, 1987) e involucra cambios de apariencia, sabor y textura que se encuentran regulados genéticamente. Los cambios de color se asocian principalmente al cambio de color verde a amarillo o rojo, el cual se debe a la degradación de la clorofila y la síntesis y/o desenmascaramiento de pigmentos como antocianos y carotenos, tal como sucede en varios frutos tropicales como el mango, algunas cactáceas del género *Hylocereus*, la uchuva, la guayaba, la granada entre otros (Gil et al., 1999; Nerd et al., 1999; Trincheró et al., 1999; Wang y Shiesh, 1990). Los cambios de sabor se encuentran asociados al aumento de azúcares, producto de la hidrólisis de almidón y/o síntesis de sacarosa, síntesis de compuestos volátiles, disminución de taninos y oxidación de ácidos que son consumidos como reservas del fruto en el proceso de respiración durante la maduración, caso de la

guayaba, frutos de *Amelanchier alnifolia*, melocotón y sapote mamey (Kader, 1992; Mercado-Silva et al., 1998; Rogiers y Kowles., 1996; Yamaki, 1995).

El cambio de textura del pericarpio y del mesocarpio durante la maduración de frutos carnosos, es sin lugar a dudas, una de las características de mayor importancia, ya que se asocia, no solo con la aceptación por parte del consumidor, sino que puede llegar a ser un limitante durante el mercadeo de productos perecederos.

El ablandamiento en frutos es una consecuencia de la degradación de la estructura de pared celular y en especial a alteraciones en el turgor y el metabolismo de la pared celular. Parece ser debido a la degradación de la red de hemicelulosas y xiloglucanos de la pared, que se produce de concertada y sinérgica por grupos de isoenzimas específicas de la maduración (Rose y Bennett, 1999). El ablandamiento puede incluir la despolimerización tanto de pectinas como de hemicelulosas de importancia estructural, tal y como ocurre en tomate (Brummell et al., 1999). Este grupo postula un proceso de ablandamiento en tomate que consta de tres componentes. Un componente es la relajación de la pared directamente mediada por la una proteína denominada Expansina 1 (Exp1), que indirectamente limita parte del segundo componente debido a la polimerización de los poliuronidos al final de la maduración, quizás mediante el control del acceso de las pectinasas a su substrato. El tercer componente es causado por la despolimerización de las hemicelulosas, que ocurre independientemente de la Exp1 o con una cantidad muy pequeña de la misma. Es de notar que de la familia de Exp sólo el mRNA de la Exp1 está presente en la maduración del fruto. Su acción parece ser la ruptura de interacciones no covalentes como los puentes de hidrógeno, que podría provocar la relajación de la pared celular tal como ocurre in vitro (Brummell et al., 1999).

La hidrólisis de la protopectina en fracciones más pequeñas e hidrosubles que son los (ácidos pécticos) que contribuye al ablandamiento durante el proceso de maduración es generalmente común a todas las especies, como la papaya, pitaya, uchuva, la mayoría de los cultivares de melocotón, y la frambuesa. En todas ellas el ablandamiento se convierte en

una limitante de mercadeo (Artés y Salmeron, 1996; Fischer y Martínez, 1999; Ianneta et al., 1999; Paull et al., 1999; Trincherro et al., 1999; Wills et al., 1998). Existen enzimas involucradas en el proceso de degradación de poliuronidos de la pared celular y que contribuyen pues al ablandamiento como son la poligalacturonasa (PG) y la pectin metil esterasa (PME). Sin embargo, la  $\beta$ -glucosidasa, la  $\beta$ -galactosidasa, endotransglucosilasas de xiloglucanos (XET) y quizás xilanasas u otras enzimas se encuentran involucradas, dependiendo de la especie, en algunos casos más específicamente del cultivar, del período de maduración en que se encuentren, del tipo de tejido estudiado, o de los tratamientos de conservación previos (Artés y Salmerón, 1996; Iannetta et al., 1999; Perdue y Neven, 1998; Schroder et al., 1998; Trincherro et al., 1999; Zhuo et al., 2000). Otras enzimas como la celulasa endo-1,4- $\beta$ -glucanasa están relacionadas con la abscisión de los frutos en tomate pero no con el ablandamiento de su pericarpio (Brummell et al., 1996). En la maduración de fresa se han relacionado isoenzimas del tipo glucanasa con su ablandamiento (Trainotti et al., 1999).

La maduración requiere la síntesis de proteínas nuevas y RNAm, así como también pigmentos y aromas. Estos procesos anabólicos requieren esqueletos de carbono que son suministrados por la respiración. Los frutos de acuerdo con su respiración pueden ser clasificados como climatéricos o como no climatéricos. Los frutos climatéricos presentan un ascenso en la respiración. Este pico puede coincidir con la madurez de consumo, o puede precederla o ser posterior a ella. La magnitud del pico puede variar de un fruto a otro (Biale y Young, 1971; 1981; Seymour et al., 1993).

Los frutos con más alta intensidad respiratoria maduran más rápido y son más perecederos; en consecuencia, la regulación de la respiración puede ser una de las estrategias para la manipulación bioquímica de la vida de estante, mientras que los frutos no climatéricos no presentan ninguna clase de aumento de su actividad respiratoria durante la maduración (Akamine y Goo, 1973; Nakasone y Paull, 1998; Seymour et al., 1993).

La familia *Myrtaceae* exhibe una gran variabilidad en cuanto a los patrones respiratorios de los frutos: mientras los cultivares del género *Psidium* son frutos de patrón respiratorio climatérico, los frutos del género *Eugenia* como *E. malaccensis*, *E. cumini*, *E. uniflora*, *E. jambos* han mostrado patrones respiratorios de tipo no climatérico (Akamine y Goo, 1979). En trabajos previos con arazá (Galvis y Hernández, 1993 a, b) utilizaron el método dinámico (Kader, 1992) barboteando el aire producido por frutos almacenados en un recipiente sobre una disolución básica. Sus resultados indicaron que el patrón del arazá puede ser climatérico, con valores bastante altos de intensidad respiratoria. Las dificultades técnicas de tal método obligan a realizar nuevos estudios que permitan constatar dichos resultados.

El fruto de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) es una baya carnosa de 7 cm de diámetro ecuatorial, con un epicarpio fino y pubescente de color amarillo en estado de madurez de consumo. Su aroma, sabor, y su producción precoz, a los 18 meses después de la siembra definitiva en campo así como su alta productividad durante todo el año, convierten a esta especie en una alternativa productiva para las áreas de colonización consolidadas de la amazonia. Se destaca también la corta duración del período transcurrido entre el cuajamiento y la madurez de consumo, la cual es de solo 84 días en condiciones de San José del Guaviare (Colombia) (Galvis y Hernández, 1993 a; Gentil y Ferreira, 1999).

De otra parte, el fruto de arazá es altamente perecedero. Pinedo et al. (1981) y González (1991) mencionan que la duración del fruto de arazá a 25°C no supera las 72 horas después de la cosecha, lo cual limita sus oportunidades de comercialización.

El presente ensayo tuvo como objeto identificar la evolución de algunas características físicas, anatómicas, químicas y fisiológicas del fruto de arazá desde el momento de cuajamiento, hasta la madurez de consumo, con el fin de caracterizar el proceso de maduración y establecer algunos indicadores de madurez que permitan la recolección oportuna del fruto. En el caso de frutos climatéricos, como es el caso del fruto de arazá (Galvis y Hernández, 1993 a,b), la recolección del fruto no tiene que coincidir

obligatoriamente con el momento de consumo. En el caso de los frutos climatéricos recolectados en el momento oportuno su proceso de maduración prosigue pudiendo alcanzar características físicas, químicas y sensoriales muy semejantes a los frutos que son cosechados en madurez de consumo.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Localización**

El estudio se adelantó en la granja "Copoazú" del Municipio de El Doncello, en el Departamento de Caquetá, con temperatura promedio anual de 25°C, humedad relativa promedio de 85%, precipitación anual de 3600 mm y brillo solar de 1.500 h/año (IDEAM, 2000).

### **Desarrollo del fruto**

### **Aspectos fisicoquímicos**

En un huerto comercial de arazá con arbustos de 6 años de edad, en plena producción se marcaron 25 plantas. Se identificaron ramas productivas del tercio medio y superior y en ellas se marcaron frutos recién cuajados, del tamaño de cabeza de alfiler (0.5 cm). Semanalmente se recolectaron 10 frutos, los cuales fueron colocados entre papel periódico humedecido y transportados al laboratorio de poscosecha del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos ICTA de la Universidad Nacional de Colombia- Sede Bogotá.

Las variables evaluadas fueron: 1) diámetros transversal (DT) y 2) longitudinal (DL), medidos con calibrador Vernier (Gantz, precisión 0.1 mm) y expresados en cm, 3) peso fresco (PF) (Balanza Sartorius 6000 Germany) y 4) peso seco (PS) (Balanza de precisión Sartorius 0.0001g de precisión), 5) color, con escala 1-6 previamente diseñada, 6) respiración (cromatografía gaseosa, método descrito a continuación) 7) firmeza de la pulpa

medida en un punto por fruto (penetrómetro Effegi 327 Alfonsin, Italia con punzón de 7.9 mm) después de pelar el fruto, 8) sólidos solubles totales SST (refractómetro manual ATAGO, Japón), 9) acidez total titulable ATT (AOAC, 1995; en  $\text{mmol H}^+ \cdot \text{L}^{-1}$ ), 10) pH (Electrodo Schott Geräte N48A, Glaswerke Mainz, Alemania), 11) relación o índice de madurez (RM) dada por la relación SST/ ATT. Las variables 1 a 6 fueron evaluadas desde el inicio del desarrollo, la firmeza se evaluó entre los 28 y los 62 días de desarrollo y las demás variables a partir del día 35 de desarrollo. Los análisis se concluyeron cuando el fruto alcanzó su madurez de consumo.

El método utilizado para establecer la respiración del fruto durante su desarrollo fue el sistema estático propuesto por Kader (1992), que consistió en introducir los frutos de previamente pesados manera individual en cámaras de volumen conocido (730 ml). Las cámaras se cerraban por un tiempo de 45 minutos. Al cumplirse el tiempo pre establecido se tomaba una muestra de 1 ml del espacio de cabeza de la cámara con una jeringa desechable, a través de un septum, previamente acondicionado en la tapa. El aire se tomaba del interior, se volvía a inyectar y posteriormente se aspiraba de nuevo para lograr mayor homogeneidad de la muestra. La muestra se inyectaba en el cromatógrafo de gases HP 5890 (Avondale, Pennsylvania, USA). El cromatógrafo disponía de una columna carbo sieve S-II empacada (Middelburg, The Netherlands). Las condiciones de trabajo fueron: temperatura del detector de conductividad térmica (TCD) de  $250^{\circ}\text{C}$  y del inyector  $250^{\circ}\text{C}$  y la del horno de  $30^{\circ}\text{C}$ . El gas de arrastre fue Helio a un flujo de 20 ml/min. El cromatógrafo se encontraba acoplado a un integrador HP 3395. La calibración se llevó a cabo con patrones externos de concentración 5% de  $\text{CO}_2$  y 5%  $\text{O}_2$  mezcla certificada de AGA-Bogotá.

La medición de la respiración de frutos se hizo en frutos en estados sucesivos de crecimiento, semanalmente. Durante el proceso de maduración, los frutos fueron almacenados a  $20^{\circ}$  y 80% de H.R hasta alcanzar la madurez de consumo.

## Modelización del desarrollo del fruto

Los resultados para DT, DL, PF y PS fueron sometidos a análisis de regresión múltiple y se propuso un conjunto de modelos polinomiales y logaritmo polinomiales, que oscilaron entre el grado 1 y 4 para determinar los modelos que mejor explicaran el crecimiento del fruto en función de estas variables. La estimación de estos modelos se hizo mediante el programa SAS (6.2) y se seleccionaron con base en  $R^2$  y con base en la significancia estadística de cada término en el modelo, CME, así como por su simplicidad de acuerdo con la metodología propuesta por Hernández y Martínez (1993). Las demás variables evaluadas, fueron analizadas como el promedio de las 10 determinaciones realizadas para cada una de ellas en cada época y se graficó su tendencia.

La forma general para los modelos polinomiales y exponenciales con y sin intercepto fue:

$$Y = a + bD + cD^2 + eD^3 + fD^4: \text{Polinomial de } 4^{\circ} \text{ grado}$$

$$Y = e^{a + bD + cD^2 + eD^3 + fD^4}: \text{Exponencial } 4^{\circ} \text{ grado}$$

Para los modelos sin intercepto se les elimina el parámetro a. En las ecuaciones anteriores D es el número de días.

Estos modelos de crecimiento permiten predecir el crecimiento de los frutos en diámetros longitudinal y transversal, al igual que en pesos fresco y seco, con el fin de no hacer muestreos destructivos en el futuro.

## Aspectos preliminares de la anatomía del fruto de arazá

Para la evaluación anatómica preliminar de los frutos, se fijaron muestras de las mismas etapas de muestreo (3 muestras por cada estado) en solución FAA (formol-Alcohol-Acido acético). Posteriormente se realizaron cortes en micrótopo, que se colorearon con tinción de safranina-fastgreen de acuerdo con la técnica de Roth (1964). Se cuantificó el cambio en

el espesor del pericarpio y del mesocarpio del fruto en 10 muestras de tejido por etapa, de las etapas de desarrollo sucesivas.

### **Estomas en el fruto.**

Se evaluó de manera preliminar la densidad estomática de la epidermis del fruto en estados sucesivos de madurez, verde-maduro, pintón, maduro y sobremaduro y en tres estratos del fruto, apical (extremo opuesto a la inserción del pedúnculo) ecuatorial y basal (próximo a la inserción del pedúnculo) con el fin de establecer la posible contribución de la densidad estomática en la transpiración del fruto. Se separó la epidermis y se lavó con solución de hipoclorito del 3.5% por 24 horas, el cual se enjuagó con agua destilada y se fijó en gelatina glicerizada. El conteo de estomas se realizó posteriormente a la coloración del tejido con safranina con una cuadrícula calibrada en  $\text{mm}^2$ . Los conteos se realizaron con treinta repeticiones por zona muestreada (apical, media y basal) y estado de madurez del fruto.

Los diámetros de los estomas longitudinal (DLe) y transversal (DTe) se midieron en 10 estomas de cada estrato, apical, media y basal en los estados sucesivos de maduración verde maduro, pintón y maduro y sobremaduro para un total de 120 estomas.

### **Análisis estadístico**

Se realizó análisis de varianza para los promedios del grosor del epicarpio y del mesocarpio de los estados sucesivos de desarrollo y se usó la prueba de Tukey para determinar diferencias entre estados de desarrollo.

Para estimar si existen diferencias en el número de estomas durante la maduración del fruto se realizó análisis de varianza para los factores de estado de madurez del fruto (EM), estrato del fruto (EF) y la interacción estado de madurez y estrato del fruto. Se realizó análisis de varianza para los promedios de las variables de diámetro longitudinal y diámetro transversal de los estomas y prueba de Tukey para determinar diferencias entre los

promedios de diámetros longitudinales y transversales de los estados sucesivos de madurez, estrato del fruto y la interacción entre los estados de madurez y los estratos del fruto.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Modelos postulados para el crecimiento del fruto de arazá**

Se postularon un total de 64 modelos de crecimiento polinomial y exponencial para las variables de DL, DT, PF y PS. Los modelos postulados fueron de tipo polinomial y exponencial. Los modelos con mejor ajuste y mayor simplicidad fueron los modelos polinomiales postulados para cada una de las variables diámetro longitudinal, diámetro transversal, peso fresco y peso seco (tabla 3.1).

En general los modelos que mejor describieron el crecimiento del fruto para las cuatro variables fueron los modelos polinomiales de tercer grado sin intercepto (tabla 3.1). El crecimiento del fruto de arazá para las cuatro variables evaluadas presenta tres etapas: la primera de lento crecimiento, la segunda de máximo crecimiento o exponencial y la tercera de estabilización y disminución del crecimiento, principalmente, en DL y DT. En el caso de PF y PS, se presentó un leve incremento hacia la última etapa la cual coincidió con el cambio total de color del fruto. El leve aumento final en las dimensiones del fruto puede estar asociado al aumento de la síntesis de algunos compuestos de reserva. Aunque los modelos exponenciales tuvieron buen ajuste no fueron seleccionados debido a que los modelos polinomiales son de más fácil aplicación.

Se encontró que el fruto de arazá requiere 55 días  $\pm$  5 días para alcanzar su madurez de consumo, contados a partir del momento del cuajamiento, en las condiciones del presente estudio. Dichos resultados fueron 3-4 semanas menos a los 82 días reportados para el Departamento del Guaviare (Galvis y Hernández, 1993a). En consecuencia, el período de desarrollo del fruto resultó un 25% más corto que en la Amazonia oriental. Las razones para dicha diferencia podrían explicarse por factores de precosecha extrínsecos como clima, suelo e intrínsecos del material de propagación. El período de crecimiento para el fruto de arazá (8.5 semanas) es menor que el promedio de muchos frutos (15 semanas) (Coombe,

1976). Dicha característica resulta de interés prioritario para el productor, ya que puede asegurar continuidad con un producto de rotación en el mercado, ya sea fresco o procesado.

**Tabla 3.1.** Modelos polinomiales seleccionados para el crecimiento del fruto de arazá en la planta según sus diámetros longitudinal y transversal y pesos fresco y seco.

Modelo	CME	R <sup>2</sup>	Significancia			
			b	c	d	e
Longitud						
Y=bD	0.3574	0.9831	**			
Y=bD+cD <sup>2</sup>	0.2829	0.9868	**	**		
Y=bD+cD <sup>2</sup> +dD <sup>3</sup>	0.2387	0.9890	**	**	**	
Y=bD+cD <sup>2</sup> +dD <sup>3</sup> +eD <sup>4</sup>	0.1770	0.9919	ns	**	**	**
Diámetro						
Y=bD	0.4222	0.9818	**			
Y=bD+cD <sup>2</sup>	0.3691	0.9843	**	**		
Y=bD+cD <sup>2</sup> +dD <sup>3</sup>	0.2923	0.9877	**	**	**	
Y=bD+cD <sup>2</sup> +dD <sup>3</sup> +eD <sup>4</sup>	0.2820	0.9883	ns	**	**	**
Peso fresco						
Y=bD	657.61	0.9188	**			
Y=bD+cD <sup>2</sup>	152.16	0.9814	ns	*		
Y=bD+cD <sup>2</sup> +dD <sup>3</sup>	106.50	0.9871	**	**	**	
Y=bD+cD <sup>2</sup> +dD <sup>3</sup> +eD <sup>4</sup>	98.48	0.9883	ns	ns	*	**
Peso seco						
Y=bD	5.55	0.9326	**			
Y=bD+cD <sup>2</sup>	1.73	0.9791	ns	**		
Y=bD+cD <sup>2</sup> +dD <sup>3</sup>	1.50	0.9821	**	**	**	
Y=bD+cD <sup>2</sup> +dD <sup>3</sup> +eD <sup>4</sup>	1.49	0.9825	ns	ns	ns	ns

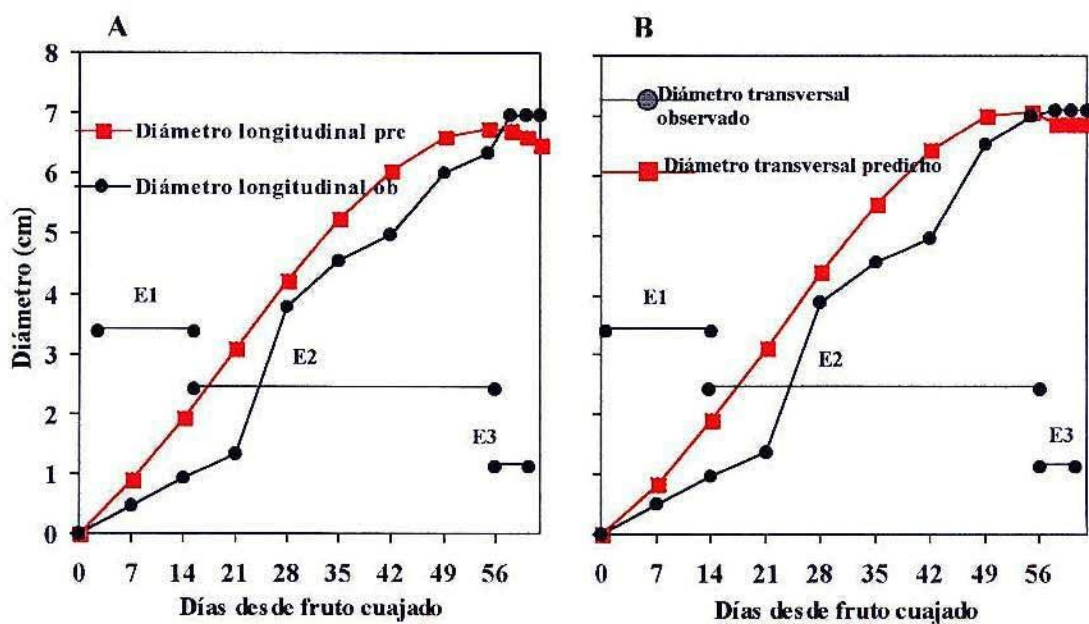
D=Días. Probabilidad: n s no significativo \*, \*\* significativo P=0.05 y 0.01 respectivamente

### Crecimiento del fruto Diámetros Transversal (DT) y Longitudinal (DL)

El crecimiento del fruto presentó una cinética sigmoidea simple, en la cual se pueden identificar 3 etapas, Etapa 1 de rápido crecimiento hasta los 21 días después del cuajado (figura 3.1), en ella hubo un aumento en diámetros tanto longitudinal como transversal (DL) y (DT), dado por el proceso de división celular, característico del inicio del crecimiento, al igual que aumentó el peso fresco y peso seco como consecuencia del aumento celular.

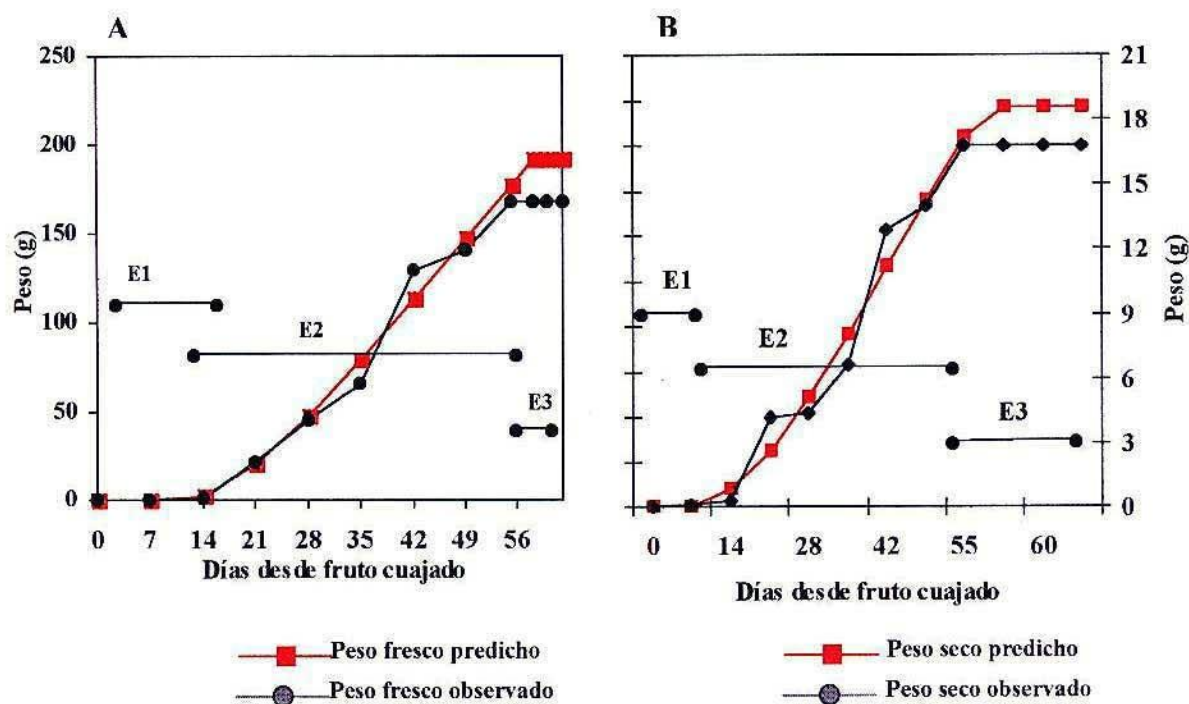
El corte transversal del fruto muestra la disposición de los tejidos. La tendencia coincide con lo expuesto por Rogiers y Knowles (1996) en los frutos de *Amelanchier alnifolia*, en el que el incremento en el número de células contribuye sustancialmente al crecimiento del fruto en la etapa inicial de su desarrollo (figura 3.2). Garcés (1987) al estudiar la anatomía del fruto de guayaba indicó que el aumento del número de células del fruto incide de manera directa en el aumento de su tamaño.

El tejido predominante en el fruto es un parénquima de células pequeñas de paredes gruesas y bien definidas. El epicarpio se caracteriza por ser uniestratificado y pubescente. La cutícula presenta una delgada capa cerosa, la cual es discontinua. En la zona subepidérmica se identifican canales secretores (foto 3.1-3.3) característicos de la familia *Myrtaceae* y que también son exhibidos por el fruto de guayaba (Garces, 1987). Se evidencia el aumento de capas de células en el mesocarpio, coincidiendo con el aumento de tamaño en el fruto. Se identifican numerosos haces vasculares.



**Figura 3.1.** Curva de crecimiento del fruto de arazá con base en los diámetros longitudinal (A) y transversal (B). Valores observados en negro y predichos en rojo.

El máximo crecimiento del fruto ocurrió en la etapa 2 del crecimiento entre los 21 y los 42 días después de cuajado. Tanto los diámetros longitudinal como transversal y los pesos fresco y seco aumentaron como resultado de la elongación celular y de la acumulación de sintetizados de reserva; dicho comportamiento coincide con lo reportado durante el crecimiento de la *Amelanchier alnifolia* por Olson y Steeves (1982). Durante esta etapa el fruto cambió su morfoanatomía dando lugar al recubrimiento de los esbozos seminales por un tejido fuertemente esclerificado, de apariencia áspera y de color café, que es el encargado de proteger al embrión de la semilla. Las células del mesocarpio se observan agrandadas y llenas. En algunas los compuestos predominantes probablemente son taninos, los cuales son compuestos de carácter astringente.



**Figura 3.2.** Curva de crecimiento del fruto de arazá con base en el Peso Fresco (PF)(A) y Peso Seco (PS)(B) durante el desarrollo del fruto de Arazá. Valores observados en negro y predichos por el modelo en rojo.

La presencia de taninos durante las primeras etapas de desarrollo de los frutos de *Myrtacea* parece ser común a los frutos de esta familia, ya que similares observaciones reportó Garcés (1987) cuando estudió los frutos de guayaba.

En la etapa 2 las paredes celulares se adelgazan levemente y su forma se torna más redondeada (fotos 3.4 y 3.5). En la subepidermis se presenta la mayor división celular, de tipo anticlinal, que permite la expansión del tejido, manteniendo su carácter uniestratificado. El tejido que rodea los esbozos seminales se torna más rojo, correspondiendo a un proceso de esclerificación de los tejidos.

La etapa 3 del desarrollo se extendió del día 42 hasta el día 60 en la cual hubo un moderado incremento del diámetro transversal, el cual alcanzó 7.1 cm. El diámetro longitudinal final fue de 6.9 cm por lo que el fruto alcanzó en esta etapa su forma definitiva, globosa, un poco achatada en los polos (Páez, 2000). Tanto el peso fresco como el peso seco siguen aumentando hasta el momento de cosecha, lo cual coincide con las observaciones de Trincherro et al. (1999) y Fischer y Martínez (1999) en sus estudios con uchuva. Las semillas alcanzan su tamaño definitivo y se evidencian llenas de almidón. En esta etapa se completó el proceso de esclerificación. El tejido del mesocarpio presenta células de paredes delgadas (foto 3.6). Al final de esta etapa, se encuentran células plasmolizadas. La subepidermis presenta células agrandadas. Se observa liberación de pectina de la pared, en consecuencia la pared se debilita. Los canales oleíferos se deterioran.

El análisis preliminar de la anatomía del fruto permitió establecer que el arazá no posee tejido de sostén, no se evidencian ni esclerénquima, ni colenquima, lo cual contribuye a la disminución de la firmeza del mesocarpio del fruto (foto 3.7). Esta condición unida a los mecanismos de degradación de la pared celular y lámina lamina media y pérdida de turgor antes señalados deben constituir la principal razón del ablandamiento del fruto durante la maduración. Dicha composición anatómica difiere de manera clara con la anatomía del fruto de guayaba, en el cual se distinguen desde el inicio de su desarrollo la presencia de las esclerificadas que son las que le confieren la textura característica de la pulpa (Garcés, 1987).

### Grosor del epicarpio y mesocarpio del fruto durante el desarrollo

En la tabla 3.2 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza para el grosor del epicarpio y del mesocarpio, los cuales señalan diferencias altamente significativas entre los estados de desarrollo.

**Tabla 3.2.** Análisis de varianza para el grosor del pericarpio y del mesocarpio del fruto de arazá durante el desarrollo

Fuente de variación	Grosor del pericarpio		Fuente de variación	Grosor del mesocarpio	
	G.L.	CM		G.L.	CM
Estado de desarrollo	5	53**	Estado de desarrollo	3	17319877 **
Error	54	6.2	Error	36	214327

Probabilidad\*\* significativo P= 0.01

El grosor del epicarpio del fruto de arazá varía entre 13.5  $\mu$  al inicio del desarrollo y 7.5  $\mu$  al final del desarrollo (tabla 3.3). En la Etapa 1 del desarrollo del fruto, el epicarpio está constituido por una capa uniestrato de células de paredes gruesas bien definidas (fotos 3.2 y 3.3). Esta característica se mantiene durante toda la etapa de división celular y en el inicio de la etapa 2 de expansión celular.

**Tabla 3.3.** Cambios de grosor del epicarpio y del mesocarpio del fruto de arazá durante el desarrollo (n=30)

Estado de desarrollo	Grosor del epicarpio ( $\mu$ ) <sup>w</sup>	Grosor del mesocarpio(cm) <sup>w</sup>
E1 inicial	13.5 a	0.5 c
E1 final	12.8 a	1.7 b
E2 inicial	13.3 a	3.0 a
E2 final	12.0a	3.4 a
E3 inicial	7.5 b	3.4 a
E3 final	7.5 b	3.4 a

<sup>w</sup>Valores de cada columna seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey al 5%

En la etapa 2, se hace máximo el aumento del número de células del mesocarpio (foto 3.2-3.4), mientras que el epicarpio se adelgaza. El adelgazamiento tiene lugar por dos razones, el tipo de división del tejido, de tipo anticlinal, que conlleva el aumento de superficie, más no de su grosor; y la disminución del grosor de la pared celular. Este mismo

comportamiento tiene el epicarpio del fruto de guayaba, el cual crece en forma radial pero definitivamente no cambia su carácter uniestratificado (Garcés, 1987).

En la Etapa 3, las paredes de las células no sólo se adelgazan, sino que se produce, incluso, la lisis de algunas. En esta etapa se completa el proceso de maduración del fruto y el inicio de la senescencia (foto 3.6). Esta ruptura puede ser la razón de la deshidratación que presenta el fruto y la susceptibilidad a podredumbres. Los frutos de arazá se deben recolectar antes de que alcancen la madurez de consumo ya que esta carencia de tejidos de sostén limitan de manera definitiva el manejo de poscosecha.

El mesocarpio presenta su mayor aumento en la etapa E1 del desarrollo, momento en el cual tiene lugar la mayor división celular, la cual se observa en los cortes realizados en los frutos de esta etapa. Las células poliédricas se caracterizan por ser uniformes de paredes gruesas y moderadamente vacuoladas (foto 3.2). En la etapa E2, la expansión celular obedece a un aumento del tamaño celular, con disminución del grosor de la pared celular (foto 3.5). Al final de esta etapa, las células del parenquima no presentan distribución ordenada y el tamaño ha aumentado considerablemente. Entre las Etapas 1 y 2 del desarrollo se encontraron diferencias altamente significativas entre el grosor del mesocarpio y del epicarpio (tabla 3.3) entre sí y con relación a los grosores en la Etapa 3. Una vez que se alcanza el máximo crecimiento de la estructura, el grosor del mesocarpio no cambia y solo se suceden modificaciones a nivel tisular, con adelgazamiento de las paredes celulares y al final de la Etapa 3 con lisis de algunas células (fotos 3.4- 3.6).

### **Estomas en el fruto de arazá durante la maduración**

En la tabla 3.4 se presentan los cuadrados medios para las características de los estomas del fruto. Se encontraron diferencias estadísticas significativas (1%) para el estado de madurez en el diámetro y longitud de los estomas.

**Tabla 3.4.** Análisis de varianza para Diámetros longitudinal y transversal y densidad de estomas en los estratos apical, ecuatorial y basal de 4 estados sucesivos del fruto de arazá

Fuente de Variación	G.L.	Diámetro Longitudinal	Diámetro Transversal	Densidad estomática
Estado de Madurez	3	118.8 **	131.4 **	0.56 n.s.
Estrato del fruto	2	2.41 n.s.	7 n.s.	0.47 n.s.
Estado*Estrato	6	6.68 n.s.	8 n.s.	0.27 n.s.
Error <sup>y</sup>	108	6.66	14.45	0.28

Probabilidad: n.s. no significativa \*, \*\* significativa P=0.05, 0.01

<sup>y</sup>Grados de libertad del error para la variable densidad 348

El análisis de varianza para los diámetros longitudinal y transversal de los estomas del fruto de arazá (tabla 3.4) mostró diferencias altamente significativas entre estados de madurez, siendo de mayor tamaño los estomas del estado maduro. Se ha observado que los estomas en frutos maduros pueden alcanzar dimensiones mayores, las cuales pueden estar asociadas a la pérdida de funcionalidad (Roth, 1977).

Existen diferencias entre las dimensiones de los estomas en los estados verde-maduro, pintón, maduro y sobremaduro (tabla 3.5). Se encontró que los estomas en estos estados finales de madurez se han elongado, tal como describe Roth (1977). Si los estomas están contribuyendo a la transpiración del fruto, habrá una incidencia directa en la deshidratación del fruto que es uno de las razones de mayor importancia en la pérdida de calidad del mismo.

**Tabla 3.5.** Prueba de Tukey para las variables diámetro longitudinal y transversal y densidad de estomas en el fruto de arazá en estados sucesivos de madurez (n=30)

Estado de madurez	Diámetro longitudinal ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro transversal ( $\mu\text{m}$ )	Densidad (estomas- $\text{mm}^{-2}$ )
Verde-maduro	21.8 b	14.7 c	0.4
Pintón	22.0 b	17.4 b	0.3
Maduro	23.8 ab	19.2 a	0.3
Sobremaduro	26.1 a	19 ab	0.2

A pesar que la interacción estado de madurez\*estrato del fruto no fue significativa para los diámetros longitudinal y transversal de los estomas, en la tabla 3.6 se presentan los promedios ya que estos permiten ver algunos aspectos destacables. Las dimensiones de los

estomas variaron entre 21-26  $\mu\text{m}$  de diámetro longitudinal y 13-19  $\mu\text{m}$  de diámetro transversal (tabla 3.6). Su tamaño es menor que el de otras especies como es el caso del carambolo cuyo diámetro longitudinal es de 39  $\mu\text{m}$  y diámetro transversal de 30  $\mu\text{m}$  y corresponde a la tercera parte de los estomas de la epidermis de *Tulipa* que superan las 70  $\mu\text{m}$  en ambas dimensiones (Roth, 1977).

**Tabla 3.6.** Diámetros longitudinal y transversal ( $\mu\text{m}$ ) de estomas de frutos de arazá en estados sucesivos de madurez

Estado de madurez	Estrato del fruto					
	Apical		Ecuatorial		Basal	
	DL	DT	DL	DT	DL	DT
Verde-maduro	21.6	15.5	22.6	15.1	21.3	13.5
Pintón	22.2	17.4	21.6	17.4	22.2	17.4
Maduro	23.5	19.4	22.6	18.0	25.1	20.3
Sobremaduro	26.1	20.2	26.1	18.4	26.1	18.7

Se encontraron estomas en el fruto en los cuatro estados de desarrollo sucesivos evaluados, verde-maduro, pintón, maduro y sobremaduro (tabla 3.7). Los estomas se encuentran en los 3 estratos en los que se dividió el fruto. Su distribución es aleatoria y no se encontró ningún patrón de distribución. La densidad de estomas varió entre 0.1 estoma/ $\text{mm}^2$  en la región basal y 0.5 estoma/ $\text{mm}^2$  en la región ecuatorial.

**Tabla 3.7.** Densidad de estomas (por  $\text{mm}^2$ ) en las regiones apical, ecuatorial y basal en cuatro estados sucesivos de madurez del fruto de arazá.

Estado de madurez	Estrato del fruto		
	Apical	Ecuatorial	Basal
Verde-maduro	0.3	0.5	0.3
Pintón	0.3	0.4	0.3
Maduro	0.3	0.3	0.2
Sobremaduro	0.2	0.3	0.1

Aunque el análisis de varianza (tabla 3.4) no mostró diferencias en la densidad estomática entre los estratos, ni entre los estados de madurez sucesivos, se encontró que la densidad de los estomas del fruto de arazá fue ligeramente mayor en la zona ecuatorial de los frutos

inmaduros (tabla 3.7). En otros frutos como la manzana y la pera los estomas están predominantemente en la zona basal o apical del fruto (Roth, 1977).

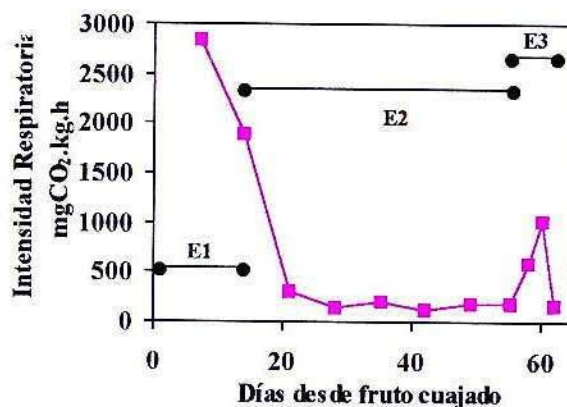
La baja variación en la densidad de estomas podría indicar que durante la maduración del fruto, los estomas en el fruto de arazá no son funcionales, como ocurre en la manzana, ya que van perdiéndose por la formación de corcho y son reemplazados por las lenticelas (Roth, 1977).

La densidad de estomas en el arazá (tablas 3.5 y 3.7) es baja comparada con otros frutos como la carambola (González et al., 2001) en el que la densidad estomática es de 1.22 estomas-mm<sup>-2</sup>, o de la naranja navel de 13.86 estomas-mm<sup>-2</sup> (Roth, 1977). En consecuencia, no se puede descartar una contribución de los estomas al proceso de transpiración, aunque tampoco se puede asegurar una significativa contribución y habrá que realizar estudios más detallados al respecto.

#### **Actividad respiratoria del fruto de arazá durante su desarrollo**

El patrón respiratorio del fruto de arazá con un pico climatérico coincidente con la maduración lo clasifica como un fruto climatérico (figura 3.3), lo cual coincide con lo reportado para frutos de la misma especie en condiciones de amazonia oriental (Galvis y Hernández, 1993b) y para frutos de la misma familia *Myrtaceae* como la guayaba (*Psidium guajava*) y feijoa (*Acca sellowiana*). Este patrón difiere del de otras especies del mismo género *Eugenia*, como *E. malaccensis*, *E. cumini* y *E. uniflora* las cuales han sido reportadas como no climatéricas (Akamine y Goo, 1979). La intensidad respiratoria a 20°C fue máxima en la etapa 1 de desarrollo con valores mayores de 3.000 mg CO<sub>2</sub>·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, lo que coincide con el período de máxima división celular. En la etapa 2 del desarrollo la respiración disminuyó, hasta valores menores de 500 mg CO<sub>2</sub>·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, durante el período de expansión celular. Finalmente, la respiración aumentó durante la maduración y presentó un máximo climatérico alrededor de 1.000 mg CO<sub>2</sub>·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>. La maduración del fruto fue acelerada como consecuencia de la alta actividad respiratoria. Pinedo et al. (1981) reportan

que la maduración del fruto se da en un período de 72 horas a 25°C. El máximo climatérico en los frutos del presente ensayo fue mucho mayor que el reportado por Galvis y Hernández de sólo 40 mg CO<sub>2</sub>·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> (1993b).



**Figura 3.3.** Actividad respiratoria del fruto de arazá durante el desarrollo (n=3)

Adicionalmente, el patrón respiratorio del fruto de arazá coincide con lo reportado por Akamine y Goo (1979) para frutos del género *Psidium*, pero difiere de lo encontrado para frutos del género *Eugenia*, al cual pertenece el arazá.

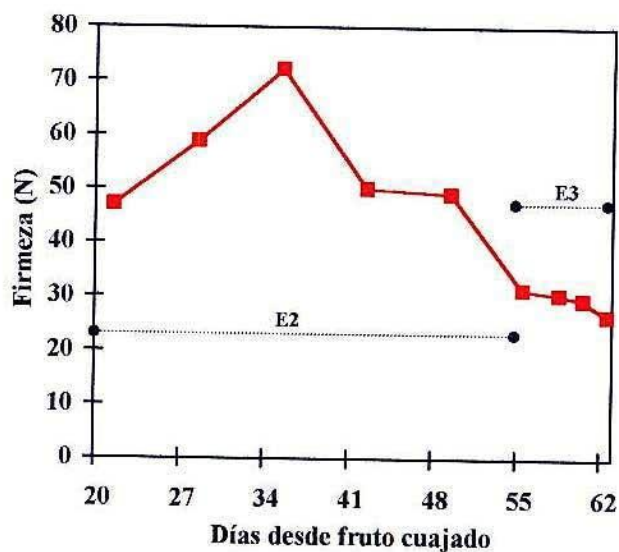
### **Evolución de parámetros fisicoquímicos en el fruto de arazá durante su desarrollo.**

#### **Firmeza**

La firmeza del fruto (figura 3.4) se incrementó durante la etapa 2 del desarrollo y su máximo se registró el día 35 con 72 N, comportamiento que se asocia con la síntesis de protopectinas del fruto. En guayaba cv. "Safeda" las pectinas del fruto aumentaron hasta los 110 días del desarrollo y luego disminuyeron (Lodh y Pantastico, 1984).

La firmeza disminuye a valores de 20 N, lo que en otros frutos como la papaya resulta del desdoblamiento final de las protopectinas en moléculas de menor tamaño (Paull et al., 1999). La disminución de la textura del arazá puede estar asociada además con la ausencia

de tejidos de sostén, como colenquima y esclerenquima, tal como se identificó durante el estudio anatómico. En consecuencia, el arazá resulta susceptible a daños mecánicos durante la postrecolección, los cuales se incrementan en la medida en que el fruto sea recolectado y transportado durante la madurez de consumo y no previamente (foto 3.7).

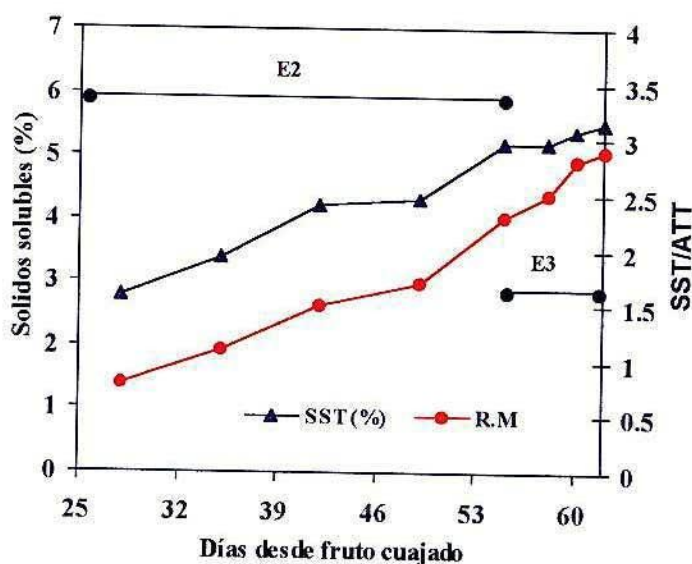


**Figura 3.4.** Variación de la firmeza de la pulpa medida en el fruto de arazá durante su desarrollo (n=10)

### Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles (figura 3.5) presenta un aumento moderado durante las etapas 2 y 3 del desarrollo del fruto. Sus valores aumentan entre el 2% en el inicio de la etapa 2 y el 5% en el momento de madurez de consumo.

La medida de SST ( $^{\circ}$ Brix) se encuentra asociada con los azúcares disueltos en el jugo celular, por lo que se puede afirmar que el arazá es un fruto con moderada cantidad de azúcares que aumentan poco durante la maduración.



**Figura 3.5.** Comportamiento del contenido de sólidos solubles y relación de madurez (SST/ acidez titulable total ATT) en el fruto de arazá durante su desarrollo (n=10)

La baja concentración de SST hace suponer una baja reserva de almidones en el arazá ya que en aquellos frutos en los cuales la síntesis de almidón es considerable en las primeras etapas de su formación, posteriormente durante el período de desdoblamiento de sustancias de reserva los sólidos solubles aumentan como en el caso del litchi (Batten, 1989; Wang y Shiesh, 1990) o de la pitaya (Hernández et al., 1992), así como otras cactáceas del género *Hylocereus* (Nerd et al., 1999), en las cuales el aumento de sólidos puede ser del orden del 8% simultáneo al cambio de color.

Los valores encontrados en el presente estudio coinciden con los reportados por Galvis y Hernández (1993a), quienes observaron valores de SST de 5%, como máximo valor, en frutos recolectados en San José del Guaviare. El porcentaje de incremento durante la fase de maduración del fruto de arazá alcanza un 5%, que es una variación moderada a baja. Otras especies tropicales exhiben aumentos muy superiores, mayores que el 50% como es el caso del sapote mamey (*Pouteria sapota*), que al inicio de la maduración posee un

contenido promedio de 12% de sólidos solubles y en la madurez plena, este contenido puede ser de 30% (Díaz-Pérez et al., 2000). La relación de madurez aumentó durante la etapa 2 y 3 del desarrollo tal como se indica en el epígrafe correspondiente.

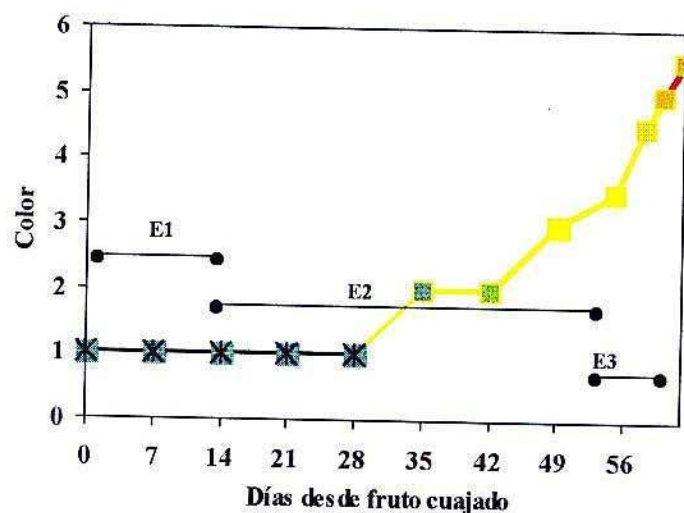
## Color

El color del fruto de arazá varía de verde oscuro en la E1 y parte de la E2. Al final de la E2, la tonalidad del color varía a verde mate (figura 3.6) y rápidamente la coloración verde es reemplazada por la coloración amarilla, característica del fruto maduro, en el momento de consumo tal como se presenta en la gráfica. Al finalizar la E3, la coloración se tornó amarilla oscura, que es un indicador de la senescencia. En la tabla 3.8 se presenta la descripción de la coloración del fruto durante su desarrollo, a partir de la cual se construyó la escala de color del fruto. La escala está compuesta por 6 estados sucesivos de color.

El color resultó un importante indicador del momento oportuno de cosecha, ya que el fruto de arazá durante las dos primeras etapas de desarrollo presenta una coloración verde intensa, que se mantiene hasta el día 40 de la etapa 2, para dar paso a una tonalidad verde clara, mate, sin brillo, al final de la etapa 2, e inicio de la etapa 3.

**Tabla 3.8.** Escala de color del fruto de arazá durante su desarrollo y maduración

Escala de color	Estado	Color	Descripción
1	Inmaduro	Verde	Color verde oscuro brillante
1	Inmaduro	Verde	Color verde oscuro, leve modificación a tonalidad mate
2	Verde-maduro	Verde mate	Color verde claro, el fruto no presenta brillo
3	Pintón	Verde-amarillo	Color verde con 10-25% de color amarillo
4	Pintón $\frac{3}{4}$	Verde-Amarillo	Color amarillo en más del 50% del fruto
5	Maduro	Amarillo	Color amarillo en el 100% de la superficie del fruto
6	Sobremaduro	Amarillo-oro	Color amarillo oscuro. Fruto blando. Firmeza <20 N



**Figura 3.6.** Variación del color del fruto de arazá durante su desarrollo (n=10)

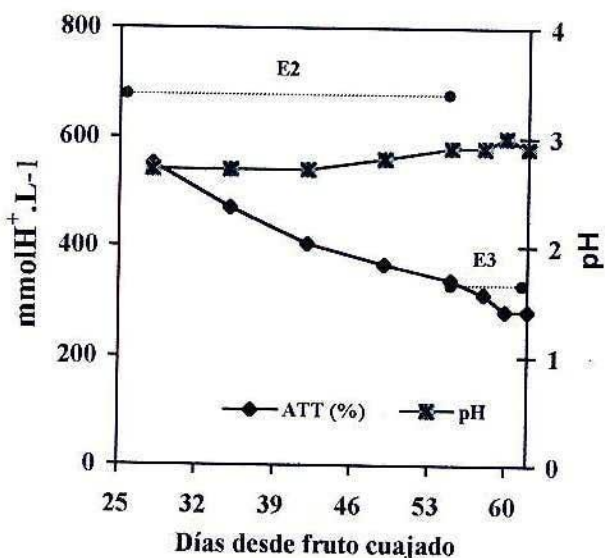
Durante la etapa 3 (42-62 días), el fruto pasa de color verde mate a amarillo en los siguientes 5 días, como consecuencia de la degradación de la clorofila, por acción de las enzimas clorofilasas, que en medio ácido aumentan su actividad (Matoo et al., 1984). A su vez, esto hace que sean más visibles los carotenos, los cuales o estaban enmascarados, dando paso a la expresión de los carotenos, los cuales han sido sintetizados durante o han sido sintetizados durante el proceso de desarrollo del fruto (fotos 3.8, 3.9 y 3.11). En frutos de guayaba, la presencia de carotenoides, licopeno y  $\beta$ -caroteno determina el color del mesocarpio (Ali y Lazan, 1997).

Acompaña este cambio externo el cambio en la coloración de la pulpa, la cual pasa de color blanco, en la primera etapa, a color hueso o marfil durante la segunda etapa, para finalmente alcanzar una tonalidad amarilla característica durante la tercera etapa del desarrollo. Se encontró que el cambio de color del mesocarpio se inició antes que la del pericarpio. El cambio de color se hace común a la gran mayoría de frutos, aunque existen excepciones como el fruto de copoazú (*Theobroma grandiflorum* Wild ex Spreng) (Hernández y Galvis, 1994), el cual es café desde su cuajado hasta el momento de su recolección, sin embargo en frutos de mango cv Irwing, así como uchuva, *Amelanchier*

*alnifolia* y melocotón de todas sus variedades, el color es un índice muy apropiado para determinar el momento oportuno de recolección (Fischer y Martínez, 1999; Meredith et al., 1989; Olson y Steves, 1982; Wang y Shiesh, 1990).

### pH y ATT

El pH presentó poca variación durante la etapa 2 del desarrollo del fruto, mientras que al final de esta etapa y en la etapa 3 se registra un aumento en sus valores (figura 3.7). Este comportamiento coincide con la disminución de la acidez total de 600 a 200  $\text{mmol H}^+ \cdot \text{L}^{-1}$  expresada como ácido málico para la misma época.



**Figura 3.7.** Variación del pH y la ATT durante el desarrollo del fruto de Arazá (n=10)

El contenido de acidez total resulta un buen índice de recolección para el fruto de arazá. Una concentración entre 350 y 400  $\text{mmol H}^+ \cdot \text{L}^{-1}$  es adecuada en el momento de la cosecha. Dicha concentración se alcanza al final de la etapa 2 del desarrollo y el descenso continúa durante la maduración. Esta tendencia coincide con la de otros frutos tropicales y subtropicales como el litchi y algunas cactáceas del género *Hylocereus*. En otros frutos

tropicales la tendencia no es clara como en el caso del sapote mamey en el cual el contenido de acidez total se mantiene (Díaz-Perez et al., 2000; Nerd et al., 1999; Batten, 1989).

### **Relación de madurez**

La relación de madurez SST/ATT en los frutos de arazá aumenta de manera permanente durante las etapas 2 y 3 del desarrollo del fruto, haciéndose cercana a 1 (figura 3.5), comportamiento que coincide con el descrito por de Galvis y Hernández (1993a) en frutos en San José del Guaviare, al igual que con otros frutos tropicales como el maracuyá (Arjona, 1991), litchi (Batten, 1989) y *Amelanchier alnifolia* (Rogiers et al., 1997). Los frutos con patrón respiratorio climatérico durante el máximo respiratorio desdoblan de manera rápida sus reservas, en este caso, ácidos orgánicos, como respuesta al incremento de su metabolismo y en consecuencia el cociente dado por los SST/Acidez aumenta.

A diferencia del comportamiento de frutos climatéricos, los frutos no climatéricos, no presentan esta misma tendencia, caso de la cocona (Barrera et al., 1999). La relación de madurez no se incrementa y solamente hasta que el fruto alcance su madurez de consumo podrá ser recolectado, de otra manera, se podrá presentar una maduración organoléptica incompleta del producto cosechado.

### **CONCLUSIONES**

Del presente estudio se puede concluir que el desarrollo del fruto de arazá tiene una duración promedio de 55 días, en las condiciones del piedemonte Caqueteño. El fruto de araza tiene un comportamiento sigmoideal

El modelo de crecimiento de mayor ajuste en las 4 variables evaluadas, diámetro longitudinal y transversal y de peso fresco y seco fue el modelo polinomial de tercer grado. Los coeficientes de los términos fueron altamente significativos y el  $R^2$  mayor de 0.90

El desarrollo del fruto se caracteriza por un máximo de firmeza del fruto a los 40 días después de la antésis, una fuerte reducción de la actividad respiratoria y aumento de sólidos solubles moderado.

La maduración del fruto se caracteriza por un pico climatérico de  $800 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , disminución de la firmeza a 20 N y de la acidez  $280 \text{ mmol H}^+ \cdot \text{L}^{-1}$ , y aumento leve del pH (3.0), de los SST (5.5%) y del índice de madurez (3.0).

El fruto de arazá se cosechará oportunamente cuando la tonalidad del epicarpo cambie de verde intenso a verde claro, sin brillo y se haya alcanzado su máximo tamaño tanto en diámetro longitudinal, como transversal (7.0 cm). El fruto de arazá sigue aumentando su peso fresco y seco al final de la etapa 3 de desarrollo, por lo que se sugiere considerar dejarlo en la planta el mayor tiempo posible, si el mercado al cual se dirige es el local. Sin embargo, con la susceptibilidad al daño mecánico, ayudada por la ausencia de tejido de sostén y a la pérdida de firmeza debida a la maduración, no resulta de ninguna manera recomendable para el transporte, el cual tendrá que ser por vía terrestre del huerto al almacén de acopio o al puerto de embarque. La presencia de estomas en una densidad  $0.3 \text{ estomas} \cdot \text{mm}^{-2}$  en frutos maduros aumenta el riesgo de deshidratación y facilita el desarrollo de infecciones.

Para el momento oportuno de recolección la relación de madurez estará cercana a 1.0 y la firmeza del fruto será cercana a 30N. De esta manera la manipulación no ocasionará daños en el fruto, disminuyendo sus pérdidas en poscosecha. Si el fruto de arazá reúne estas características se conserva adecuadamente, además los riesgos en el transporte, distribución y comercialización serán menores.

Aunque en el presente estudio no llegó a determinarse el nivel de producción de etileno del fruto de arazá, se podría suponer que se encuentra entre medio y alto. Si se considera la clasificación hecha por Nakasone y Paull (1998), estaría cercano a frutos como la manzana,

Hacia el futuro, también se recomienda considerar tratamientos que puedan bloquear o retrasar la producción de la hormona de la maduración o sus receptores, a fin de prolongar la vida útil del fruto.

## LITERATURA CITADA

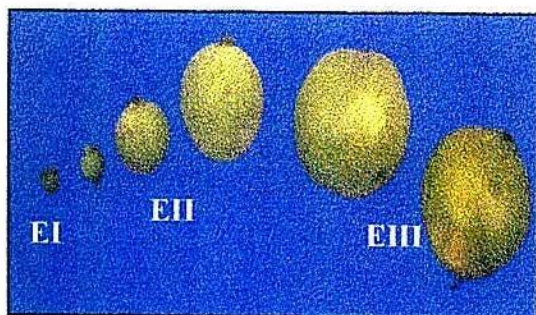
- Ali Z.M. y H. Lazan. 1997. Guava. En: S. K. Mitra (eds.). Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits. CABI Publishing. p. 145-165.
- Akamine, E. K. y T. Goo. 1973. Respiration and ethylene production during ontogeny of fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 98(4): 381-383.
- Akamine, E. K. y T. Goo. 1979. Respiration and ethylene production in fruits of species and cultivars of *Psidium* and species of *Eugenia*. *Journal American Society for Horticultural Science* 104(5): 632-635.
- AOAC 1995. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, ed. P.A. Cunniff, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Artés, F. y M.C. Salmeron. 1996. Quality attributes, pectolytic enzyme activities and physiological changes during postharvest ripening of nectarine. *Journal of Food Quality* 19: 491-503.
- Arjona, H.E., F.B. Matta y J.O. Garner. 1991. Growth and composition of passion fruit (*Passiflora edulis*) and maypop (*P. incarnata*). *HortScience* 26:(7), 921-923.
- Biale, J.B. y R. E. Young. 1981. Respiration and ripening in fruits-Retrospect and Prospect. En: Friend, J. y M.J.C. Rhodes (Eds.) Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables. Academic Press. p. 1-37.
- Barrera, J., M.S. Hernández, S. Murcia y M. Fajardo. 1999. Cambios fisiológicos y fisicoquímicos durante el desarrollo de la fruta de cocona (*Solanum sesilliflorum* Dunal). VI Congreso de la Sociedad Colombiana y Producción de Cultivos. Villavicencio, Meta (abstract).
- Brady, C.J. 1987. Fruit ripening. *Annual Review of Plant Physiology*. 38: 155-178.
- Batten, D.J. 1989. Maturity criteria for litchis (lychees). *Food Quality and Preference* 1 (4/5): 149-155.
- Coombe, B.G. 1976. The development of fleshy fruits. *Annual Review of Plant Physiology* 27: 207-228.
- Brummell, D.A., Hall, B.D., A.B. Bennett. 1999a. Antisense suppression of tomato endo-1,4-beta-glucanase Cel2 mRNA accumulation increases the force required to break fruit abscission zones but does not affect fruit softening. *Plant Molecular Biology* 40: 615-622.
- Brummell, D.A., Harpster, M.H., Civello, P.M., Palys, J.M., Bennett, A.B., P. Dunsmuir.. 1999b. Modification of expansin protein abundance in tomato fruit alters softening and cell wall polymer metabolism during ripening. *The Plant Cell* 11: 2203-2216.
- Díaz-Pérez, J.C. S. Baustista y R. Villanueva. 2000. Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. *Postharvest Biology and Technology* 18: 67-73.
- Ferreira, S.A.D. y D.F.O. Gentil. 1999. Arazá (*Eugenia stipitata*), cultivo y utilización. Tratado de cooperación amazónica, Secretaria Protempore 107 p.

- Fischer, G. y O. Martínez. 1999. Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. *Agronomía Colombiana* 16(1-3): 35-39.
- Garcés, E. 1987. Estudio anatómico y de los procesos de crecimiento del fruto de guayabo. *Agronomía Colombiana* 4: 23-30.
- Galvis, J.A. y M.S. Hernández. 1993a. Análisis del crecimiento y determinación del momento oportuno de cosecha del fruto de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh). *Colombia Amazónica* 6(2): 107-121.
- Galvis, J.A. y M.S. Hernández. 1993b. Comportamiento fisiológico del arazá bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. *Colombia Amazónica* 6(2): 123-134.
- Gil, M. I., R. Sánchez, J. G. Marín y F. Artés. 1996. Quality changes in pomegranates during ripening and cold storage. *Z Lebensm Unters Forsch.* 202: 481-485.
- González, J. 1991. El cultivo del arazá en la Amazonía Peruana. INIA. Estación Experimental Agropecuaria San Roque. Lima, Perú. 27 p.
- González, V., M.S. Hernández, A. Herrera, J. Barrera, O. Martínez, y D. Paez. 2001. Estudio preliminar del fruto de carambola (*Averrhoa carambola* L.) producido en el piedemonte amazónico colombiano. *Agronomía Colombiana* (en imprenta).
- Grange, R.I. 1993. Crecimiento del fruto. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talon. *Fisiología y Bioquímica vegetal*. Interamericana Mc Graw-Hill. p. 449-462.
- Hernández, M.S., P. Restrepo y J. Clavijo. 1992. Caracterización morfológica, química y fisiológica del fruto de pitaya amarilla. *Agricultura Tropical* 29:69-75.
- Hernández, M.S. y O. Martínez. 1993. Modelos de crecimiento para el fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam). *Agricultura Tropical* 30(3): 85-90.
- Hernández, M. S. y A. Galvis. 1994. Análisis del crecimiento del fruto y determinación del momento de cosecha del copoazú. *Revista Colombia Amazónica*. 7(1-2): 157-168.
- Holcroft, D.M., A.A. Kader. 1999. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology* 17:19-32.
- Iannetta, P.P.M., J. Van der Berg, R. Wheatley, R., J. Mc Nicol y H. V. Davies. 1999. The role of ethylene and cell wall modifying enzymes in raspberry (*Rubus idaeus*) fruit ripening. *Physiologia Plantarum* 105: 338-347.
- IDEAM, 2000. Reportes meteorológicos de las estaciones del aeropuerto de la ciudad de Florencia, Caquetá. Últimos diez años.
- Kader, A.A. 1992. Methods of gas mixing, sampling and analysis. En: Kader, A.A. (ed.) *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Publication No. 3311. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, CA. p. 93-96.
- Leopold, CA. 1975 *Plant Growth and development*. 2° Ed. McGraw Hill Publishing Co. New Delhi. P. 270-280.
- Lodh, S.B. y Er. B. Pantastico. 1984. Cambios fisicoquímicos durante el crecimiento de órganos de almacenamiento. En: Pantastico, Er.B. *Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales*. Compañía Editorial Continental S.A. México. Segunda reimpresión. p 59-76.
- Mercado-Silva, E., P. Benito-Bautista y M.A. García-Velasco. 1998. Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central Mexico. *Postharvest Biology and Technology* 13: 143-150.

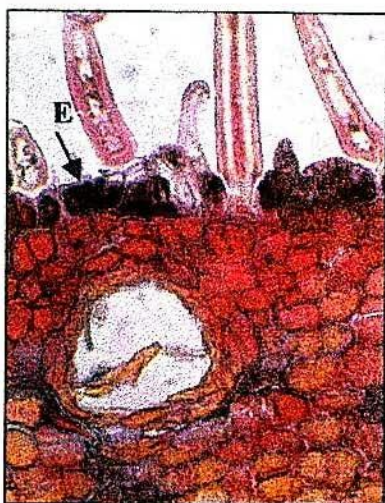
- Meredith, F. I., J. A. Robertson y R. J. Horvat. 1989. Changes in physical and chemical parameters associated with quality and postharvest ripening of harvested peaches. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 37: 1210-1214.
- Nakasone, H, Y y R.E. Paull. 1998. Tropical fruits. CABI Publishing, p. 17-45
- Nerd, A., F. Gutman y Y. Mizrahi. 1999. Ripening and postharvest behaviour of fruit of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Postharvest Biology and Technology*. 17: 39-45.
- Olson, A. R. y T. A. Steeves. 1982. Structural changes in the developing fruit wall of *Amelanchier alnifolia*. *Canadian Journal of Botany*. 60:1880-1887.
- Páez, D. 2000. Caracterización fisicoquímica de los frutos y sus principales constituyentes. En: Memorias del Seminario "Tecnologías de recolección y manejo post cosecha de frutos amazónicos con potencial económico y comercial en la amazonía occidental colombiana. Universidad de la Amazonia – Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria PRONATTA. Florencia, Caquetá. S/N.
- Paull, R.E., K. Gross y Y. Qiu. 1999. Changes in papaya cell walls during fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 16: 79-89.
- Perdue, D.y L. Neven. 1998. Cell wall  $\beta$ galactosidase in ripening 'D'anjou' pears. *Journal of Food Quality* 21: 341-353.
- Pinedo, M., F. Ramírez y M. Blasco, 1981. Notas preliminares sobre el Arazá (*Eugenia stipitata*) Frutal Nativo de la Amazonía peruana. Ministerio de Agricultura y Alimentación. INIA. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas-OEA. Lima, Perú. 58p.
- Rogiers, S.Y. y R. Knowles. 1997. Physical and chemical changes during growth, maturation and ripening of Saskatoon (*Amelanchier alnifolia*) fruit. *Canadian Journal of Botany* 75: 1215-1225.
- Rose, J.K.C., A.B. Bennett. 1999. Cooperative disassembly of the cellulose-xyloglucan network of plant cell walls: parallels between cell expansion and fruit ripening. *Trends In Plant Science* 4:176-183.
- Roth, I. 1964. Microtecnia vegetal. Escuela de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Roth, I. 1977. Fruits of angiosperms. Gebrüder Borntraeger. p. 39-97.
- Rose, J.K.C., A.B. Bennett. 1999. Cooperative disassembly of the cellulose-xyloglucan network of plant cell walls: parallels between cell expansion and fruit ripening. *Trends In Plant Science* 4:176-183.
- Trainotti, L., Ferrarese, L., Dalla, V., Rascio, N., G.Casadoro. 1999. Two different endo-beta-1,4-glucanases contribute to the softening of the strawberry fruits. *Journal of Plant Physiology* 154: 355-362..
- Trincherro, G.D., G.O. Sozzi, A. M. Cerri, F. Villela y AA. Fraschina. 1999. Ripening-related changes in ethylene production, respiration rate and cell enzyme activity in golden berry (*Physalis peruviana* L. ) a solanaceous species. *Postharvest Biology and Technology*. 16:139-145.
- Seymour, G.B, J.E. Taylor y G.A. Tucker. 1993. Biochemistry of fruit ripening. Chapman & Hall. p. 1-52.

- Wang, T. y C. Shiesh, 1990. Fruit growth, development and maturity indexes of 'Irwin' mango in Taiwan. *Acta Horticulturae* 269:189-197.
- Wills, R., B. McGlasson, D. Graham y D. Joyce. 1998. *Postharvest. An introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals.* 4<sup>th</sup> edition CABI Publishing. p. 33-60.
- Yamaki, S. 1995. Physiology and metabolism of fruit development. *Acta Horticulturae* 398: 109-120.
- Zhuo, H.W., Lurie, S., Lers, A., Khatchiski, A., Sonogo, L., R. Ben-Arie. 2000. Delayed storage and controlled atmosphere storage of nectarines: two strategies to prevent woolliness. *Postharvest Biology and Technology* 18:133-141.

**FOTOS DEL MOMENTO OPORTUNO DE COSECHA DEL FRUTO DE ARAZA Y CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE MADURACIÓN.**



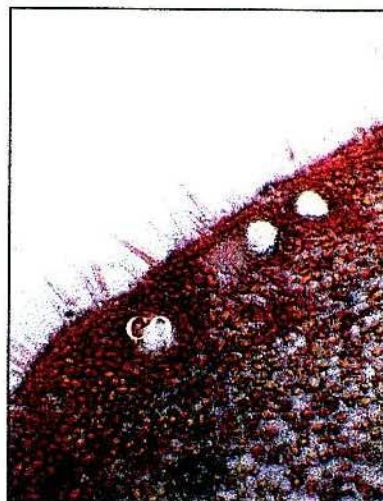
**Foto 3.1.** Etapas del desarrollo del fruto de araza. E: Etapa



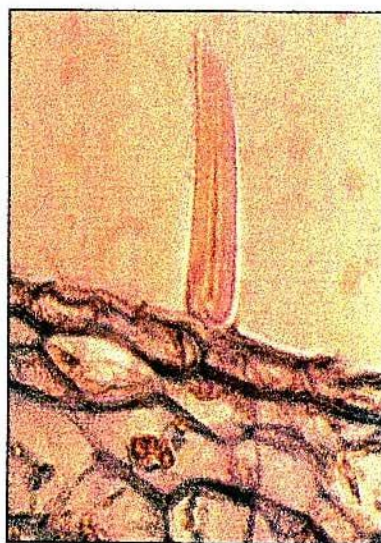
**Foto 3.3.** Corte transversal de fruto de araza en EII de desarrollo. Epicarpio monoestratificado



**Foto 3.5.** Anatomía del fruto de araza en EIII de desarrollo, en madurez de consumo



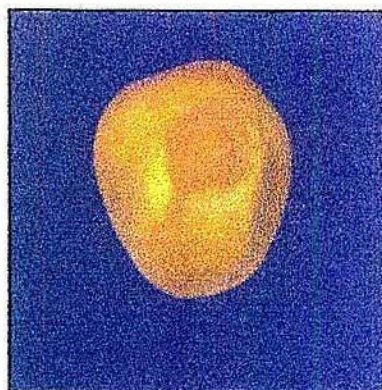
**Foto 3.2.** Corte transversal de fruto de araza en Etapa I de desarrollo. CO: canales oleiferos



**Foto 3.4.** Células características del tejido parenquimático del fruto de araza. EII y EIII del desarrollo del fruto.



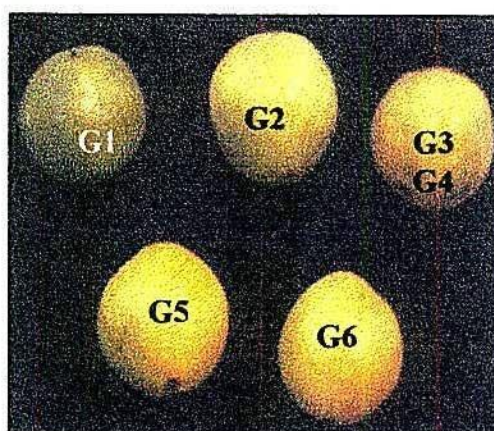
**Foto 3.6.** Anatomía del fruto de arazá al final del EIII de desarrollo. Estado senescente. Rompimiento de paredes celulares



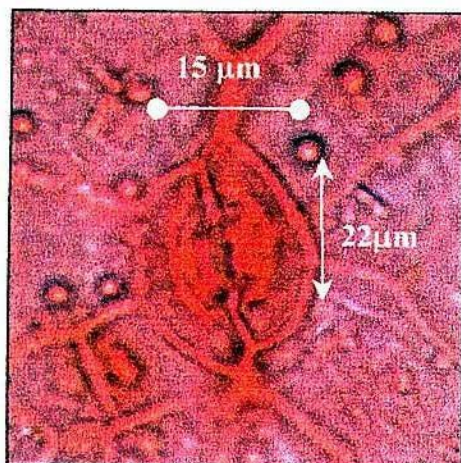
**Foto 3.7.** Daños mecánicos ocasionados por una recolección tardía deficiente manipulación



**Foto 3.8.** Grado de madurez apropiado para la recolección y comercialización en fresco del fruto de araza



**Foto 3.9.** Escala de color propuesta para el fruto de arazá durante su maduración. G: Grado.



**Foto 3.10.** Estoma del fruto de arazá



**Foto 3.11.** Fruto de arazá en estado de madurez de consumo.

## TEMPERATURA CRÍTICA DE ALMACENAMIENTO PARA EL FRUTO DE ARAZÁ

4

### RESUMEN

Se almacenaron frutos de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) en estado verde-maduro bajo diferentes temperaturas (7, 10, 12 y 20°C) y 85-90% H.R. durante 7 o 14 días, con y sin período de maduración complementaria (3 días a 20°C, 70% H.R.). Los frutos fueron recolectados del huerto Copozú del municipio El Doncello, departamento del Caquetá, temperatura promedio 25°C, humedad relativa 90%, precipitación 3600 mm/año y brillo solar 1500 h/año. El contenido de ácidos orgánicos aumentó durante la primera semana en los frutos almacenados a 7 y 10°C, al igual que el contenido de sacarosa. Los frutos mantenidos a 7 y 10°C continuaron madurando cuando fueron trasladados a maduración complementaria a 20°C. Los frutos almacenados a 7 y 10°C presentaron daño por frío después de 14 días de almacenamiento (30% y 27%, respectivamente) y no alcanzaron la madurez organoléptica. La pérdida de peso al final de la maduración complementaria tras los 14 días fue superior al 10% en todas temperaturas probadas, especialmente en frutos conservados a 7°C (23%). Dichas pérdidas estuvieron asociadas con la incidencia de podredumbres, principalmente por *Gloeosporium* sp. El ácido málico disminuyó a medida que la temperatura de almacenamiento aumentó. La glucosa, fructosa y sacarosa se acumularon durante el almacenamiento a 12°C, algunos de los frutos alcanzaron su madurez de consumo antes de cumplir 14 días en dicha condición de almacenamiento. El ácido ascórbico disminuyó en todos los tratamientos tras 14 días de almacenamiento más 3 días de maduración complementaria. El marchitamiento, la disminución del viraje del color verde a amarillo y el aumento de la susceptibilidad a las enfermedades y pudriciones estuvo asociada a los daños por frío en frutos almacenados a 7 y 10°C. La conservación a 12°C evitó las lesiones por frío e incidió sobre la acumulación de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa)

Palabras claves: ácido ascórbico, ácidos orgánicos, azúcares, daño por frío, intensidad respiratoria, pérdida de peso, refrigeración

## CRITICAL LOW TEMPERATURE STORAGE FOR THE ARAZA FRUIT

### SUMMARY

The study was carry out with samples collected in El Doncello, Caqueta in the Copoazú orchard. The place presents 25°C, average temperature, 85% of R.H, sun bright of 1500 h/year and pluviosity of 3600 mm. Green mature arazá fruits were stored at low temperaure (7, 10, 12 and 20°C) and 85-90% R.H for 14 days with and without a period of shelf life (3 days at 20°C, 70% R.H.). Fruits stored at 7 and 10°C showed chilling injury (30% and 27% respectively) and it never reach complet ripeness after total after 14 storage days, but those fruits ripened after first week of storage. Organic acids increases also sucrose. Final weight loss from the commercial period after the two weeks period was higher than the 10% in all temperatures, specially in fruits stored at 7°C (23%). These losses were asociated with the incidence of roting mainly by *Gloeosporium sp.* Malic acid decreased during storage at 12°C. Some fruits stored at 12°C mature before 14 days of storage and it was be ready to eat. Ascorbic acid decreased in all treatments after 14 days of storage plus 3 days of complementary ripening. Wilting, increase in disease sensibility were associated to the chilling injury. Fruits stored at 12°C accumulate sugars and decreased organic acids levels.

Key words: ascorbic acid, chilling injury, cold storage, sugars, organic acids respiration rate, weight loss

### INTRODUCCIÓN

El fruto de arazá, constituye una alternativa promisoría para los sistemas agroproductivos del bosque húmedo tropical amazónico. Sin embargo, su corta vida durante la postrecolección, no mayor a 5 días a 25°C (Pinedo et al., 1981) constituye un limitante a su comercialización.

El almacenamiento de frutos a bajas temperaturas por un período definido es una práctica común en países de climas templados. Las bajas temperaturas retardan la maduración y pueden disminuir las pudriciones que aparecen durante el almacenamiento. Sin embargo, el problema con los frutos tropicales como en el caso del arazá, guayaba, mango, litchi entre otros es que son sensibles al daño por frío (Campbell, 1994; Wang 1982; 1994).

Galvis y Hernández (1993) al almacenar frutos de arazá a bajas temperaturas mostraron que el fruto sufre lesiones como inhibición del desarrollo del color característico del fruto maduro, así como aumento de la firmeza y presencia de escaldadura, manifestaciones asociadas a sensibilidad a las bajas temperaturas.

Los daños por frío se encuentran asociados con alteraciones de membranas celulares, la membrana citoplasmática, la mitocondrial, así como, la del cloroplasto y el tonoplasto. Dichas disfunciones son el resultado del cambio de estado de los lípidos de la bicapa lipídica, del cambio conformacional de las proteínas estructurales, de la fuga de protones, del aumento de iones  $\text{Ca}^{++}$  en el citosol, los cuales pueden reaccionar con los grupos fosfato de los fosfolípidos de la membrana, con la consecuente rigidización. El aumento de calcio también está asociado con la alteración de procesos de transporte activo y pasivo a través de la membrana (Gutiérrez et al., 1994; Jackman et al., 1988; Lyons y Breidenbach, 1987; Mercado-Silva et al., 1999; Minorsky, 1985; Parkin et al., 1989).

A la desorganización de las membranas celulares se suman la disminución del movimiento del citoplasma y el desacople de las microfibrillas, al igual que la disminución de la actividad de algunas enzimas solubles como la peroxidasa, la catalasa, la superóxido dismutasa, la polifenol oxidasa u otras, permitiendo la acumulación de especies reactivas de oxígeno ( $\text{OH}^{\cdot}$ ,  $^1\text{O}_2$ ) que causan peroxidación de las membranas (Parkin et al., 1989). Wade (1979) enuncia que otros compuestos que se acumulan como resultado del daño por frío son los de origen de la glicolisis. Inicialmente se aumenta la concentración de piruvato, el cual se metaboliza a etanol, acetaldehído y acetato. Lyons (1973) observó que el desbalance

metabólico puede ser debido a cambios en la estructura de la membrana cuando es sometida a bajas temperaturas. Dicho cambio impide la unión de las enzimas a la membrana, disminuyendo, de esta manera, la actividad de las enzimas de los ácidos tricarbónicos por ejemplo.

Todos estos cambios a escala bioquímica y molecular se manifiestan con la alteración de la emisión de etileno, el cual aumenta inicialmente, para luego disminuir; aumento desmesurado de la actividad respiratoria, sobre todo tras la transferencia de los frutos a temperaturas mayores a la temperatura de conservación; irregularidad del cambio de color; desarrollo rápido de la senescencia; susceptibilidad a enfermedades y pudriciones; picado o escaldadura de la superficie; además del “encharcamiento” (Saltveit y Morris, 1990).

El picado, el encharcamiento y la fuga de iones provienen de una causa común, la incapacidad de las membranas para mantener la compartimentalización de los contenidos celulares. Los fluidos que salen de la célula forman un área de encharcamiento, lo cual reduce la difusión de gases y crea el medio apropiado para el crecimiento de patógenos y ocasiona deshidratación y necrosis del tejido. Cuando se produce la evaporación del agua de las áreas “encharcadas” sobre todo si estas están próximas a la epidermis, se producen las depresiones y el picado superficial (Saltveit y Morris, 1990).

Wang (1994) propone una clasificación para los frutos tropicales con base en la severidad con la que los frutos se ven afectados por la baja temperatura. Es así, que los frutos tropicales pueden ser resistentes tolerando el almacenamiento a temperaturas inferiores a 3°C; levemente sensibles, cuando toleran temperaturas de 3-4°C y sensibles al daño cuando el rango de almacenamiento se estrecha a temperaturas entre 10 y 13°C. Por su parte, Graham (1990) arguye que la sensibilidad de los cultivos tropicales al daño por frío tiene dos causas principales: 1) los cambios de las membranas antes descritos, los cuales involucran particularmente los fosfatidilglicérols que causan el cambio de la membrana y la descompartimentalización y 2) la pérdida de la capacidad catalítica de las enzimas.

En frutos de guayaba, el daño por frío se atribuye principalmente a la pérdida de función de la membrana ocasionada por la oxidación de sus lípidos (Ali y Lazan, 1997; Mercado et al., 1999). La disminución y/o pérdida de permeabilidad se traduce en fuga de iones y generalizada descompartmentalización.

El daño por frío en la mayoría de los frutos tropicales constituye una restricción para su almacenamiento bajo condiciones de refrigeración. En consecuencia, se requiere establecer el rango de temperatura en el cual el fruto continúa su proceso de maduración sin detrimento de la calidad. El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto del almacenamiento a bajas temperaturas sobre la conservación del fruto de arazá, así como las manifestaciones asociadas al daño por frío.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se recolectaron frutos de arazá en estado verde maduro (foto 4.1) en el huerto comercial “Copoazú”, en el Municipio de El Doncello, Departamento de Caquetá, cuyas características agroclimatológicas son: temperatura promedio 25°C, precipitación 3600 mm/año, humedad relativa 85%, brillo solar 1500 h/año (IDEAM, 2000). Los frutos recolectados fueron empacados en canastas plásticas de 10 Kg y transportados por vía terrestre durante 1 hora hasta el aeropuerto local. El tiempo para el transporte aéreo fue de 45 minutos, después del mismo fueron llevados al laboratorio de poscosecha del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos -ICTA- de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Los frutos fueron seleccionados y acondicionados mediante lavado, desinfección con una solución de 400 ppm de tiabendazol y enjuague con agua potable y posteriormente distribuidos en 14 tratamientos (tabla 4.1) de manera aleatoria.

El diseño experimental empleado fue completamente al azar, con arreglo factorial con tres factores: Temperatura: 7, 10, 12 y 20°C (4 niveles), tiempo de almacenamiento 7 y 14 días

(2 niveles) y maduración complementaria 0 y 3 días (2 niveles). El número de repeticiones fue de 4 y el testigo (tto 13) se repitió 8 veces para un total de 60 frutos. Para los ácidos orgánicos y azúcares, el número de repeticiones fue de 2.

**Tabla 4.1.** Temperatura y tiempo de almacenamiento utilizados en la conservación del fruto de arazá.

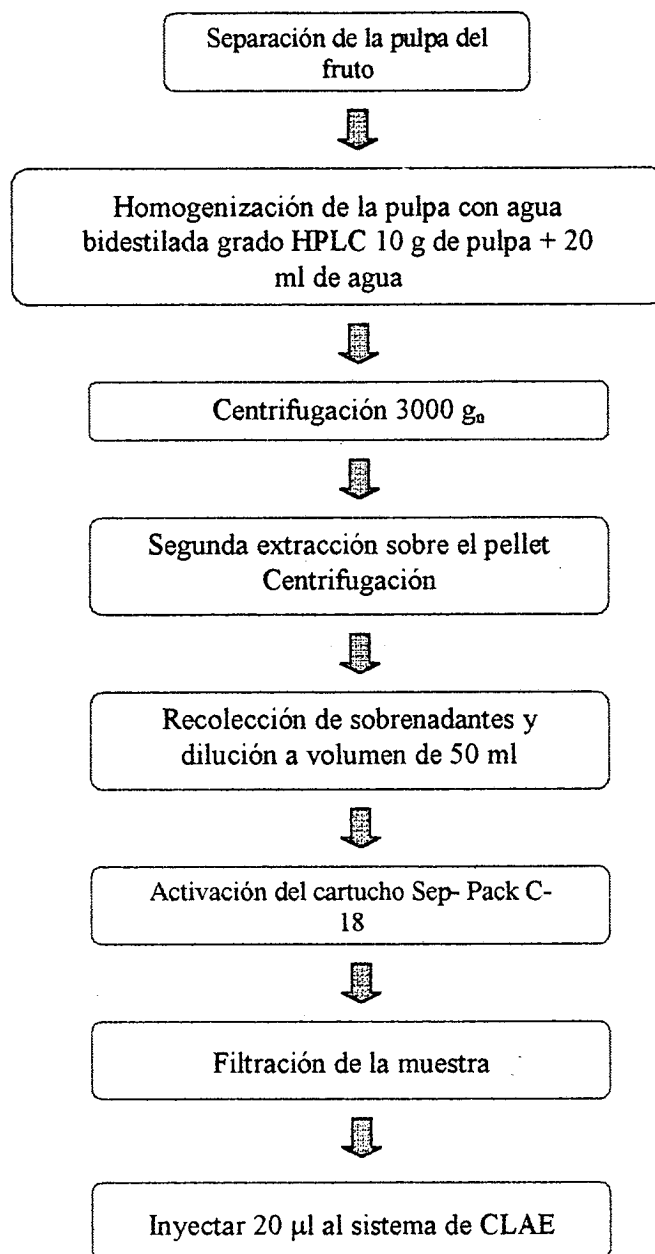
Tratamiento (No.)	Temperatura (°C)	Tiempo (días)	Maduración complementaria (3 días a 20° y 70%H.R.)
1	7	7	0
2	7	7	1
3	7	14	0
4	7	14	1
5	10	7	0
6	10	7	1
7	10	14	0
8	10	14	1
9	12	7	0
10	12	7	1
11	12	14	0
12	12	14	1
13 <sup>y</sup>	20	0	0
14 <sup>z</sup>	20	7	0

<sup>y</sup>Frutos analizados inmediatamente después del acondicionamiento

<sup>z</sup>Frutos control, almacenados en temperatura de maduración.

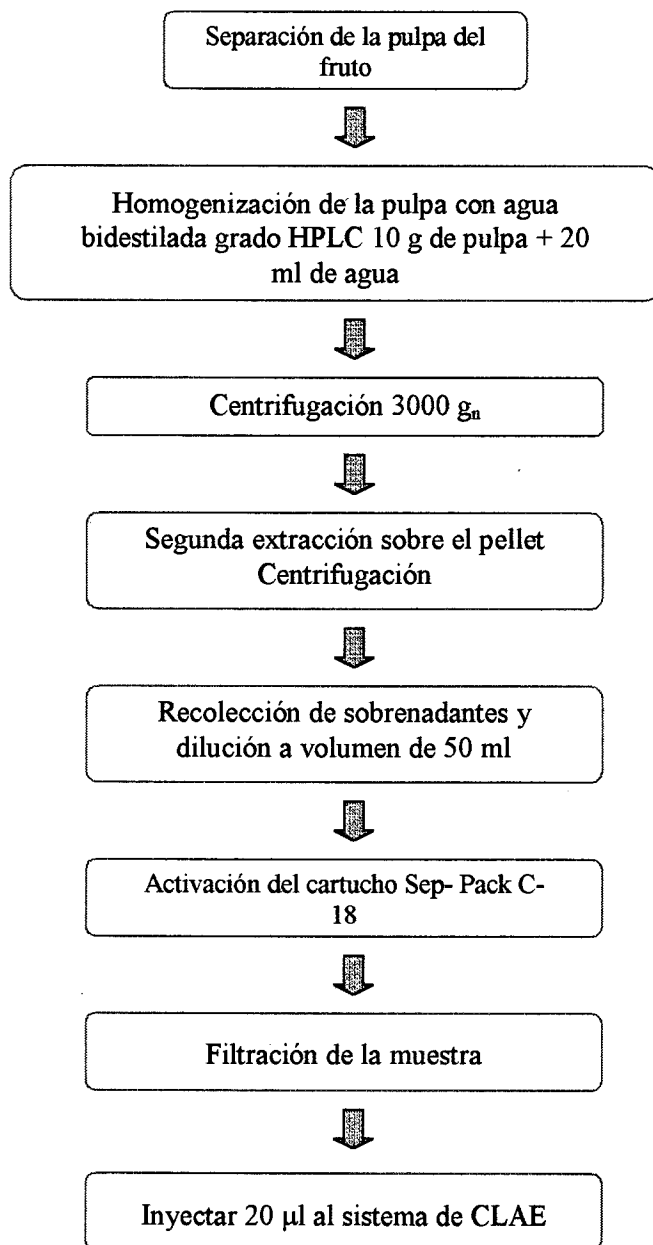
Los parámetros de calidad evaluados en ocho frutos provenientes de las tres réplicas al término de los períodos de almacenamiento fueron: 1) firmeza, medida en un punto por fruto (penetrómetro Effegi 327 Alfonsin, Italia con punzón de 7.9mm), 2) sólidos solubles totales -SST- (refractómetro manual ATAGO, Japón), 3) acidez total titulable ATT (AOAC, 1995; en mmol H<sup>+</sup> · L<sup>-1</sup>), 4) pH (Electrodo Schott Geräte N48A, Glaswerke Mainz, Alemania); ácidos orgánicos 5) málico, 6) succínico, 7) cítrico, y 8) vitamina C; azúcares, 9) sacarosa, 10) glucosa y 11) fructosa; 12) color y parámetros de calidad; 13) pérdida de peso; 14) marchitamiento; 15) daño externo; 16) antracnosis y 17) otras pudriciones.

Los azúcares y los ácidos orgánicos fueron cuantificados por cromatografía líquida de alta eficiencia (CLAE). La metodología empleada en la preparación de muestras para la determinación de azúcares se presenta en la figura 4.1. La extracción de los azúcares se



**Figura 4.1.** Diagrama de flujo de la preparación de muestras para el análisis de azúcares por cromatografía líquida alta eficiencia CLAE.

hizo mediante el licuado de 10g de pulpa con 20 ml de agua bidestilada. La mezcla se centrifugó a 3000 g<sub>n</sub> por 20 minutos. El sobrenadante se recolectó y se repitió la extracción sobre el pellet con otros 20 ml de agua bidestilada. Los sobrenadantes fueron colectados y llevados a volúmen de 50ml. El fluido se filtró a través de cartucho de limpieza de

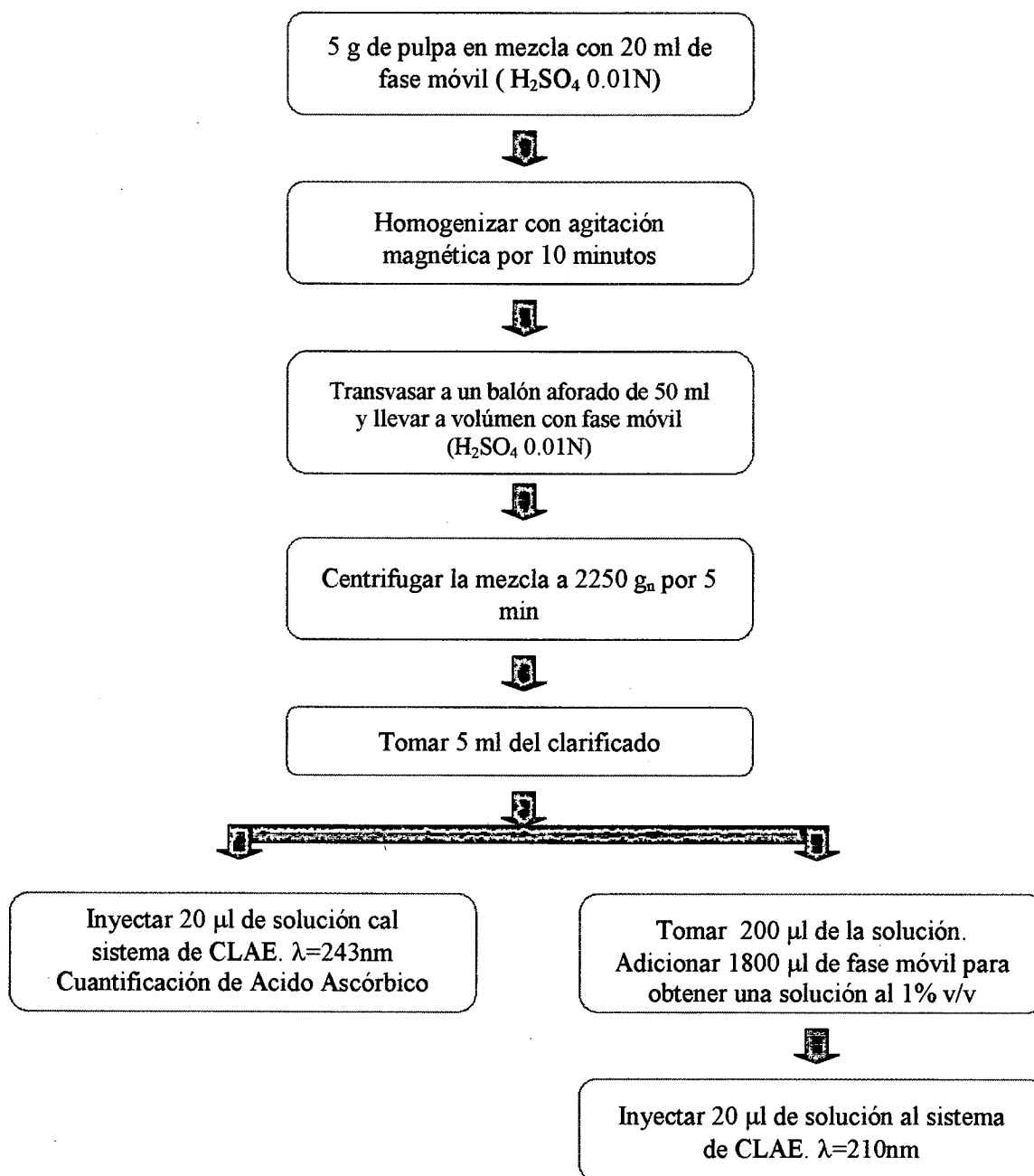


**Figura 4.1.** Diagrama de flujo de la preparación de muestras para el análisis de azúcares por cromatografía líquida alta eficiencia CLAE.

hizo mediante el licuado de 10g de pulpa con 20 ml de agua bidestilada. La mezcla se centrifugó a 3000 g<sub>n</sub> por 20 minutos. El sobrenadante se recolectó y se repitió la extracción sobre el pellet con otros 20 ml de agua bidestilada. Los sobrenadantes fueron colectados y llevados a volumen de 50ml. El fluido se filtró a través de cartucho de limpieza de

muestras Sep-Pack C-18 (Waters, Milford MA) previamente activado con 3 ml de metanol y enjugado con 10 ml de agua bidestilada. La muestra obtenida fue filtrada con membrana de poro 0.45  $\mu\text{m}$  y se inyectó un volumen de 20  $\mu\text{l}$  en el inyector del sistema. El solvente utilizado fue agua bidestilada con un flujo de 0.5  $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ . El sistema consistió en un detector de índice refractométrico (Waters Asociados, Milford, MA) equipado con una columna Sugar Pak a 85°C. Los azúcares identificados y cuantificados por comparación con tiempos de retención y áreas de integración de estándares externos fueron fructosa, glucosa y sacarosa (SIGMA). La fase móvil y el flujo de la bomba empleados se seleccionaron de acuerdo con Moriguchi et al. (1990) y según recomendaciones del fabricante.

Los ácidos orgánicos no volátiles fueron evaluados por CLAE. La extracción se hizo a partir de 5 g de pulpa del fruto, homogenizados con 20 ml de fase móvil (ácido sulfúrico 0.01N) durante 10 min. La mezcla se diluyó a un volumen de 50 ml y se centrifugó a 2250  $g_n$  durante 5 minutos, luego de lo cual una alícuota de 5 ml se filtró con un prefiltro de 0.45  $\mu\text{m}$  y se inyectaron 20  $\mu\text{l}$  en el sistema CLAE compuesto por un cromatógrafo JASCO con un detector UV/VIS UV-9757 y equipado con una columna AMINEX 87-H a temperatura ambiente para la determinación del ácido ascórbico. De la mezcla clarificada se disolvieron 200  $\mu\text{l}$  con 1800  $\mu\text{l}$  de fase móvil para obtener una solución al 1% en extracto de pulpa de fruta en fruta. Una alícuota de 20  $\mu\text{l}$  de la mezcla se inyectó en el sistema de cromatografía. La fase móvil utilizada fue ácido sulfúrico 0.01N (0.6  $\text{ml}\cdot\text{min}$ ), para la determinación de los ácidos málico, cítrico y succínico. Los ácidos málico, cítrico y succínico fueron identificados y cuantificados por comparación con los tiempos de retención y las áreas de integración de estándares externos (SIGMA®) (figura 4.2).



**Figura 4.2.** Diagrama de flujo de la preparación de muestras para la determinación de ácidos orgánicos y vitamina C por Cromatografía líquida alta eficiencia CLAE.

La actividad respiratoria se evaluó con la metodología propuesta por Kader (1992) de atmósfera confinada y que fue empleada para caracterizar el fruto de arazá durante su desarrollo.

El cambio de color en el pericarpio del fruto se evaluó mediante una escala de 1-6: 1 = verde maduro, 2 = 25% de color amarillo, 3 = 50% color amarillo, 4 = 75% color amarillo, 5 = 100% color amarillo intenso (color característico) y 6 = amarillo cobrizo asociado a sobremadurez (Capítulo 3. tabla 3.8). La pérdida de peso se midió sobre 8 frutos provenientes de las 3 réplicas, mientras que el marchitamiento, las lesiones externas, la antracnosis y otro tipo de pudriciones se midieron sobre la totalidad de la muestra y se reportó como el porcentaje de frutos afectados en las diferentes épocas de muestreo, en cada una de estas categorías.

Los síntomas de daño por frío escaldadura se evaluaron utilizando una escala de 0 a 5 (5= sanos; 4 y 3= desorden muy ligero y ligero; 2 y 1 = daño moderado o severo). Los frutos con daño severo o moderado no fueron comercialmente aceptables y se consideran como pérdidas.

La identificación de hongos fitopatógenos se llevó a cabo de acuerdo con la metodología de Fernández-Trujillo et al. (1997). Se tomaron áreas de tejido afectado, el cual se desinfectó con hipoclorito de sodio al 2.5% durante 1.30 minutos. El tejido desinfectado se secó con papel de filtro estéril y se transfirió al medio de cultivo PDA, en caja de petri, poniendo en contacto la parte enferma con el medio. Las cajas fueron incubadas a 22°C por 3 días (French et al, 1980).

La identificación taxonómica de los hongos se hizo por microscopía y por comparación de claves de hongos imperfectos (Barneth, 1985).

Las variables estudiadas se sometieron a análisis de varianza con el programa SAS 6.2. El diseño experimental fue completamente al azar. Se realizó un análisis de varianza con los siguientes factores principales: Temperatura: 7, 10, 12 y 20°C; tiempo de almacenamiento (1 y 2 semanas) y período de maduración complementaria (0 y 3 días).

Se realizó la prueba de Tukey para las interacciones de 4 grado que resultaron

significativas. Debido a que la evolución de la pérdida de peso se analizó sobre los mismos frutos, esta variable se analizó estadísticamente bajo una estructura de parcelas divididas en el tiempo (Steel y Torrie, 1985).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Características fisiológicas y fisicoquímicas del fruto de Arazá durante el almacenamiento a bajas temperaturas.**

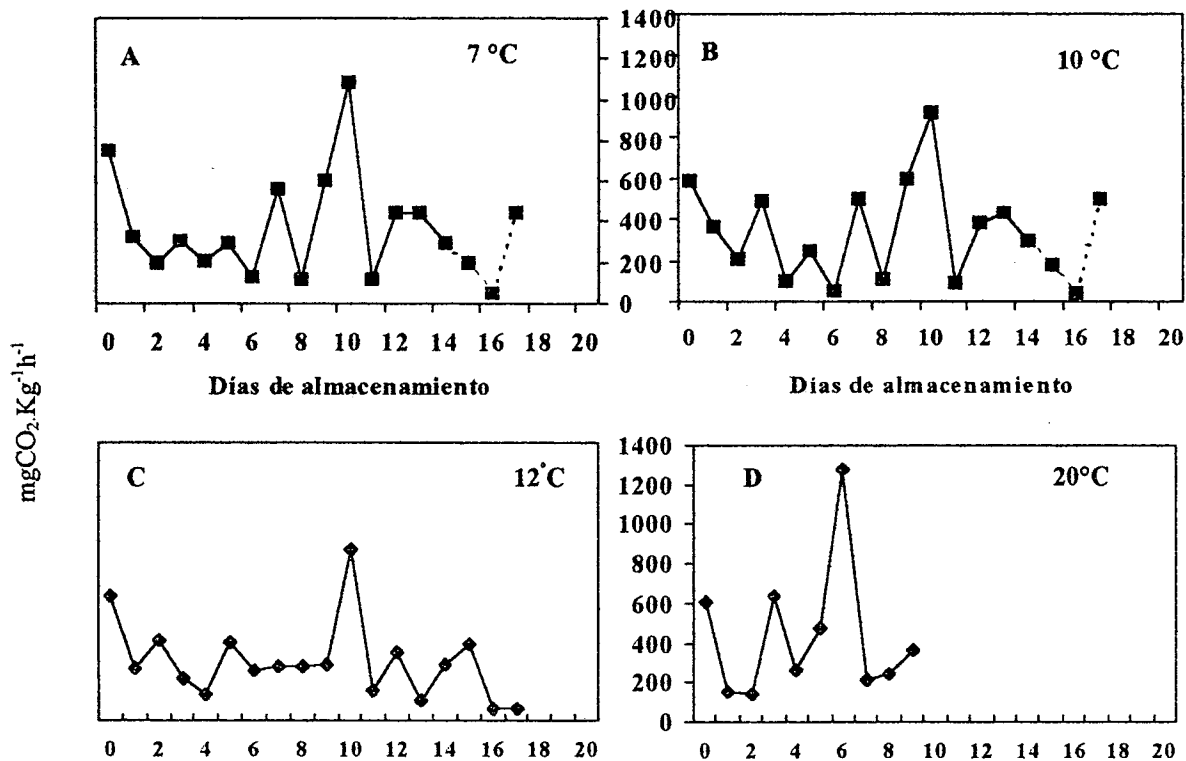
#### **Actividad respiratoria**

La actividad respiratoria del arazá (AR) (figura 4.3), con valores promedios de  $600 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  a temperatura de  $20^\circ\text{C}$  (figura 4.3D), lo clasifica como un fruto de actividad metabólica muy intensa acorde con la clasificación propuesta por Nakasone y Paull (1998), donde los frutos de alta actividad metabólica como la guanabana exhiben actividades respiratorias superiores a  $300 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Dicho comportamiento sugiere una efímera vida de poscosecha, lo que está de acuerdo con Pinedo et al. (1981), quienes observaron que tras 3 días a  $25^\circ\text{C}$  se presentan síntomas de senescencia severos.

El fruto de arazá a  $20^\circ\text{C}$  alcanzó su máximo de intensidad respiratoria o pico climatérico a los 5 días (figura 4.3 D), mientras que en las otras temperaturas el máximo climatérico se presentó a los 10 días de almacenado. Los frutos a  $12^\circ\text{C}$  continuaron el proceso de maduración, pero los almacenados a  $7$  ó  $10^\circ\text{C}$  presentaron un comportamiento irregular con tasas muy elevadas de actividad respiratoria (figuras 4.3 A y B), lo que puede ser una posible respuesta a la descompartmentalización celular, desacoplamiento de la fosforilación oxidativa y cambios degenerativos en tejidos, habitualmente como respuesta al frío en algunos frutos (Lyons y Breidenbach, 1990; Saltveit y Morris, 1990; Wang 1982, 1994). Piga et al. (2000) reportan que para el caso de un fruto no climatérico como la

naranja Salustiana, la alta actividad respiratoria puede estar asociada con el daño por frío.



**Figura 4.3.** Actividad respiratoria de frutos individuales ( $n=3$ ) de arazá almacenados a temperatura de (A) 7°C, (B) 10°C, (C) 12°C 90% H.R. y (D) 20°C. La línea punteada corresponde a la maduración complementaria a 20°C y 70% H.R.

En la tabla 4.2 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza para los parámetros físico-químicos; en general se encontraron diferencias estadísticas al 5% y al 1%, tanto para efectos principales como para interacciones de segundo y tercer grado, por lo que ésta última será la que se analizará mediante tablas de promedios o figuras para cada carácter.

## Firmeza

La firmeza de los frutos de arazá disminuyó durante el período de almacenamiento, no evidenciándose diferencias entre frutos a las temperaturas probadas, ni el tiempo de almacenamiento (tabla 4. 3).

En el momento de recolección la firmeza fue mayor a 40 N, mientras que al final del mismo estuvo cercana a 10 N en todos los tratamientos, principalmente en aquellos almacenados a 12 (tabla 4.2).

**Tabla 4.2.** Análisis de varianza de parámetros fisicoquímicos de frutos de arazá almacenados por 1 o 2 semanas en 3 temperaturas de refrigeración (7, 10, 12°C) más un período de 3 días de maduración complementaria a 20°C y control tras 7 días a 20°C.

Fuentes de variación	G.L	Firmeza	pH	Acidez	Acido Malico	Acido Succínico	Acido Cítrico	Acido Ascorbico
Temperatura	3	247**	0.33**	73217**	60094**	158.3**	5.37**	121.4**
Tiempo almacen (TA)	2	1151**	0.23**	13219**	8420**	684**	6.1**	308**
Temperatura x TA	2	3.37 ns	0.13**	7571**	47952**	6.12 ns	10.7**	99*
MC	1	727**	0.08**	13366**	57594**	13 ns	11.3**	90.5*
Temperatura x MC	2	24.8 ns	0.015	3499 ns	26846**	213**	3.8**	13.5 ns
TA x MC	1	413**	0.14**	10472**	16260**	81.7**	0.003 ns	482.4**
Temp. x TA x MC	2	16.6 ns	0.01 ns	29182**	36376**	91.5**	15.1**	73.38*
Error	46	28.04	0.009	1282	836.1	5.76	0.29	19.8

<sup>2</sup> Probabilidad: \*\*, \*\* significativo P= 0.05 y 0.01 respectivamente. ns: no significativo.

La firmeza de los frutos de arazá no presentó diferencias entre tratamientos tras 2 semanas y un período de maduración complementaria (tabla 4.3). Dados los síntomas de incapacidad para madurar a 7°C, es posible que daños por frío internos hayan contribuido a esta reducción de firmeza. Los resultados contrastan con los descritos para arazá a 8°C, en los cuales la lesión asociada a daño por frío fue la de endurecimiento del mesocarpio acompañado de incapacidad para madurar (Galvis y Hernández, 1993).

Además de una pérdida de firmeza debido a un proceso bioquímico, por degradación de la lámina media de la pared celular, las causas para la falta de firmeza en el fruto de arazá pueden encontrarse en la carencia de tejido de sostén, al igual que en la estructura del epicarpio, de carácter delgado y monoestratificado con una delgada cutícula cerosa (foto 4.2-4.3). Contribuye al carácter blando del fruto maduro, las características del parénquima del mesocarpio de células grandes, altamente vacuoladas, con paredes delgadas carentes de tejido de sostén.

**Tabla 4.3.** Valores promedios de firmeza, pH, acidez y °Brix a las diferentes temperaturas ensayadas, días de almacenamiento y período de maduración complementaria (MC) de 3 días a 20°C y 70% H.R. (n=8)

Tratamiento			Firmeza (N)	PH	Acidez mmol H <sup>+</sup> L <sup>-1</sup>	°Brix(%)
Temperatura	Días	MC				
20	0	0	34.6	2.8	380.0	4.1
7	7	0	26.0	2.7	444.3	4.1
7	7	1	13.5	2.9	448.5	4.1
7	14	0	12.5	2.6	571.3	3.8
7	14	1	10.7	2.7	437.5	3.6
10	7	0	29.1	2.7	441.3	4.2
10	7	1	10.4	2.9	329.5	4.6
10	14	0	14.2	3.0	333.0	4.1
10	14	1	11.8	2.9	386.0	3.8
12	7	0	20.4	2.8	377.3	4.8
12	7	1	10.6	3.0	296.0	4.9
12	14	0	9.8	3.1	298.0	5.1
12	14	1	8.3	3.0	367.3	5.0
<b>DMSTukey 5%</b>			ns	ns	105.6	ns

ns: no significativo

### Acidez total titulable y pH

El pH del fruto de arazá aumentó en los frutos almacenados a 10 y a 12°C, al igual que los frutos mantenidos a 20°C. Esta respuesta fue inversa a la de la acidez total titulable, que disminuyó durante el mismo período. Los ácidos orgánicos constituyen la reserva energética del fruto, con lo cual, la acidez disminuye durante la maduración como consecuencia de la alta intensidad respiratoria del arazá (figura 4.3 D tabla 4.3). Coincide este comportamiento con el mostrado por el mango, la guayaba entre otras especies con

frutos climatéricos (Ali y Lazan, 1997; Mitra y Baldwin, 1997). En los frutos a 7°C, la acidez aumentó durante las dos semanas de almacenamiento con un promedio total de incremento del 13%. Dicho comportamiento puede estar asociado con lesiones por el frío, de acuerdo con Wang (1997), quien encontró acidificación en los tejidos de pepino cohombro afectados por temperaturas inferiores a la crítica.

### **Ácidos orgánicos**

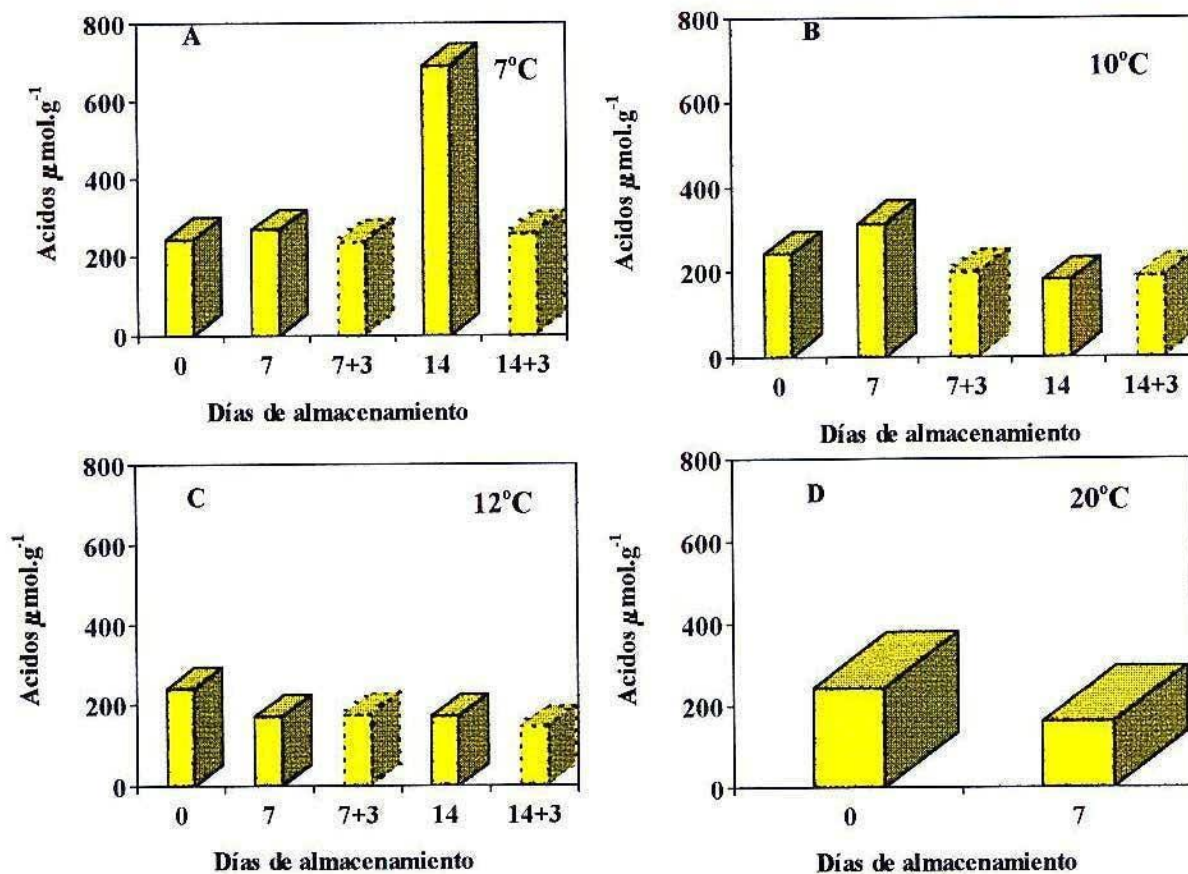
Los ácidos orgánicos málico, succínico y cítrico (figura 4.4 y 4.5B-D) disminuyeron excepto a 7°C de manera significativa durante el período de almacenamiento y los períodos de maduración complementaria, coincidiendo con la tendencia de la acidez total titulable (ATT). Esta respuesta coincide con la tendencia de otros frutos como el loquat en condiciones de almacenamiento similares (Ding et al., 1998). La respuesta opuesta en frutos almacenados a temperatura de 7°C la respuesta fue opuesta, con aumento de la acidez y disminución del pH, en un claro proceso de acidificación, lo que sugiere un desorden al nivel de la actividad de enzimas del ciclo de Krebs que podría deberse al daño por frío (Wang, 1982). El aumento de la acidez total obedece al aumento significativos de los ácidos málico, succínico y cítrico en esta temperatura (figuras 4.4 y 4.5). Tras la maduración complementaria disminuye la concentración de ácido málico pero aun así las concentraciones siguieron siendo superiores a los de los frutos conservados a 10 y 12°C.

La disminución de ácidos orgánicos coincide con altas tasas respiratorias, algo común a muchas frutas (Wills et al., 1998) y evidencia que estos ácidos forman parte de la reserva energética del fruto, al igual que ocurre en frutos de la misma familia como la guayaba (Ali y Lazan, 1997) o en loquat (*Eryobotrya japonica* Lindl cv. Mogi N.C.) almacenados en condiciones similares (Ding et al., 1998).

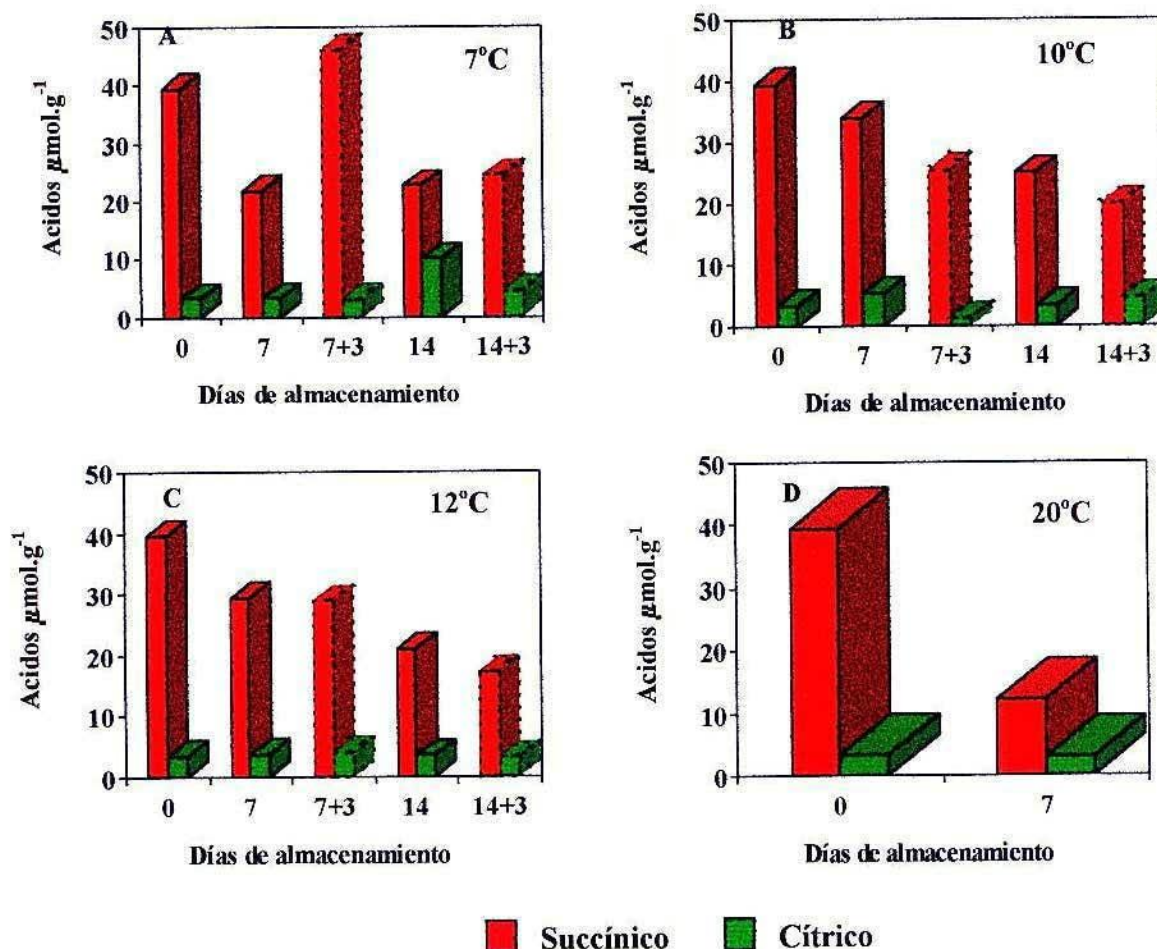
### **Ácido ascórbico**

El ácido ascórbico disminuyó en todos los tratamientos evaluados (figura 4.6). La mayor

disminución se presentó en los frutos almacenados a 10°C cuyo contenido tras dos semanas de almacenamiento fue el 66%, de la concentración inicial. En los frutos a 7°C la concentración de ácido ascórbico aumentó significativamente (tabla 4.2) hasta 40 ppm, tras 7 días de almacenamiento para luego disminuir durante la siguiente semana de almacenamiento. Este comportamiento podría asociarse con un mecanismo de resistencia al daño por frío, tal como lo han reportado Mercado-Silva et al. (1999) para frutos de guayaba.



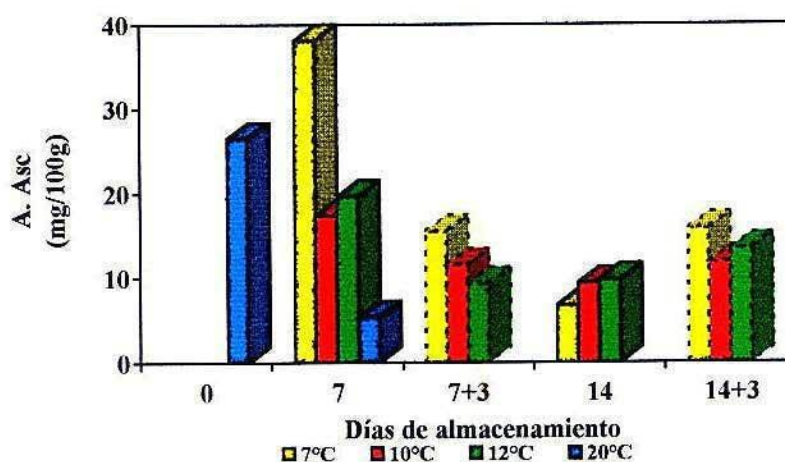
**Figura 4.4.** Evolución del contenido del ácido málico, durante el almacenamiento de los frutos de arazá a temperatura de 7(A), 10(B) 12(C) y 20°C(D) con o sin período de MC de 3 d a 20°C (n=2). La línea punteada corresponde al período de maduración complementaria (MC).



**Figura 4.5.** Evolución del contenido de los ácidos succínico y cítrico, durante el almacenamiento de los frutos de arazá a temperatura de 7(A), 10(B) 12(C) y 20°C(D) con o sin período de MC de 3 d a 20°C (n=2). La línea punteada corresponde al período de maduración complementaria (MC).

Era de esperar que durante el almacenamiento se presentara disminución del ácido ascórbico, la cual es directamente proporcional a la temperatura y al tiempo de almacenamiento (Lee y Kader, 2000). En el caso de arazá, la menor degradación del ácido ascórbico a temperatura de 7°C es completamente opuesta al comportamiento de otros frutos sensibles al frío como la piña y la banana, que pierden más ácido ascórbico a

temperatura inferior a la crítica. Dicho aumento puede obedecer a un mecanismo de resistencia. Los frutos a 12°C mostraron disminución del contenido de ácido durante el tiempo de almacenamiento y aumento durante el período de maduración complementaria, indicando que la maduración prosigue normalmente (figura 4.6). Los contenidos de ácido ascórbico de los frutos almacenados a 12°C durante 7 días y trasladados a maduración complementaria disminuyeron de manera significativa, indicando una posible lesión por frío como lo indican Lee y Kader (2000).



**Figura 4.6.** Evolución del contenido de Acido ascórbico durante el almacenamiento de los frutos de arazá a temperatura de 7, 10 12(C) y 20°C con o sin período de MC de 3 días a 20°C (n=2). La línea punteada corresponde al período de maduración complementaria (MC).

### Sólidos Solubles Totales

En la tabla 4.4 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza para los parámetros SST y azúcares. Se encontraron diferencias estadísticas al 5% y 1%, tanto para efectos principales como para interacciones de segundo y tercer grado, por lo que ésta última será la que se analizará mediante tablas de promedios o figuras para cada variable.

Los sólidos solubles totales aumentaron significativamente, a la par con los azúcares, en frutos almacenados a 20°C (tablas 4.3 y 4.4), al igual que lo hicieron en frutos a 12°C, hasta

valores de 6%. En el caso de frutos almacenados a 7 y 10°C no hubo aumento alguno aun después del período de maduración complementaria a 20°C.

**Tabla 4.4.** Análisis de varianza de parámetros fisicoquímicos de frutos de arazá por 1 o 2 semanas almacenados en 3 temperaturas de refrigeración (7, 10, 12°C) más un período de 3 días de maduración complementaria a 20°C y control tras 7 días a 20°C.

Fuentes de variación	G.L.	Brix %	Sacarosa	Glucosa	Fructosa
Temperatura	3	3.66**	1.02**	1.6**	1.66**
Tiempo almacen (TA)	2	1.54**	0.68**	0.76**	0.86*
Temperatura x TA	2	0.55**	2.61**	4.1**	0.94**
MC	1	0.007 ns	0.6*	0.73*	0.8*
Temperatura x MC	2	0.01	1.29**	0.96**	1.42**
TA x MC	1	0.48**	0.66**	2.40**	0 ns
Temp. x TA x MC	2	0.07	1.04**	0.82**	0.4 ns
Error	46	0.04	0.07	0.09	0.14

\* Probabilidad: \*, \*\* significativo P= 0.05, 0.01 respectivamente ns, no significativo

A bajas temperaturas la actividad enzimática se hace más lenta y en aquellos casos en que los frutos son almacenados a temperatura por debajo de la crítica, lo más probable es que su actividad no se reinicie a pesar que los frutos sean trasladados a temperatura mayores, después del período de estrés, caso en el cual se pensaría en un daño irreversible del metabolismo del fruto.

### Azúcares

Los azúcares identificados en el fruto de arazá fueron sacarosa, glucosa y fructosa (figura 4.7 A, B y C). Los contenidos de sacarosa, glucosa y fructosa aumentaron en el fruto de arazá de manera significativa durante el período de almacenamiento en las temperaturas de 12 y 20°C (tabla 4.4 y figura 4.7) Este proceso en las frutas resulta del desdoblamiento de las reservas amiláceas, y la conversión de la sacarosa en glucosa y fructosa por acción de las enzima invertasa ácida y sacarosa sintasa, responsables de la hidrólisis de la sacarosa (Yamaki, 1995) En frutos como la chirimoya Cano-Medrano y Darnell (1997) reportan similares comportamientos.

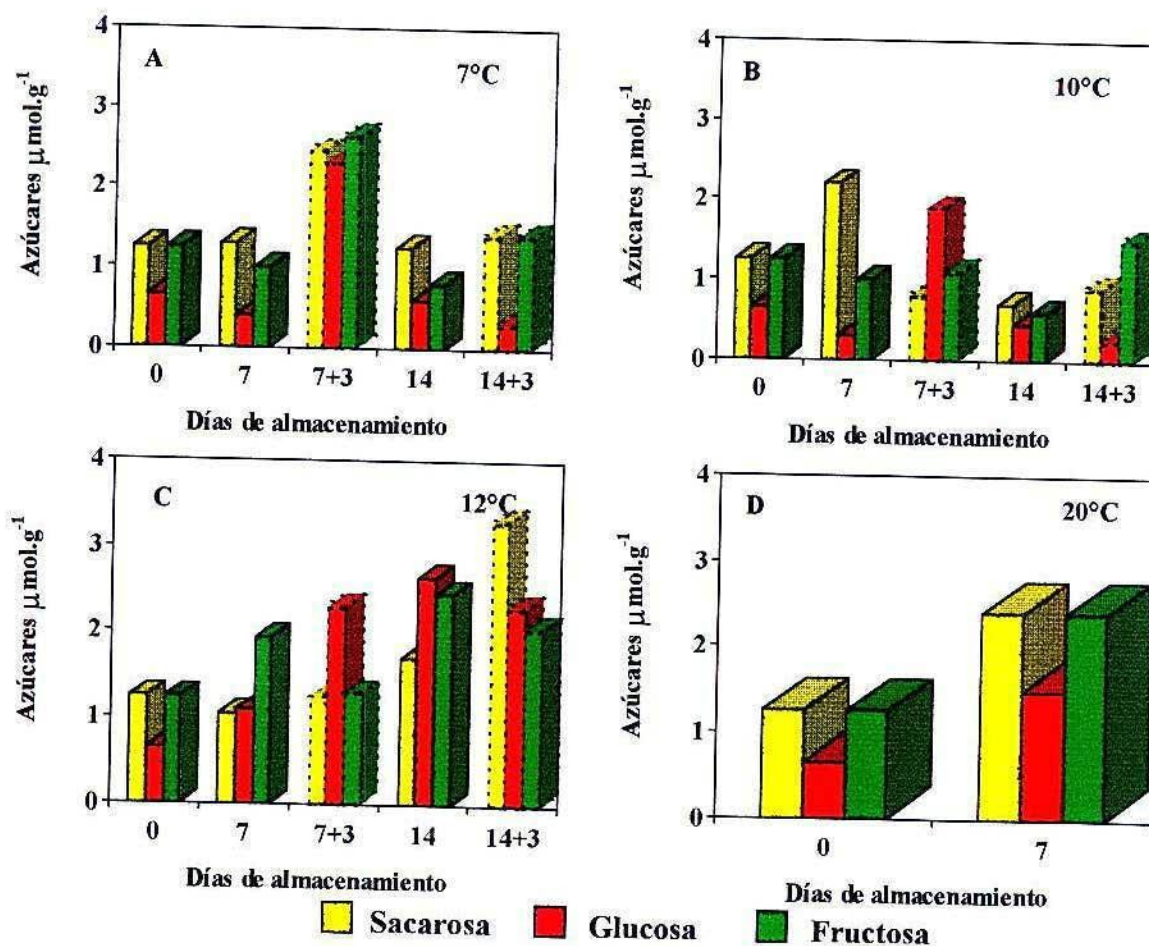
Los frutos almacenados a 7°C, por el contrario, no presentaron incremento de sacarosa

durante el período de almacenamiento (2 semanas), sugiriendo una disminución de la actividad de dichas enzimas como una posible manifestación de daño por frío. Cuando los frutos almacenados a 7°C de temperatura fueron llevados a temperatura de maduración complementaria después de alcanzar la primera semana de almacenamiento, se presentó un incremento significativo del contenido de este azúcar (figura 4.7 A). Dicho comportamiento sugiere que durante la primera semana del almacenamiento el daño por frío podría ser de tipo reversible, sin modificar en forma definitiva el mecanismo de degradación del almidón, tal como sucede con la chirimoya almacenada a 4 o 1°C, en la cual se reinicia la hidrólisis del almidón después de 3 días de ser trasladada a temperatura de 22°C (Gutiérrez et al., 1994).

Un comportamiento similar lo presentaron los frutos almacenados a 10°C, en los cuales no se presentó ningún aumento de sacarosa durante las dos semanas de almacenamiento y solo al final de la segunda semana de almacenamiento se encontró un moderado aumento. A 12°C el proceso de maduración continuó durante las dos semanas de almacenamiento, tal como se evidencia por el aumento de sacarosa durante dicho período y en la madurez complementaria, hasta alcanzar los mayores niveles de los frutos conservados en refrigeración (figura 4.7 B y C).

La glucosa y la fructosa presentaron comportamientos similares, bajas concentraciones durante las dos semanas de almacenamiento a temperaturas de 7 y 10°C y aumento durante la maduración complementaria tras la primera y la segunda semanas de almacenamiento. En temperatura de 12°C, por el contrario, los dos azúcares aumentaron durante las dos semanas de almacenamiento. El contenido de glucosa de los frutos continuo aumentando durante la maduración complementaria tras la primera semana de almacenamiento, mientras que la fructosa disminuyó. Los contenidos de glucosa y fructosa disminuyeron en la maduración complementaria, después de la segunda semana de almacenamiento como consecuencia del consumo de reservas que ocurre en el fruto durante este período e incrementada por la temperatura de 20°C a la cual los frutos fueron trasladados. Similar comportamiento encontró Arjona (1992) en frutos de maracuyá almacenados a 10°C, en los

cuales los contenidos de sacarosa y glucosa aumentaron.



**Figura 4.7.** Evolución del contenido de Sacarosa, Glucosa y Fructosa durante el almacenamiento de los frutos de araza a temperatura de (A)7, (B)10, (C) 12 y (D)20°C con o sin período de maduración complementaria de 3 días a 20°C y 70% H.R. (n=2). La línea punteada corresponde a los períodos de maduración complementaria.

El contenido de azúcares en el fruto de arazá difiere de manera general del que presenta la guayaba, *Psidium guava* de la misma familia *Myrtaceae*, en la cual el azúcar predominante es la fructosa, seguida por la glucosa y la sacarosa, mientras que en el fruto de arazá, es este

último el azúcar predominante (Ali y Lazan, 1997). Sin embargo, el aumento de azúcares presentado en los frutos almacenados en 12°C coincide con lo enunciado por los mismos autores, cuando afirman que durante la maduración de la guayaba los azúcares totales generalmente aumentan, como resultado de la hidrólisis del almidón. De igual manera sucede con otras frutas tropicales como mango y piña (Morales, 2001; Pantástico et al., 1984; Wills et al., 1998).

### **Calidad del fruto**

En la tabla 4.5 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza para los parámetros de calidad: color, pérdida de peso, daño por frío, antracnosis y otras pudriciones. Se encontraron diferencias estadísticas significativas al 5% y al 1%, tanto para efectos principales como para interacciones de segundo y tercer grado, por lo que ésta última será la que se analizará mediante tablas de promedios o figuras para cada carácter.

### **Color del epicarpio**

Los frutos mantenidos a 20°C mostraron un cambio de color del epicarpio de verde mate a amarillo característico, en la escala establecida durante la maduración del fruto, el color pasó de 1 a 6, lo cual significa un cambio de verde a amarillo (figura 4.8) Este proceso se ha atribuido por Pantastico (1984) a la degradación de la clorofila (por acción de las clorofilasas) y la síntesis o el desenmascaramiento de pigmentos carotenoides responsables del color amarillo en guayaba y mango.

En los frutos almacenados en temperaturas de 7 y 10°C los frutos no desarrollaron su color característico ni durante el almacenamiento refrigerado, ni después de ser trasladados a la temperatura de maduración complementaria (foto 4.4). Los frutos almacenados a 7°C permanecieron de color verde y presentaron desuniformidad del color amarillo en el epicarpio.

Los frutos refrigerados a 12°C alcanzaron el cambio total de color durante el almacenamiento de 2 semanas, llegando al grado 4 de color y al grado 6 durante la maduración complementaria. Dicho comportamiento coincide con el de la sacarosa, la cual aumentó en frutos almacenados en temperaturas superiores a la crítica. En el caso contrario, cuando se evidenció el daño por frío, la maduración del fruto se vio interrumpida, con la consecuente pérdida de calidad, disminución de las características propias del fruto y susceptibilidad a daños y enfermedades.

**Tabla 4 5.** Cuadrados medios del análisis de varianza para los parámetros de calidad de frutos de arazá almacenados por 1 o 2 semanas en 3 temperaturas de refrigeración (7, 10, 12°C) más un período de 3 días de maduración complementaria a 20°C y control tras 7 días a 20°C.

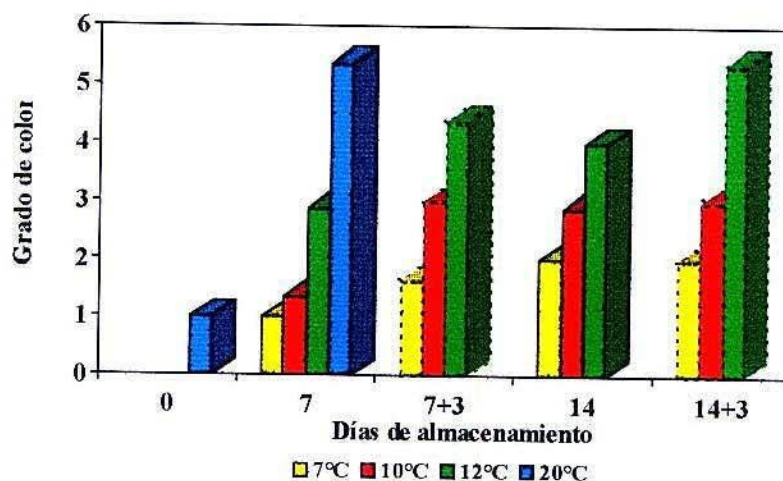
Factores	G.L	Color	Marchitamiento	Daño por frío	Antracnosis.	Otras pudriciones <sup>7</sup>
Temperatura	3	29.8**	249.5**	1405.9**	745.7**	233**
Tiempo de Almacenamiento (TA)	2	12.8**	1138.1**	42.25**	1704.8**	450**
Temperatura x TA	2	0.5 ns	14.1	300.5**	50.77**	30**
Maduración Complementaria (MC)	1	12.0**	283**	13.1	920**	251**
Temperatura x MC	2	1.5ns	4.1	178.6**	15.44	88**
TA x MC	1	3.0*	10	30.25**	69.44**	34**
Temp.xTA x MC	2	1.2ns	85.19**	46.08**	24.11*	21**
Error	31	0.6	9.89	4.79	5.54	1.07

<sup>7</sup> *Curvularia* sp. <sup>2</sup> Probabilidad: \*, \*\* significativo P= 0.05, 0.01 respectivamente ns, no significativo

### Pérdida de peso

Las pérdidas de peso fueron significativamente superiores al 10% en todos los tratamientos evaluados, lo cual hace difícil el mercadeo del producto en fresco refrigerado únicamente (tabla 4.6 y 4.7), teniendo en cuenta el sistema de comercialización, por peso de frutos. Se hace necesario combinar la refrigeración con otras técnicas de conservación como la atmósfera modificada. La mayor pérdida de peso la registraron los frutos a 7°C, con un valor promedio de 23%, asociada a la mayor marchitez (30%) y a una clara interrupción del proceso de maduración (foto 4.4-4.5). Este es un comportamiento atípico de la pérdida de peso si se considera la regla de que a menor temperatura, la disminución del metabolismo es mayor (Wills et al., 1998). Dicho comportamiento puede ser, en parte, debido a una

mayor actividad respiratoria inducida por el daño por frío (figura 4.3A).



**Figura 4.8.** Evolución del color de la epidermis durante el almacenamiento de los frutos de arazá a temperatura de 7, 10, 12, y 20°C con o sin período de maduración complementaria (3 días a 20°C y 70% H.R líneas punteadas) (n=8).

A 10°C el porcentaje de pérdida de peso fue significativamente menor, de 11% (tabla 4.6), mientras que a 12°C las pérdidas alcanzaron el 18% tras el almacenamiento y los 3 días de maduración complementaria. En este caso existe una relación directa de mayor temperatura, mayor actividad metabólica y en consecuencia mayor pérdida de peso. Sin embargo, resulta indeseable tener niveles tan altos de pérdida de peso.

### Marchitamiento

El marchitamiento varió de manera altamente significativa entre los diferentes tratamientos y estuvo asociado al ataque de antracnosis en frutos a 7 y a 10°C, lo cual coincide con lo reportado para chirimoya por Gutierrez et al. (1994), quienes encontraron que a mayor marchitamiento la susceptibilidad del fruto a patógenos aumentó.

La marchitez de los frutos de arazá aumentó de manera significativa acorde con el aumento de temperatura. Mientras los frutos almacenados a 12°C exhibieron un porcentaje de

marchitamiento del 26%, los frutos a 10°C presentaron un porcentaje de marchitamiento n mayores a 20%. En contraste, el mayor porcentaje de marchitamiento, 30%, lo presentaron los frutos almacenados a 7°C. Esta respuesta puede asociarse a una alta respiración del fruto inducida por frío (figura 4.3). Los frutos en esta condición presentaron escaldaduras e incapacidad para madurar. Saltveit y Morris (1990) y Jackman et al. (1988) afirman que uno de los efectos del daño por frío es la aceleración del inicio de la senescencia, así como aumento de la pérdida de peso que conduce al marchitamiento de los frutos. Letang (1997) coincide con este planteamiento y menciona que a mayor deshidratación del fruto hay mayor producción de etileno, que conduce más rápidamente al inicio de la senescencia.

**Tabla 4.6.** Cuadrados medios del análisis de varianza para pérdida de peso en frutos de arazá almacenados por 1 o 2 semanas(TA) en 3 temperaturas de refrigeración (7, 10, 12°C) 90-95% H.R más un periodo de 3 días de maduración complementaria a 20°C y control tras 7 días a 20°C.

Fuente de variación	G.L.	Pérdida de peso
Temperatura	3	233**
MC	1	92**
Temperatura x MC	2	4 ns
Error A	21	12.5
Tiempo almacenam.(TA)	1	521**
Temperatura x TA	2	52**
MC x TA	1	20*
Temp.x MC x TA	2	3 ns
Error B	18	4

<sup>2</sup> Probabilidad: \*,\*\* significativo P= 0.05 y 0.01 respectivamente. ns: no significativo

### **Daño por frío - Lesiones externas**

Los frutos de arazá presentaron marchitez, escaldadura del epicarpio y antracnosis como principales causas de pérdida de calidad. Se encontró que en las temperaturas de 7 y 10°C se presentó la mayor incidencia de la escaldadura del epicarpio, con un 30%, seguido con un 27% en frutos a 10°C, después de 2 semanas de almacenamiento. Por el contrario, los frutos mantenidos a 12°C no presentaron incidencia de este desorden (tabla 4.7), confirmando las observaciones de Galvis y Hernández (1993), quienes recomiendan

almacenar el fruto de arazá a temperaturas superiores a 11°C, ya que de lo contrario se induce el daño por frío caracterizado por la lesión del epicarpio, así como por la interrupción del proceso normal de maduración del fruto. Saltveit y Morris (1990) asocian las lesiones externas de los frutos con la pérdida de agua. Debido a que tras el “encharcamiento” de los tejidos, viene la evaporación del agua. Si el encharcamiento se ha producido en las áreas cercanas al epicarpio esta evaporación deja como resultado depresiones y hundimientos en el tejido.

La respuesta del fruto de arazá a la conservación a bajas temperaturas confirma las observaciones de Galvis y Hernández (1993), en frutos de arazá de la Amazonia oriental colombiana, quienes encontraron que los frutos almacenados a temperaturas inferiores de 11°C muestran síntomas de daño por frío, con interrupción del proceso de maduración y aumento de la firmeza del mesocarpio

#### **Antracnosis (*Gloeosporium* sp.)**

La antracnosis, causada por *Gloeosporium* sp, fue otra de las alteraciones del fruto de arazá durante su almacenamiento a baja temperatura. Se encontró una relación directa entre la mayor marchitez, la mayor pérdida de peso y la ocurrencia del patógeno. En las temperaturas de 7 y 10°C, el porcentaje de frutos afectados fue del 23 y del 30% respectivamente, mientras que a 12°C no sobrepasó el 20% (tabla 4.3). Por otra parte, los frutos mantenidos a 20°C presentaron el 28% de incidencia de la enfermedad. La antracnosis en arazá pudo iniciarse en los primeros estados de desarrollo del fruto y presentar su mayor incidencia en el período de posrecolección, lo cual coincidiría con lo observado por Reyes y Paull (1995) y Ali y Lazan (1997) para el fruto de guayaba, especie de la misma familia *Myrtaceae*.

Los frutos almacenados en temperatura por debajo de la temperatura crítica, de 12°C, presentaron la mayor incidencia del ataque de *Gloeosporium* sp., lo cual puede explicarse en el hecho de que los frutos con daño por frío resultan más susceptibles a la pudrición y a

ataques de patógenos, como resultado de los cambios metabólicos que se producen (Saltveit y Morris, 1990).

**Tabla 4.7.** Valores promedio para los parámetros de calidad en las diferentes temperaturas, tiempos de almacenamiento y madurez complementaria.

Tratamiento			Pérdida de peso (%)	Marchitamiento (%)	Antracnosis (%)	Daño por Frío (%)	Pudrición (%)
Temperatura	TA	MC					
20	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	7	0	12.1	10.0	0.0	16.7	0.0
7	7	1	14.7	16.7	10.0	20.0	0.0
7	14	0	22.3	23.3	16.7	25.0	10.0
7	14	1	23.4	30.0	23.3	30.0	10.0
10	7	0	5.0	0.0	0.0	10.0	0.0
10	7	1	11.0	12.7	18.7	18.7	10.0
10	14	0	9.8	20.3	23.3	31.7	10.0
10	14	1	11.2	19.3	30.0	27.7	21.7
12	7	0	7.7	12.7	0.0	0.0	0.0
12	7	1	11.2	13.3	10.0	0.0	0.0
12	14	0	16.4	18.7	10.0	0.0	0.0
12	14	1	18.2	26.7	18.7	0.0	10.0
<b>DMSTukey 5%</b>			ns	9.4	7	6.5	3
ns: no significativo							

### Otras pudriciones

Se encontraron algunos patógenos afectando los frutos almacenados en condiciones de refrigeración y en frutos control. La incidencia de estas pudriciones fue significativamente mayor en la temperatura de 10°C (21 %) tras dos semanas de almacenamiento, mientras que no hubo diferencias tras la primera semana de almacenamiento (tabla 4.5 y 4.7). Las pudriciones en el fruto aumentaron significativamente en los períodos de maduración complementaria tras 7 y 14 días de almacenamiento. Coincide este comportamiento con el que se presentó en la incidencia de antracnosis (30 %) (tabla 4.7), con lo cual se puede sugerir que en esta temperatura los frutos de arazá fueron más susceptibles a la incidencia de patógenos.

Por el contrario en la temperatura crítica de almacenamiento, 12°C la incidencia de estos tipos de pudriciones fue significativamente menor durante las dos semanas de almacenamiento y después de la maduración complementaria, 3 días a 20°C. Se complementa este comportamiento con la ausencia de lesiones epicarpio de la fruta, característico en los casos de daño por frío.

## CONCLUSIONES

La respuesta del fruto de arazá a la conservación a bajas temperaturas inferiores a 12°C confirma su clasificación como un fruto sensible al frío, durante períodos de conservación superiores a 7 días: Los síntomas de daño por frío fueron la interrupción del proceso de maduración, el aumento de la firmeza del mesocarpio, la presencia de escaldaduras, la acumulación de ácidos orgánicos y la disminución de contenidos de glucosa y de fructosa durante la conservación y aumento de la susceptibilidad a las pudriciones.

La mayor pérdida de peso, el incremento del marchitamiento y el incremento de la incidencia de patógenos se registraron en los frutos almacenados se registraron en los frutos almacenados 2 semanas a 10°C mas un período de maduración complementaria. Los frutos a 7°C presentaron comportamiento similar, aunque las pérdidas de calidad fueron menores.

Por el contrario, los frutos mantenidos a 12°C mantuvieron los más altos contenidos de sacarosa, glucosa y fructosa por 2 semanas de almacenamiento más el período de 3 días de maduración complementaria.

Se recomienda almacenar el fruto de arazá a 12°C, o en caso contrario contar con un tratamiento adicional que prolongue a la conservación del fruto y que permita disminuir la temperatura de almacenamiento sin que haya daño por frío. Entre ellos se proponen la aplicación de pretratamientos térmicos, ciclos de calentamiento intermitente o atmósfera modificada. Los tratamientos se seleccionaran con criterios que permitan reducir la pérdida

de peso y firmeza y disminuir la incidencia de pudriciones durante la refrigeración y la maduración complementaria.

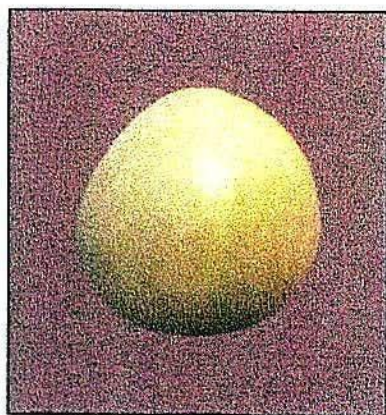
## LITERATURA CITADA

- Ali Z.M. y H. Lazan. 1997. Guava. En: S. K. Mitra (eds.). Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits. CABI Publishing. p. 145-165.
- AOAC 1995. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, ed. P.A. Cunniff, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Arjona, H. E. 1992. Temperature and storage time affect quality of yellow passion fruit. HortScience 27(7): 809-810.
- Barnett, H.L. 1985. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Burgess publishing Co. 225p.
- Brady, C.J. 1987. Fruit ripening. Annual Review of Plant Physiology 38: 155-178.
- Campbell, C.A. 1994. Handling of Florida-grown and imported tropical fruits and vegetables. HortScience 29: 975-978.
- Cano-Medrano, R. y R.L. Darnell. 1997. Sucrose metabolism and fruit growth in partenocarpic vs seeded blueberry (*Vaccinium ashei*) fruits. Physiologia Plantarum 99: 439-446.
- Ding, C.K.; K. Chachin; Y. Hamazu; Y. Ueda y Y. Imahori. 1998. Effects of storage temperature on physiology and quality of loquat fruit. Postharvest Biology and Technology 14: 309-315.
- Galvis J.A. y M.S. Hernández. 1993. Comportamiento fisiológico del arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. Colombia Amazónica 6: 123-134.
- Graham, D. 1990. Chilling injury in plants and fruits: some possible causes with means of amelioration by manipulation of postharvest storage conditions. En: Proc. Int. Congress of Plant Physiology. New Delhi, India. p. 1373-1384.
- Gutiérrez, M.; M. Sola; L. Pascual y A. Vargas. 1994. Postharvest changes of sugar concentrations in chilled injured cherimoya (*Annona cherimola* Mill). Journal of Plant Physiology 143: 27-32.
- IDEAM, 2000. Reportes meteorológicos de las estaciones del aeropuerto de la ciudad de Florencia, Caquetá. Últimos diez años. (Ined)
- Jackman, R.L., R.Y. Yada, A. Marangoni, K.L. Parkin y D.W. Stanley. 1988. Chilling injury, a review of quality aspects. Journal of Food Biochemistry 11: 253-278.
- Kader, A.A. 1992. Methods of gas mixing, sampling and analysis. En: Kader, A.A. (ed.). Postharvest Technology of Horticultural crops. University of California Publication 3311. p. 93-96.
- Lee, A.A Kader 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biology and Technology 20: 207-220.
- Letang, G. 1997. Frutas y Hortalizas: refrigeración y pérdida de agua. Alimentación, Equipos y Tecnología: 29-36.
- Lyons, J.M. 1973. Chilling injury in plants. Annual Review of Plant Physiology 24: 445-466.

- Lyons, J.M. y R.W. Breidenbach. 1987. Chilling injury. En: Weichman, J. (ed). Postharvest physiology of vegetables Marcel Dekker, Inc. p: 305-326.
- Lyons, J.M. y R.W. Breidenbach. 1990. Relation of chilling stress to respiration. In C.Y. Wang (eds). Chilling Injury of horticultural crops. CRC Press Inc. p. 223-233.
- Mercado-Silva, E, L. Regalado-Contreras, P. Benito-Bautista, L. Conejo-Juarez. 1999. Avances en el tratamiento del daño por frío en frutos de guayaba (*Psidium guajava*). En: Saucedo V., C. Baez S., R. (Eds). Requerimientos de tratamientos cuarentenarios de frutas tropicales y subtropicales. p 10-18.
- Mitra, S.K. y E.A. Baldwin. 1997. Mango. En: S. K. Mitra (eds.). Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits. CABI Publishing. p. 85-121.
- Minorsky, P.V. 1985. An heuristic hypothesis of chilling injury in plants: a role of calcium as the primary physiological transducer of chilling injury. *Plant Cell Environmental* 8: 75-94.
- Morales, M., M.S. Hernández, M.Cabezas, J. Barrera y O. Martínez. 2001. Comportamiento fisiológico y fisicoquímico del fruto de piña (*Ananas comosus* L. Merrill) cv. India bajo condiciones de refrigeración. *Agronomía Colombiana* (En impresión).
- Moriguchi T.; Y. Izhizawa y T. Sanada. 1990. Differences in sugar composition in *Prunus persica* fruit and the classification by the principal component analysis. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science* 59: 307-312.
- Nakasone, H.Y. y R. Paull. 1998. Tropical fruits. CABI Publishing. p. 1-44.
- Pantastico, E.B.; A.K. Mattoo; T. Murata y K. Ogata. 1984. Desordenes y enfermedades fisiológicas. En: Pantástico (Ed.). Fisiología de la Postrecolección, Manejo y Utilización de frutas tropicales y subtropicales. Compañía Editorial Continental S.A. p. 407-432.
- Parkin, K.L., A. Marangoni, R.L. Jackman, R.Y. Yada y D.W. Stanley. 1989. Chilling Injury: A review of possible mechanisms. *Journal of Food Biochemistry*. 13: 127-153.
- Piga, A.; S. D'Aquino y M. Agabbio. 2000. Influence of cold storage and shelf-life on quality of 'Salustiana' orange fruits. *Fruits* 55: 37-44.
- Pinedo, P.M.; N.F. Ramírez y L.M. Blasco. (1981). Preliminary notes concerning the araza (*Eugenia stipitata*), native fruit of the Peruvian Amazonia M.A.A./INIA/IICA. Misc. Pub. 229. Lima, Perú.
- Reyes, M.U. y R. Paull. 1995. Effect of storage temperature and ethylene treatment on Guava (*Psidium guajava* L.) fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 6: 357-365.
- Saltveit, M.E. Jr. y L.L. Morris. 1990. Overview on chilling injury of horticultural crops. In C.Y. Wang (eds). Chilling horticultural crops. CRC Press Inc. p. 4-15.
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie. 1985. Bioestadística. Principios y procedimientos, segunda edición. Mc Graw-Hill. p. 368-386.
- Wade, N.L. 1979. Physiology of cool-storage disorders of fruit and vegetables. En: Lyons, J.M., D. Graham y J.K. Raison. Low temperature stress in crop plants. Academic Press. p:81-96.
- Wang, C.Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling injury. *HortScience* 17(2): 173-186.
- Wang, C.Y. 1994. Chilling injury of tropical horticultural commodities. *Horticultural*

- Science (29): 986-996.
- Wang, CY. 1997. Modified atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumbers. *Postharvest Biology and Technology* 10: 195-200.
- Wills, R.; B. Mc Glasson; D. Graham y D. Joyce. 1998. *Postharvest: An introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables and ornamentals*. CABI Publishing. p. 1-60.
- Yamaki, S. 1995. Physiology and metabolism of fruit development. *Acta Horticulturae* 398: 109-120.

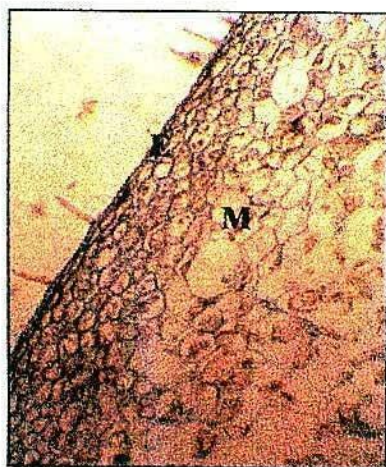
## FOTOS DEL FRUTO DE ARAZA ALMACENADOS A BAJAS TEMPERATURAS



**Foto 4.1.** Estado inicial de almacenamiento del fruto de araza

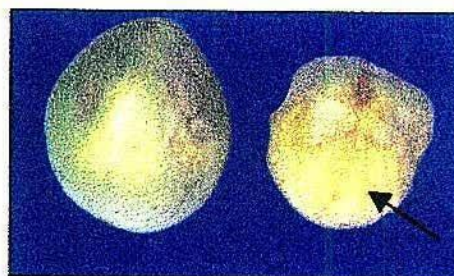


**Foto 4.2.** Fruto de araza almacenado a 7°C durante 2 semanas y 3 días de maduración complementaria a 20°C



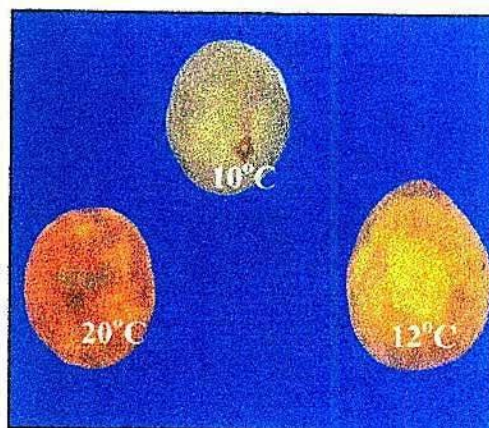
**Foto 4.3.** Corte transversal de fruto de araza almacenado a 12°C, después de 2 semanas y 3 d de maduración complementaria.

**M** Mesocarpio **E** Epicarpio



**Foto 4.4.** Lesión por frío en frutos de araza almacenados a 7°C.

**Foto 4.5.** Frutos de araza almacenados a 10°, 12°, una semana y 3 días de maduración complementaria y 10 días a 20°C.



RESUMEN

Frutos de arazá en estado verde-maduro fisiológicamente maduros fueron colectados en el Departamento del Caquetá, en el Municipio El Doncello, en la finca 'Copoazú'. Las condiciones climáticas de la zona son las siguientes: temperatura promedio 25°C, precipitación promedio 3600 mm, humedad relativa 85% y brillo solar 1500 h/año. Los frutos fueron seleccionados y acondicionados, para luego ser tratados con soluciones de cloruro de calcio de 0, 0.36 y 0.72 mol·L<sup>-1</sup> (0, 4, 8 % p/v) mantenidas a temperaturas de 4 o 15°C. La calidad de los frutos se evaluó tras 1 o 2 semanas a 12°C y 90% H.R con o sin maduración complementaria (3 días a 20°C y 70% H.R) Los frutos control del tratamiento de inmersión a 4°C no presentaron ataques de microorganismos a lo largo de la experiencia, a diferencia de los frutos control del tratamiento de inmersión a 15°C. Los frutos tratados con soluciones 0.36 mol·L<sup>-1</sup> a 4°C mantuvieron la firmeza y los contenidos de azúcares, principalmente la fructosa respecto a los frutos tratados con soluciones de calcio a 15°C. Los frutos tratados con soluciones de calcio a 4°C perdieron menos peso, al compararlos con los frutos tratados con soluciones a 15°C. La solución de 0.72 mol·L<sup>-1</sup> resultó fitotóxica a ambas temperaturas, ocasionando coloración irregular y manchas además de incremento de pérdida de peso y mayor susceptibilidad al marchitamiento que frutos control y tratados con la solución de 0.36 mol·L<sup>-1</sup>. La combinación del pretratamiento con soluciones de 0.36 mol·L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> a 4°C mantuvo más tiempo la vida útil del producto, al final de la segunda semana de almacenamiento. Después del tratamiento con cloruro de calcio hay que enjuagar el producto para evitar absorción excesiva y minimizar su fitotoxicidad

Palabras claves: Ablandamiento, calidad, daño por frío, firmeza, fitotoxicidad, pérdida de peso.

## CALCIUM CHLORIDE TREATMENT ON ARAZA FRUIT STORAGE 12°C

### SUMMARY

Green mature Araza fruits were collected in El Doncello – Caqueta. The average climatic conditions were: 25°C, relative humidity 85% and sun bright 1500 h/year. The fruits were selected and conditioned to be treated with calcium chloride solutions of 0.36 and 0.72 mol·L<sup>-1</sup> (0, 4, 8% w/v) at two temperatures: 4 and 15°C. fruits were stored at 12°C and 90% R.H. Physical, chemical and quality variables were evaluated after one and two weeks of storage and after a shelf life period after following the first and second week of storage. Control fruits 4°C treated showed less decay during storage. It was found that a calcium chloride solution of 0.36 mol·L<sup>-1</sup> at 4 °C, increased the firmness of the fruit, preserved the sugar content, mainly fructose and organic acids content, while the effects of pathogens and some disorders caused by chilling injury and shrivelling decreased. The solution of 0.72 mol·L<sup>-1</sup> was toxic to the fruit, causing physiological disorders as color change and increased weight loss and further susceptibility to shrivelling. Low temperature combined with 0.36 M CaCl<sub>2</sub> treatment extended postharvest life of the product. It is necessary to wash the fruits after calcium chloride treatment to avoid excessive calcium absorption.

Key words: chilling injury, post-harvest, quality, softening, strength, and weight loss.

### INTRODUCCION

El arazá es una baya carnosa de la familia *Myrtaceae* con características de aroma y sabor muy atractivas. Su cultivo constituye una importante alternativa en los sistemas agroproductivos de la región amazónica. Sin embargo, la sensibilidad a las bajas temperaturas, el ablandamiento que sufre durante la etapa de maduración, y la susceptibilidad a pudriciones ocasionadas por *Gloeosporium* sp., *Curvularia* sp. y

levaduras en general constituyen una limitante para su introducción en las cadenas de mercado, dado que los frutos maduran en los siguientes 3 días después de su recolección, si se mantienen a temperatura ambiente, según se encontró en el Capítulo 4 (Giraldo et al., 2000; Orduz, 2000; Tai Chun, 1995).

La comercialización de arazá, hasta el momento, ha estado enfocada a pulpas obtenidas a partir del fruto en madurez de consumo. Ello ha significado un retraso en el posicionamiento del fruto en las preferencias del consumidor, en la medida que éste requiere de referencias de sus sentidos como la forma, aroma y textura para identificar y privilegiar el consumo de un nuevo producto. En consecuencia se han evaluado algunas técnicas de manejo de poscosecha que permitan prolongar la vida de almacenamiento y de estante del producto, asegurando su calidad. Entre diversas opciones se seleccionaron el tratamiento con soluciones de cloruro de calcio antes del almacenamiento. Dicho tratamiento ha mostrado resultados promisorios en otros frutos tropicales como el mango, el lulo y la guanábana (Galvis y Hernández, 1994; Galvis y Ramírez, 1993; Alvarez et al., 1993), así como en especies de climas templados como la manzana y la pera (Sams et al., 1993).

La maduración de frutos carnosos se caracteriza, entre otros cambios (Capítulo 3) por el aumento de la actividad de poligalacturonasas (Biale y Young, 1981; Brady, 1987; Seymour et al., 1993) que degradan las cadenas de protopectinas en ácidos pécticos de mayor solubilidad en el agua, lo que lleva a la separación de la lámina media de la pared celular permitiendo el llenado de los espacios intercelulares con agua y gases. De esta manera el fruto se ablanda y alcanza la firmeza propia de la madurez de consumo. Sin embargo, en el caso del fruto de arazá, la disminución de la firmeza propia de la maduración limita la comercialización del fruto fresco, lo que se acentúa por la carencia de tejido de sostén en el mesocarpio, como se ha indicado en el estudio de maduración del fruto (Capítulo 3).

Los efectos encontrados con el uso de tratamientos con cloruro de calcio sólo o en compañía de otros tratamientos como el pretratamiento térmico han mostrado disminución del ablandamiento de los frutos, y disminución de la incidencia de pudriciones. De acuerdo con Preston (1979), Sams y Conway (1984) y Sams et al. (1993), las pectinas están compuestas de fracciones de ácidos poligalacturonidos con cadenas de ramnosa intercaladas. La ramnosa intercalada genera una disposición de ramillete en donde se insertan cationes, principalmente calcio. La formación de puentes entre los ácidos urónicos y los cationes hacen la lamina media menos accesible a las pectinasas y a las poligalacturonasas propias del fruto o las producidas por hongos patógenos. Para otros autores como Sams y Conway (1984), el calcio disminuye poliuronidos solubles en frutos como manzanas después del almacenamiento, con lo cual el ablandamiento del fruto decrece.

El calcio exógeno suministrado en solución es absorbido por las lenticelas y transportado, vía apoplasto, al interior del fruto (Harker y Ferguson, 1989). De esta manera se hace disponible para unirse a las cadenas de pectinas de la lamina media formando pectatos de calcio. Consecuentemente la lamina media se hace menos accesible a la acción de las enzimas encargadas de la hidrólisis de pectinas (Klein et al., 1990; Lurie y Klein, 1992; Lurie et al., 1996).

Los efectos positivos del uso de las sales de calcio durante la poscosecha de algunos frutos como manzana no solo se asocian al aumento de la cohesión de las cadenas de pectina, dándole mayor firmeza a la pared celular y a la lámina media sino que también contribuyen a la disminución de la pérdida de peso durante el almacenamiento y al aumento de su firmeza para frutos y hortalizas (Mir et al., 1993; Poovahiah 1986). El éxito del efecto de la aplicación del cloruro de calcio radica en la correcta concentración de la solución y en la edad de los frutos. Concentraciones muy altas pueden conducir a la fitotoxicidad y aplicaciones a frutos maduros conducen a la absorción de cantidades altas de calcio que pueden convertirse en fitotóxicas, ya que el calcio libre modifica la presión

de turgor de la célula ocasionando una disfunción fisiológica (Saftner et al., 1998 a,b). Adicionales beneficios del calcio se dan por el hecho de que es un producto natural, no costoso, comestible y aprobado de manera general para su aplicación (Saftner et al., 1998 a).

El objeto del presente estudio fue determinar la respuesta de los frutos de arazá a la inmersión en soluciones de cloruro de calcio de 0, 0.36 y 0.72 mol·L<sup>-1</sup> (0, 4 y 8 % p/v) antes de su almacenamiento a 12°C.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Frutos de arazá verde-maduro fueron colectados en el Municipio El Doncello, Departamento del Caquetá cuyas condiciones climáticas se mencionan en el capítulo 3 de temperatura promedio anual de 25°C, humedad relativa promedio mensual de 85%, precipitación anual de 3.600 mm y brillo solar de 1.500 h/año (IDEAM, 2000).

Los frutos fueron transportados por tierra durante una hora, en cajas plásticas de 10 kg hasta el aeropuerto de Florencia, desde donde se enviaron por vía aérea al laboratorio de Poscosecha del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos ICTA- Universidad Nacional- Sede Bogotá La duración del transporte aéreo fue de 45 minutos y la temperatura de la bodega de 4°C. En el laboratorio se hizo una selección por sanidad, ausencia de defectos y daños mecánicos. Los frutos seleccionados fueron acondicionados mediante lavado, desinfección y enjuague tal como se indica en el ensayo de conservación a baja temperatura (capítulo 4).

### **Manejo de las muestras y asignación de tratamientos**

Los frutos una vez acondicionados fueron separados en dos grupos, los cuales se dividieron a su vez en 3 subgrupos de 51 frutos cada uno. Los frutos de cada subgrupo

fueron tratados durante 5 minutos de la siguiente manera 1) control (sin tratamiento) sumergidos en agua potable del acueducto a 15°C; 2) frutos sumergidos en solución de 0.36 mol·L<sup>-1</sup> a 15°C; 3) frutos sumergidos en solución de 0.72 mol·L<sup>-1</sup> a 15°C; 4) control, frutos sumergidos agua potable a 4°C; 5) frutos sumergidos en solución de 0.36 mol·L<sup>-1</sup> a 4°C; 6) frutos sumergidos en solución de 0.72 mol·L<sup>-1</sup> a 4°C. La temperatura de la solución a 4°C se mantuvo con un baño de hielo. Tras el tratamiento los frutos se secaron con papel absorbente y permanecieron durante 60 minutos al ambiente para completar el secado y fueron distribuidos en canastas. Posteriormente los frutos fueron almacenados a 12°C±1°C y 90-95% H.R.

La calidad de los frutos se evaluó tras 1 o 2 semanas de almacenamiento con o sin un período de maduración complementaria (3 días a 20°C y 70% H.R) Los frutos se evaluaron al final de la primera y la segunda semana y al final del período de maduración complementaria de 3 días tras los dos períodos de almacenamiento. El ensayo estuvo constituido por 24 tratamientos, los cuales se distribuyeron completamente al azar, con un arreglo factorial 2\*3\*2\*2, dos temperaturas de la solución (4 y 15°C), tres concentraciones de cloruro de calcio (0, 0.36 y 0.72 mol·L<sup>-1</sup>), dos tiempos de almacenamiento (1 y 2 semanas) y un período posterior de maduración complementaria (ninguno o 1, correspondiente a 3 días a 20°C). En la tabla 5.1 se expresan las combinaciones de niveles y factores.

### **Parámetros fisicoquímicos y de calidad evaluados**

Los parámetros fisicoquímicos y de calidad evaluados en ocho frutos provenientes de las tres repeticiones al final de los dos períodos de almacenamiento y de maduración complementaria fueron: 1) firmeza, medida en un punto por fruto (penetrómetro Effegi 327 Alfonsin, Italia con punzón de 7.9 mm), 2) sólidos solubles totales SST (refractómetro manual ATAGO, Japón), 3) acidez total titulable ATT (AOAC, 1995; en mmol H<sup>+</sup>·L<sup>-1</sup>), 4) pH (Electrodo Schott Geräte N48A, Glaswerke Mainz, Alemania),

ácidos orgánicos 5) málico, 6) succinico, 7) cítrico, 8) Acido Ascórbico; azúcares 9) sacarosa, 10) glucosa, 11) fructosa; 12) color y parámetros de calidad, 13) pérdida de peso, 14) marchitamiento, 15) daño externo, 16) antracnosis, 17) otras pudriciones. La metodología empleada para cada una de las variables se describió en el ensayo de conservación a baja temperatura (capítulo 4). La concentración de calcio en el tejido del fruto de arazá tratados con las soluciones de la a 4 y 15° se midió al inicio, inmediatamente después del tratamiento y al final de la maduración complementaria, tras 2 semanas de almacenamiento.

**Tabla 5.1.** Diseño de tratamientos para evaluar la calidad del arazá. Los factores temperatura y concentración de las soluciones de cloruro de calcio y tiempos de conservación (12°C y 90% H.R.) y maduración complementaria (3 días a 20°C y 70% H.R.)

Tratamiento	Temperatura de la solución °C	Concentración de la solución mmol·l <sup>-1</sup>	Tiempo de almacenamiento (Días)	Maduración complementaria
1	15	0	7	0
2	15	0	7	1
3	15	0	14	0
4	15	0	14	1
5	15	0.36	7	0
6	15	0.36	7	1
7	15	0.36	14	0
8	15	0.36	14	1
9	15	0.72	7	0
10	15	0.72	7	1
11	15	0.72	14	0
12	15	0.72	14	1
13	4	0	7	0
14	4	0	7	1
15	4	0	14	0
16	4	0	14	1
17	4	0.36	7	0
18	4	0.36	7	1
19	4	0.36	14	0
20	4	0.36	14	1
21	4	0.72	7	0
22	4	0.72	7	1
23	4	0.72	14	0
24	4	0.72	14	1

Para las mediciones, se congelaron trozos de frutos sin piel a -40°C, 10 g de 3 frutos de cada uno de los tratamientos. Para las determinaciones, las muestras fueron calcinadas hasta obtener cenizas, después de lo cual se preparó la dilución correspondiente para

hacer la determinación por absorción atómica utilizando la lámpara correspondiente al elemento.

### **Purificación de las muestras de azúcares, ácidos orgánicos y Acido ascórbico**

Las muestras empleadas para análisis de azúcares, ácidos orgánicos y ácido ascórbico se prepararon a partir de tejido del mesocarpio, troceado en rodajas sin piel y congelado a  $-40^{\circ}\text{C}$  de acuerdo con la metodología descrita en el ensayo de conservación a baja temperatura (capítulo 4).

Los extractos obtenidos fueron tratados a fin de eliminar los iones de calcio presentes en la muestra ya que éstos no permiten la separación ni de los azúcares, ni de los ácidos orgánicos en las columnas de cromatografía y las saturan.

El tratamiento de limpieza consistió en agregar 0.3 g de amberlita mixta a 10 mL de muestra lista para inyectar al cromatógrafo en un tubo de ensayo. La amberlita mixta se obtuvo de mezclar 40% de amberlita IR 120 plus SIGMA<sup>®</sup> y 60% de Amberlita IR A 420c SIGMA<sup>®</sup>. La amberlita es un medio atrapante de los iones  $\text{Ca}^{++}$  que interfieren con la separación. El protocolo de purificación fue recomendado por el distribuidor del sistema de cromatografía líquida (Waters Asociados, Milford MA)

La mezcla de muestra y amberlita se agitó por 15 minutos en una plancha de agitación después de lo cual se centrifugó por 5 minutos a 2000  $g_n$  a temperatura ambiente. El sobrenadante se inyectó en el sistema de cromatografía líquida.

Los análisis microbiológicos se realizaron de acuerdo con la metodología descrita en el Capítulo 4.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables estudiadas se sometieron a análisis de varianza con el programa SAS 6.2 para un diseño experimental completamente al azar. El análisis de varianza se realizó con los siguientes factores principales: Temperatura de la solución de  $\text{CaCl}_2$ : 4 y 15°C, concentración de la solución (0, 0.36 mol·L<sup>-1</sup> y 0.72 mol·L<sup>-1</sup>), tiempo de almacenamiento (7 y 14 días) y maduración complementaria (0,1). La pérdida de peso se analizó sobre ocho frutos provenientes de las tres repeticiones bajo una estructura de parcelas divididas en el tiempo (Steel y Torrie, 1985). Se realizó la prueba de Tukey para las interacciones de 4º grado que resultaron significativas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 5.2 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza para los caracteres fisicoquímicos de firmeza, pH, acidez titulable y ácidos orgánicos. Se observa que los efectos principales para los 4 factores fueron estadísticamente significativos al 5% o 1% lo mismo que su interacción de tercer grado en todos los casos, excepto para firmeza y para acidez. Razón por la cual se analizará esta interacción mediante tablas o figuras para cada característica.

### Firmeza

La firmeza de los frutos de arazá tratados con soluciones de cloruro de calcio no mostró diferencias para interacciones triples y cuádruples (tabla 5.2). Si se encontraron diferencias en los frutos tratados con la solución de 0.36 mol·L<sup>-1</sup>, los cuales tuvieron mayor firmeza tras la primera y la segunda semana de almacenamiento (tabla 5.3). La firmeza de los frutos tratados con soluciones de calcio a 4° y 15°C no mostró diferencias al compararlos con frutos control, sin embargo, los frutos tratados con soluciones de 0.36

mol·L<sup>-1</sup> a 4° y 15° C presentaron mayor firmeza durante el almacenamiento y tras los períodos de maduración complementaria (tabla 5.3).

**Tabla 5.2.** Cuadrados medios del análisis de varianza para textura, pH, acidez titulable y ácidos orgánicos en frutos de arazá tratados con CaCl<sub>2</sub> y almacenados a 12°C.

F. de V.	G.L	Firmeza	pH	Acidez	A. málico	A.succínico	A. cítrico	VitaminaC
Temperatura	1	102 ns	0.006 ns	0.7ns	27284**	1909**	1.30**	14.5**
Solución (TS)								
Conc.(C )	2	310**	0.001 ns	8896**	16800**	1003**	7**	136.5**
TS*C.	2	2.3 ns	0.02*	3886**	4242**	1720**	3.52**	44.6**
Almacen.(A)	1	642**	0.10**	24ns	1503**	106**	0.42*	63**
TS*A	1	0.3 ns	0.32**	3750**	554**	204**	7.76**	2.6**
C*A	2	42.2 ns	0.38**	1117*	402**	275**	1.47**	1.7**
TS*C*A	2	4.5 ns	0.07**	5391**	9123**	102**	0.7**	0.1 ns
Mad compl.(MC)	1	884**	0.01**	12604**	25891**	9*	1.1**	442.8**
TS*MC	1	0.3 ns	0.01**	6800**	3310**	224**	0.17 ns	25.2**
C*MC	2	22 ns	0.02*	12440**	6062**	1495**	6**	29.2**
TS*C*MC	2	96 ns	0.07**	2246**	2765**	182**	1.58**	20**
A*MC	1	2106**	0.10**	3037**	228**	55**	10.54**	0.9ns
TS*A*MC	1	12 ns	0.04*	6080**	3011**	15**	0.22 ns	10.5**
C*A*MC	2	16 ns	0.09**	4283**	3557**	556**	0.13 ns	28.5**
TS*C*A*MC	2	13.6 ns	0.02*	577 ns	2651**	24**	7**	10.5**
Error <sup>y</sup>	72 <sup>y</sup>	46	0.007	331	7	1.6	0.09	0.32

Probabilidad: n.s. no significativo. \*, \*\*, significativo al P = 0.05 o 0.01 respectivamente

<sup>y</sup> Grados de libertad del error de ácidos orgánicos y Acido Ascórbico 24 (n=2)

La firmeza de los frutos fue mayor tras la maduración complementaria después de la primera semana la segunda semana de almacenamiento en frutos con soluciones de 0.36 mol·L<sup>-1</sup> a 4° y a 15°C. Se puede inferir que la menor temperatura de la solución no evitó la pérdida de firmeza de los frutos almacenados.

Aunque no se encontró un aumento de firmeza significativo del fruto de arazá tratados con las soluciones de CaCl<sub>2</sub>, si se puede anotar que los frutos tratados con soluciones de 0.36 mol·L<sup>-1</sup> a 4 o a 15°C contribuyen a conservar la firmeza de los frutos de arazá

Estos resultados difieren de lo encontrado por Saftner et al. (1998 a y b) en trabajos con manzana Golden Delicious quienes afirman que en los períodos posteriores al tratamiento con cloruro la firmeza de los frutos aumenta. Los frutos de arazá tratados con soluciones

de  $\text{CaCl}_2$ , mostraron aumentos de contenidos de calcio, sin embargo, el aumento de la firmeza no fue significativo (tabla 5.4). Es posible que esta respuesta esté asociada con el corto período de conservación del fruto de arazá. Wang (1993) indica que en frutos con cortos períodos de almacenamiento, el efecto del calcio no se aprecia.

**Tabla 5.3.** Efecto de la inmersión en soluciones de  $\text{CaCl}_2$  en algunas variables fisicoquímicas de frutos de arazá almacenados a  $12^\circ\text{C}$  durante dos semanas y posterior período de maduración complementaria de 3 días a  $20^\circ\text{C}$ .

Tratamiento							
Temper. Solución ( $^\circ\text{C}$ )	[ $\text{CaCl}_2$ ]	Almacenamiento.	Madurac. Comple	Firmeza (Newton)	pH	Acidez $\text{mmol H}^+\cdot\text{L}^{-1}$	SST ( $^\circ\text{Brix}$ )
Recolección	0	0	0	40	2.8	550	3.3
4	0	7	0	28.2	2.8	426	3.1
4	0	7	1	12.0	3.1	451	4.7
4	0	14	0	18.6	3.1	404	4.0
4	0	14	1	18.0	3.0	438	3.8
4	0.36	7	0	35.8	3.0	418	3.6
4	0.36	7	1	23.6	3.0	370	4.4
4	0.36	14	0	18.9	2.9	320	3.0
4	0.36	14	1	26.0	3.0	399	4.3
4	0.72	7	0	36.0	2.8	438	3.6
4	0.72	7	1	15.4	2.7	360	4.7
4	0.72	14	0	16.4	3.2	441	5.4
4	0.72	14	1	21.6	3.3	392	4.5
15	0	7	0	28.0	3.1	397	3.7
15	0	7	1	19.0	3.1	370	3.9
15	0	14	0	16.7	3.0	456	4.9
15	0	14	1	24.0	2.7	398	4.2
15	0.36	7	0	40.0	3.0	396	3.3
15	0.36	7	1	21.6	3.1	380	4.1
15	0.36	14	0	24.0	3.0	398	4.0
15	0.36	14	1	24.5	3.0	406	4.9
15	0.72	7	0	35.3	2.8	452	3.7
15	0.72	7	1	19.0	3.0	391	4.4
15	0.72	14	0	21.6	3.1	447	4.4
15	0.72	14	1	22.0	3.0	363	3.5
<b>DMS Tukey 5%</b>				ns	0.2	ns	ns
ns: no significativo							

## pH

El pH de los frutos de arazá tratados con cloruro de calcio y almacenados a 12°C aumentó durante el período de almacenamiento y durante los períodos de maduración complementaria (tablas 5.2 y 5.3). Se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos, el mayor aumento de pH se encontró en frutos tratados con solución de calcio de 0.72 mol·L<sup>-1</sup> a 4°C, mientras que los menores valores de pH se registraron en frutos control, independiente de la temperatura de la solución. Los frutos tratados aumentaron su pH tras la primera semana de almacenamiento, en el período de maduración complementaria. De igual manera el pH de los frutos aumentó durante el período de maduración complementaria al final de la conservación. Esta tendencia hace suponer que los tratamientos con cloruro de calcio, no alteran el metabolismo de los ácidos orgánicos del fruto, permitiendo que estos disminuyan y el pH aumente. Mattoo et al. (1978) plantean que la maduración de los frutos carnosos conlleva el consumo de sus reservas; en el caso de arazá, esta reserva está constituida por ácidos orgánicos principalmente, lo cual se refleja durante la maduración en una disminución de la acidez total y aumento de pH.

**Tabla 5.4.** Contenido de calcio al inicio y al final del almacenamiento y firmeza del fruto al final del almacenamiento a 12°C.

Temperatura de la Solución (°C)	Concentración Solución	Concentración inicial Ca <sup>2+</sup> (μmol g <sup>-1</sup> x1000)	Concentración final Ca <sup>2+</sup> (μmol g <sup>-1</sup> x1000)	Firmeza
4	0	1.25	1.5	15.2
	0.36	1.25	2.5	25
	0.72	0.25	3.25	18.5
15	0	0.75	1.75	21
	0.36	1.25	3	23
	0.72	0.50	4.25	20

## Acidez Total

La acidez total de los frutos de arazá tratados con CaCl<sub>2</sub> disminuyó desde valores superiores a 400 mmol H<sup>+</sup>·L<sup>-1</sup> hasta valores cercanos a 300 mmol H<sup>+</sup>·L<sup>-1</sup>, sin que se

encontraran diferencias estadísticas entre tratamientos. El mayor descenso de acidez total lo registraron los frutos tratados con solución de  $0.72 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  mantenida a  $4^\circ\text{C}$  (tabla 5.3), coincidiendo con el mayor aumento en pH. Los demás tratamientos mantuvieron valores de acidez total superiores a  $350 \text{ mmol H}^+\cdot\text{L}^{-1}$ . Existe alguna evidencia que el calcio retrasa la maduración en los frutos, caso del aguacate (Wills y Tirmazi, 1982), por lo que no se puede descartar un efecto del calcio en el consumo de ácidos de reserva en el fruto de arazá.

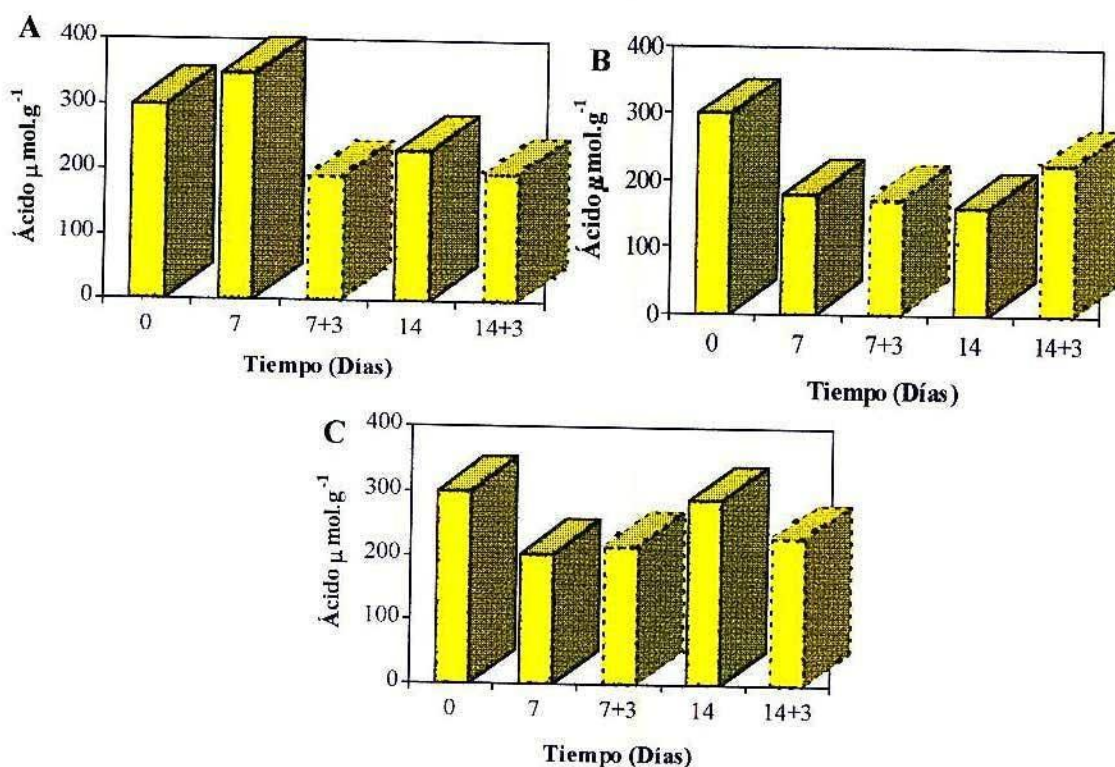
Mientras el tiempo de almacenamiento no incidió en la acidez total del fruto, la concentración de la solución de  $\text{CaCl}_2$ , y la maduración complementaria influyeron de manera significativa en ella (tabla 5.2). En la concentración de  $0.36 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  se registró mayor acidez total que en frutos tratados con soluciones de  $0.72 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , para ambas temperaturas de las soluciones. Lo anterior hace suponer que la concentración de  $0.36 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  de cloruro de calcio podría influir en mantener la acidez en el fruto.

### **Acido málico**

El contenido de ácido málico mostró diferencias altamente significativas entre tratamiento. El contenido del ácido se mantuvo durante el almacenamiento de frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio a  $4^\circ\text{C}$ , respecto a los contenidos iniciales (figura 5.1). Comparado con los frutos control, los contenidos de ácido málico fueron mayores en los frutos tratados con la solución de cloruro de calcio de mayor concentración  $0.72 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  al final de la segunda semana de almacenamiento y después de la maduración complementaria de esta semana.

En los frutos tratados con  $0.36 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  se presenta un aumento en el contenido de ácido málico al final de la madurez complementaria tras dos semanas de almacenamiento, lo cual se vio reflejado también en la acidez total titulable, mientras que el contenido de este ácido no aumentó durante la maduración complementaria que siguió a la primera semana.

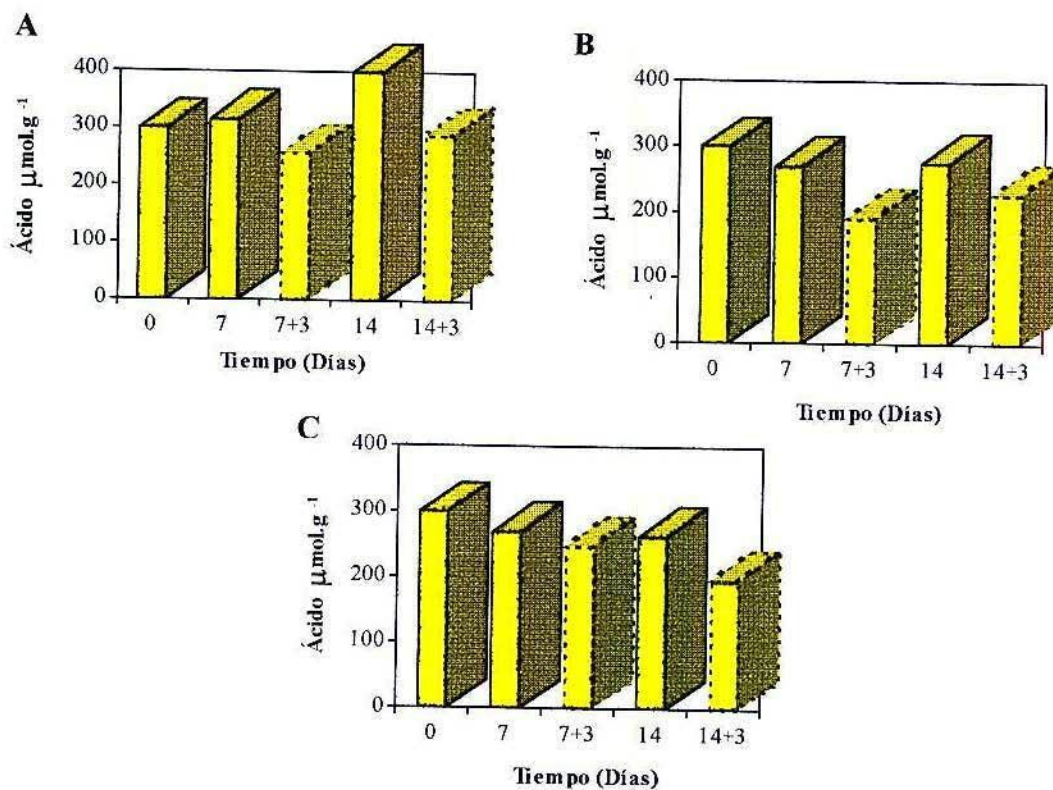
(tabla 5.2). En frutos tratados con soluciones a 15°C se encontró el contenido de ácido málico aumentó de manera significativa durante el almacenamiento, para luego disminuir, durante los períodos de maduración complementaria. (tabla 5.2 y figura 5.2)



**Figura 5.1.** Efecto de la inmersión de frutos de arazá en soluciones de 0 (A), 0.36 (B) y 0.72 mol.L<sup>-1</sup> (C) CaCl<sub>2</sub> a temperatura de 4°C en el contenido de ácido málico (n=2). Temperatura de almacenamiento 12°C y 95% H.R y maduración complementaria de 3 días a 20°C y 70% H.R.

Los mayores contenidos de ácido málico se encontraron en los frutos control con valores superiores a 400 μmol.g<sup>-1</sup>, seguidos por los frutos tratados con soluciones de 0.72 mol.L<sup>-1</sup> y de 0.36 mol.L<sup>-1</sup>. De manera general, se encontró que la concentración de ácido málico al final de la segunda semana de almacenamiento y de la maduración complementaria fue mayor en frutos tratados que en frutos almacenados a 12°C, sin ningún tipo de tratamiento. En consecuencia, se podría afirmar que el tratamiento con soluciones de

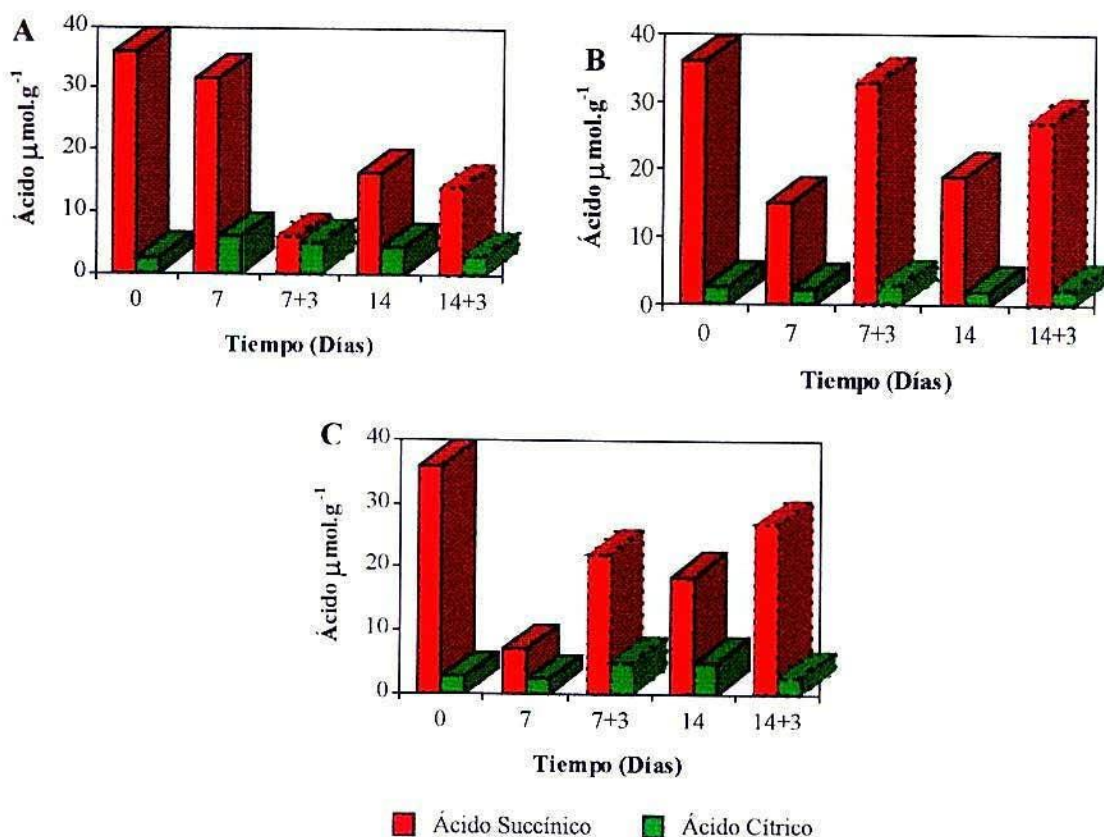
cloruro de calcio a 4° o 15°C afecta la maduración del fruto de arazá disminuyendo el consumo de los compuestos de reserva. Este comportamiento coincide con el reportado para fresas, y manzanas de diferentes variedades (García et al., 1996; Lurie et al., 1996; Sams et al., 1993).



**Figura 5.2.** Efecto de la inmersión de frutos de arazá en soluciones de 0 (A), 0.36 (B) y 0.72  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  (C)  $\text{CaCl}_2$  a temperatura de 15°C en el contenido de ácido málico ( $n=2$ ). Temperatura de almacenamiento 12°C 95% H.R y maduración complementaria de 3 días a 20°C y 70% H.R.

### Ácido succínico

El ácido succínico aumentó de manera significativa durante el almacenamiento refrigerado y durante la maduración complementaria en todos los tratamientos con agua a 4°C (tabla 5.2 y figura 5.3). Los niveles de ácido succínico alcanzados por los frutos fueron superiores a 40  $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  en los tratamientos con soluciones de cloruro de calcio a esta temperatura.

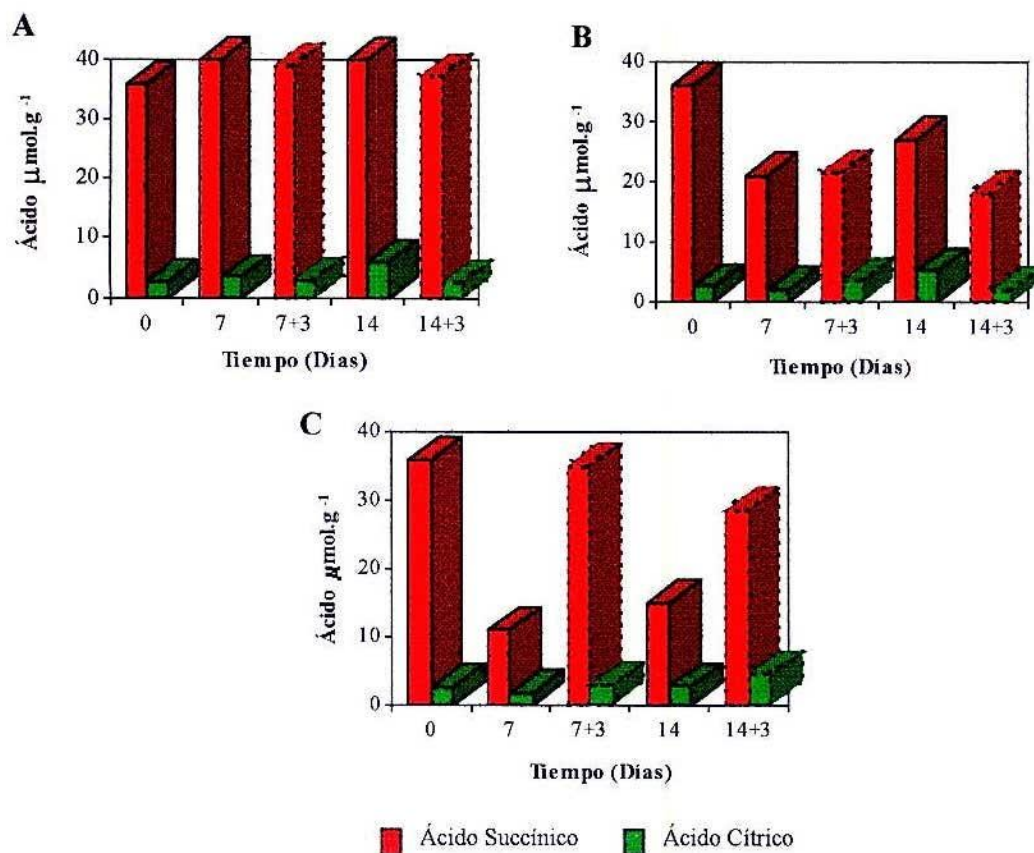


**Figura 5.3.** Efecto de la inmersión de frutos de arazá en soluciones de 0 (A), 0.36 (B) y 0.72  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  (C)  $\text{CaCl}_2$  a temperatura de 4°C en el contenido de ácidos succínico y cítrico ( $n=2$ ). Temperatura de almacenamiento 12°C y 95% H.R. y maduración complementaria de 3 días a 20°C y 70% H.R.

Dicho comportamiento puede atribuirse a que el pretratamiento con sales de calcio retrasa el inicio de la senescencia con la consecuente reducción del consumo de reservas. Se observa que existe un efecto de la temperatura de la solución la cual ayuda a retrasar la maduración, manteniendo los niveles del ácido succínico. En ajíes y zanahorias mínimamente procesados se ha encontrado respuesta favorable de los frutos a los tratamientos con calcio, los cuales conservan por más tiempo estos frutos (Mohamed, 1991; Picchioni et al., 1996).

En el caso de frutos de arazá tratados con soluciones de cloruro de calcio a 15°C (figura 5.4) se encontró que el contenido de ácido succínico aumentó de manera significativa en frutos control durante el almacenamiento entre 38 y 48  $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  en frutos control y mantuvo niveles altos durante la maduración complementaria de la primera y la segunda semana. En los frutos tratados con las soluciones de 0.36 el contenido de ácido succínico aumentó durante las dos semanas de almacenamiento y disminuyó durante la maduración complementaria de la segunda semana. En frutos tratados con solución de 0.72  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  el ácido succínico aumento durante el almacenamiento y también durante la maduración complementaria tras dos semanas de conservación.

Los frutos tratados con soluciones de 0.36  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  a 15°C maduraron normalmente, aunque de manera más lenta. En los frutos control y tratados con soluciones de 0.72  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  a 15°C se encontraron alteraciones del epicarpio como se describirán más adelante las cuales pueden generar estrés en fruto. En otros tipos de estrés como por ejemplo los altos niveles de dióxido de carbono o la hipoxia se han observado aumentos de succinato, los cuales llevan a desarrollo de tolerancias, es así que a mayores concentraciones de succinato aumenta la resistencia a estrés. Fernández-Trujillo et al., 1999, reportan aumento de ácido succínico en mayor grado en los cultivares de fresas resistentes al estrés por  $\text{CO}_2$ . Es posible que en el caso del arazá el aumento de las concentraciones del ácido succínico obedezca a un comportamiento semejante.



**Figura 5.4.** Efecto de la inmersión de frutos de arazá en soluciones de 0 (A), 0.36 (B) y 0.72 mol·L<sup>-1</sup> (C) CaCl<sub>2</sub> a temperatura 15°C en el contenido de ácidos succínico y cítrico (n=2). Temperatura de almacenamiento 12°C y 95% H.R. y maduración complementaria de 3 días a 20°C y 70% H.R.

El aumento de los contenidos del ácido succínico en frutos de arazá tratados con soluciones de Ca Cl<sub>2</sub> también puede asociarse a que la mayor incidencia de lesiones externas que se presentaron en el fruto, pueden estar asociadas con la fitotoxicidad de algunas concentraciones de calcio. Sams et al. (1993) indican que los tratamientos con soluciones de cloruro de calcio han resultado ser fitotóxicos para algunas especies. En el caso de manzanas Golden Delicious tratadas en concentraciones superiores a 4% (0.36

mol·L<sup>-1</sup>) se presenta disminución maduración incompleta. Por otra parte en el caso de higos tratados (con soluciones de cloruro) se reporta cierta susceptibilidad a incrementar los daños (Schirra et al., 1999). Si se considera que el ácido succínico puede aumentar en respuesta al estrés, es posible que haya tenido influencia del estrés generado por las lesiones en el fruto.

### **Acido cítrico**

El contenido de ácido cítrico (figuras 5.3 y 5.4) fue muy bajo en comparación con el contenido de ácido málico o succínico. Su contenido aumentó significativamente en todos los tratamientos a 4°C (tabla 5.2 y figura 5.3). Este resultado permite inferir que el Ca<sup>++</sup> pudo tener un efecto directo en desacelerar el proceso de maduración del fruto. Sin embargo, no se puede desconocer el efecto sinérgico con temperatura baja de la solución ya que el efecto de este factor fue altamente significativo, así como sus interacciones con el tiempo de almacenamiento y la maduración complementaria.

Los contenidos de ácido cítrico en frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio a 15°C aumentaron de manera significativa entre la primera y la segunda semana de almacenamiento. En el período de maduración complementaria el contenido de ácido cítrico disminuyó siempre. Los ácidos orgánicos son consumidos durante el proceso de maduración de los frutos, de esta manera su concentración disminuye 20°C, cuando la actividad respiratoria de los frutos aumenta. (figura 5.4).

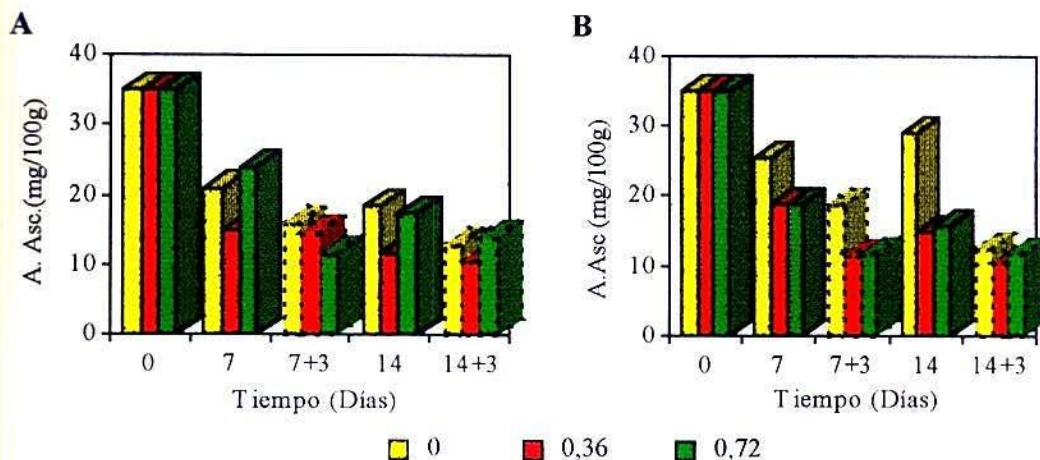
Agustí (2000) afirma que las bajas temperaturas, por otra parte dificultan la respiración de ácidos orgánicos (sobre todo de ácido cítrico), de modo que se retrasa la pérdida de acidez del fruto y, por tanto, su maduración interna.

### Acido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico disminuyó de manera significativa (tabla 5.2) en frutos de arazá tratados con soluciones de cloruro de calcio a 4°C y almacenados a 12°C (figura 5.5). Los contenidos variaron entre 20 y 11 ppm, lo cual hace suponer un retraso de la maduración, si se considera que en ensayos anteriores, en frutos de arazá, almacenados a 12°C, sin tratamiento, se encontró que durante la maduración del fruto el ácido ascórbico se sintetizaba (Capítulo 4), tal como sucede en otras especies tropicales como la acerola (*Malpighia glabra* L.) (Kader y Lee, 2000).

La tendencia exhibidas por los contenidos de ácido ascórbico en todos los frutos tratados con soluciones a 4°C fue muy semejante a las encontradas en frutos control, lo cual hace suponer que no sólo el calcio, sino que la temperatura de la solución contribuyó al retraso de la maduración en el fruto de arazá. Esta inferencia se sustenta en el hecho de que en los frutos control tratados a 15°C, el ácido ascórbico sí aumentó, mientras que en los de 4°C no lo hizo.

Los contenidos de ácido ascórbico en frutos tratados a 15°C aumentaron en los frutos control mientras que disminuyeron, de manera significativa, en los frutos tratados con soluciones de 0.36 y 0.72 mol·L<sup>-1</sup> durante el almacenamiento y la maduración complementaria (figura 5.5B). Esta respuesta puede atribuirse a un retraso de la maduración de los frutos. Autores como Tingwa y Young (1974) y Singh et al. (1993) reportan disminución de la respiración en frutos de aguacate y mango tratados con soluciones de cloruro de calcio en pre y/o poscosecha. En consecuencia, la síntesis y la degradación de compuestos en los frutos se ven disminuidas.



**Figura 5.5.** Efecto de la inmersión de frutos de arazá en soluciones de CaCl<sub>2</sub> de 0, 0.36 y 0.72 mol·L<sup>-1</sup> mantenidas a (A) 4° y (B) 15°C en el contenido de Acido Ascórbico. Temperatura de almacenamiento 12°C y 95% H.R. y maduración complementaria de 3 días a 20°C y 70% H.R.

### Sólidos solubles y azúcares

En la tabla 5.5 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza para los caracteres fisicoquímicos sólidos solubles (°Brix) y contenidos de azúcares, sacarosa, glucosa y fructosa, de frutos de arazá tratados con soluciones de cloruro de calcio y almacenados a 12°C. Se observa que los efectos principales para los 3 factores fueron estadísticamente significativos al 5% o 1% lo mismo que su interacción de tercer grado para todos los casos, excepto los sólidos solubles.

### Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles de frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio a 4°C aumentó de manera significativa durante el almacenamiento y en la maduración complementaria (tablas 5.3 y 5.5). No se encontró influencia de la temperatura de la solución así como tampoco de la concentración de la solución. El contenido de sólidos solubles aumentó entre 3.0 y 5.5%, de manera semejante al aumento que presenta cuando

madura en la planta. En frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio de  $0.36 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $0.72 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  la concentración alcanzada fue menor. Sin embargo, en los periodos de maduración complementaria hubo aumento altamente significativo.

**Tabla 5.5.** Cuadrados medios del análisis de varianza para sólidos solubles totales y azúcares en frutos de arazá tratados con  $\text{CaCl}_2$  y mantenidos a  $12^\circ\text{C}$

F. de V.	G.L	°Brix	Sacarosa	Glucosa	Fructosa
Temperatura Solución (TS)	1	0.0001ns	0.3**	2.0**	2.4**
Concentración (C)	2	0.8ns	3.6**	0.1**	0.0ns
TS*C.	2	1.8*	0.0ns	0.1**	1.2**
Almacenamiento (A)	1	2.3*	0.4**	0.1**	0.5**
TS*A	1	0.6ns	0.05**	0.0ns	0.0ns
C*A	2	0.07ns	0.2**	0.3**	2.3**
TS*C*A	2	2.3*	2.0**	0.9**	6.0**
Maduración compl. (MC)	1	3.8**	0.0*	0.1*	3.0**
TS*MC	1	1ns	0.1**	0.0ns	0.4**
C*MC	2	1.9*	0.0ns	0.1**	0.4**
TS*C*MC	2	0.3ns	0.1**	0.2**	0.3**
A*MC	1	5.6**	1.3**	0.5**	0.9**
TS*A*MC	1	0.1ns	1.0**	0.9**	2.1**
C*A*MC	2	2.6*	0.3**	0.3**	0.6**
TS*C*A*MC	2	0.3ns	0.1**	0.6**	0.2**
Error	72 <sup>y</sup>	0.5	0.004	0.009	0.008

Probabilidad: n.s. no significativo. \*, \*\*, significativo al  $P = 0.05$  o  $0.01$  respectivamente

<sup>y</sup> Grados de libertad del error de azúcares  $24(n=2)$ .

Dicha respuesta coincide con lo encontrado por García et al. (1996) en fresa, en la que los sólidos solubles aumentaron en respuesta a tratamientos de inmersión en soluciones de cloruro de calcio al 1%.

Los frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio a  $15^\circ\text{C}$  exhibieron aumento de sólidos solubles durante el tiempo de almacenamiento y durante la maduración complementaria. Los valores alcanzados en estos frutos (4.9%) resultan inferiores a los ya reportados para el fruto madurado en condiciones naturales o a  $20^\circ\text{C}$  (5.5-6%). Se destaca el hecho de que el proceso de maduración en el fruto continúa durante el almacenamiento a pesar de la disminución de la hidrólisis de polisacáridos por efecto de la refrigeración.

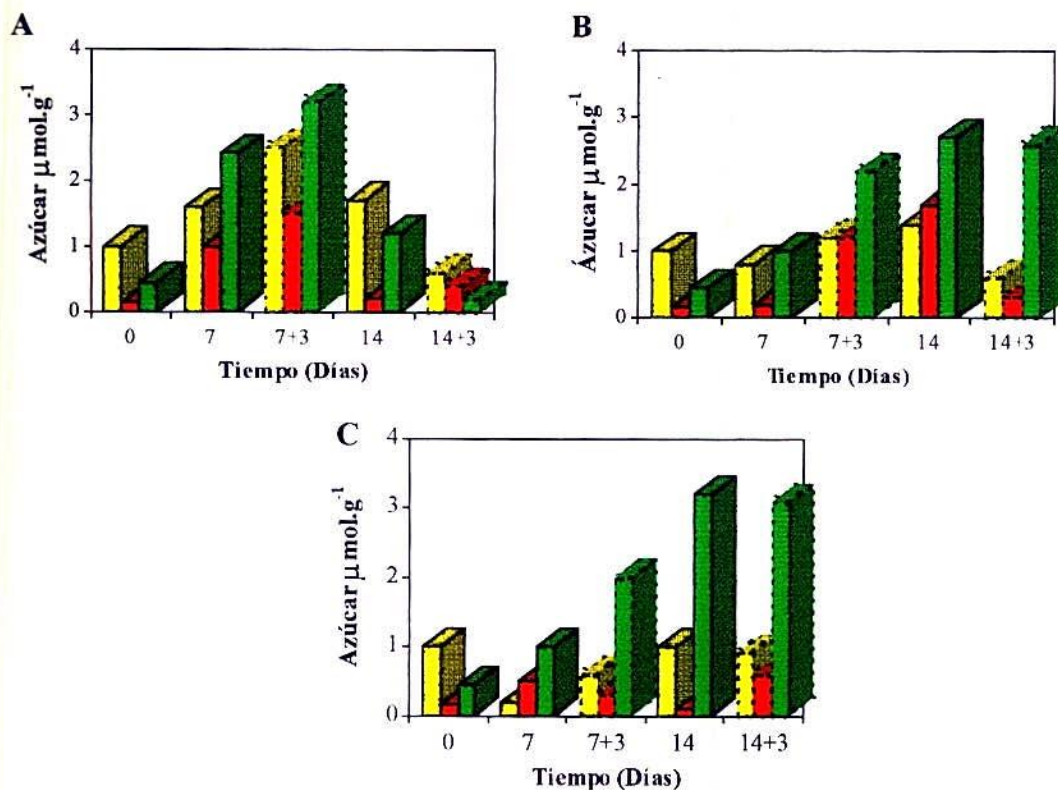
## Sacarosa

El contenido de sacarosa fue significativamente mayor en frutos de arazá control que en frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio a 4°C.

Los mayores contenidos se encontraron al final de la segunda semana de almacenamiento en los frutos control ( $2.50 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ ), seguidos por los frutos tratados con 0.36 y 0.72  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Sin embargo, los frutos que mayor contenido de sacarosa exhibieron al final de la maduración complementaria fueron frutos tratados con soluciones de 0.72  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.9 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Un comportamiento similar se encontró en frutos tratados con soluciones de calcio a 15°C. Los contenidos de azúcares fueron significativamente menores en frutos tratados que en los frutos control (tabla 5.5; figura 5.6 y 5.7). Los niveles de sacarosa en los frutos control no superaron  $2 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ , mientras que los niveles encontrados en los frutos tratados con cloruro de calcio fueron inferiores a  $1 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ .

Estas tendencias hacen plantear la hipótesis de que el tratamiento con sales de calcio influye en algunas enzimas del metabolismo de azúcares como la invertasa ácida, responsable del desdoblamiento de la sacarosa, Otra posible explicación es una baja síntesis de sacarosa y disminución de la hidrólisis de almidón.

Adicionalmente se encontró que a más baja temperatura de la solución de tratamiento se mantuvo una mayor concentración de sacarosa, con lo cual se puede suponer efecto de la baja temperatura en la conservación del fruto de arazá, que se refleja en la conservación de compuestos de reserva como la sacarosa.



**Figura 5.6.** Efecto de la inmersión de frutos de arazá en soluciones de 0 (A), 0.36 (B) y 0.72 mol.L<sup>-1</sup> (C) CaCl<sub>2</sub> mantenida a 4°C en el contenido de sacarosa, glucosa y fructosa (n=2). Temperatura de almacenamiento 12°C y 95% H.R. y maduración complementaria de 3 días a 20°C y 95% H.R. y maduración complementaria de 3 días a 20°C y 70% H.R.

### Glucosa

Los contenidos de glucosa fueron significativamente mayores en frutos de arazá tratados con soluciones de cloruro de calcio a 4°C que en frutos control. Los mayores contenidos de glucosa se encontraron en frutos tratados con 0.36 mol·L<sup>-1</sup> al final del almacenamiento (1.7  $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ ), seguido por el contenido de glucosa de frutos tratados con 0.72 mol·L<sup>-1</sup> al final del mismo período. Se puede suponer que el tratamiento con sales

de calcio disminuye la actividad de la invertasa ácida y contribuye a la conservación de las reservas del fruto. De esta manera se retrasa la maduración (figura 5.6)

El contenido de glucosa también fue significativamente menor durante el almacenamiento, en frutos tratados con soluciones de calcio de 0.36 y 0.72 mol·L<sup>-1</sup> a 15°C (tabla 5.5) que en frutos control. En los frutos control se registraron las mayores concentraciones de glucosa tras las dos semanas de almacenamiento (0.9 μmol·g<sup>-1</sup>), mientras que en los frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio los contenidos fueron menores de 0.5 μmol·g<sup>-1</sup> para las concentraciones de 0.36 y 0.72 mol·L<sup>-1</sup> (figura 5.7)

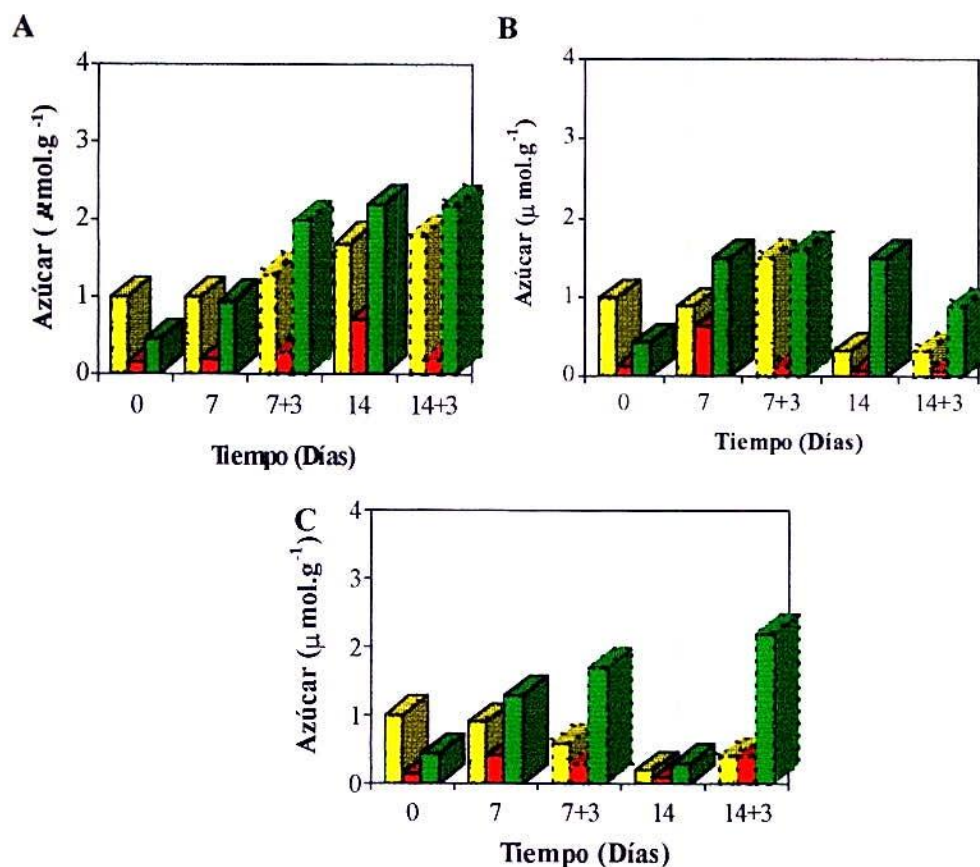
El CaCl<sub>2</sub> influye positivamente en la conservación de los niveles de azúcares en frutos enteros así como mínimamente procesados como en fresa (García et al., 1996; Rocha et al., 1998).

Se puede anotar que la menor temperatura de la solución pudo contribuir a una mayor conservación de frutos de arazá y actuar de manera sinérgica con la sal de calcio.

### **Fructosa**

Los contenidos de fructosa fueron significativamente mayores en frutos tratados con CaCl<sub>2</sub> a 4°C que en frutos control. (tabla 5.5, figuras 5.6 y 5.7). Los niveles del azúcar se mantuvieron durante el almacenamiento y en el período posterior de maduración complementaria en los frutos tratados, mientras que en los frutos control la concentración de fructosa disminuyó durante el período de maduración complementaria (figura 5.6).

Este comportamiento hace suponer de nuevo un efecto directo del tratamiento con sales de calcio en la prolongación de la vida de poscosecha del fruto de arazá ya que los azúcares se mantienen por más tiempo sin ser consumidos.



**Figura 5.7.** Efecto de la inmersión de frutos de arazá en soluciones de 0 (A), 0.36 (B) y 0.72  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  (C)  $\text{CaCl}_2$  mantenida a  $15^\circ\text{C}$  en el contenido de sacarosa, glucosa y fructosa ( $n=2$ ). Temperatura de almacenamiento  $12^\circ\text{C}$  y 95%HR y maduración complementaria de 3 días a  $20^\circ\text{C}$  y 70% H.R.

El contenido de fructosa de frutos de arazá tratados con soluciones de cloruro de calcio a  $15^\circ\text{C}$  mostró un comportamiento similar. Sin embargo, en estos tratamientos el contenido final de fructosa fue similar entre los frutos control y los frutos tratados con  $\text{CaCl}_2$ . Esta respuesta podría confirmar que el uso de una menor temperatura en la solución de inmersión puede tener efecto directo sobre el retraso de la maduración del fruto de arazá.

En el caso de los tratamientos con cloruro de calcio se han encontrado efectos indirectos, diferentes al aumento de la firmeza de la lamina media, como la disminución de la actividad respiratoria y la oxidación de sustancias de reserva (Conway et al., 1994).

### **Calidad**

En la tabla 5.6 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de calidad, color, marchitamiento, lesiones externas, antracnosis y pudriciones. Se observa que los efectos principales para los 3 factores fueron estadísticamente significativos al 5% o 1% en algunos casos; las interacciones de segundo, tercer, y cuarto grado no fueron significativas en la mayoría de los casos.

### **Color**

Los frutos de arazá tratados con soluciones de cloruro de calcio cambiaron de color de verde mate, grado 1 a grado 5 según la escala de color propuesta para frutos de arazá durante su maduración. Mientras que los frutos tratados con soluciones a 4°C no alcanzaron el cambio de color completo durante las dos semanas de almacenamiento. La temperatura de la solución influyó de manera altamente significativa en el cambio de color de los frutos tratados. A mayor temperatura de la solución, mayor cambio de color en el fruto (tabla 5.6) (fotos 5.2, 5.3, 5.5 y 5.7).

En los frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio a 4°C se encontró un efecto sinérgico de la temperatura de la solución y la concentración en referencia al cambio de color. Los frutos tratados con soluciones de mayor concentración fueron los que tuvieron menor cambio de color. Esta tendencia coincide con lo reportado por Poovaiah y Leopold (1973) para contenido de clorofila en la hoja, la cual se degrada en menor proporción por efecto de tratamiento con  $\text{Ca}^{++}$ .

**Tabla 5.6.** Cuadrados medios del análisis de varianza para parámetros de calidad en frutos de arazá tratados con  $\text{CaCl}_2$  y almacenados a  $12^\circ\text{C}$ .

F. de V.	G.L	Color	Marchitamiento	Antracnosis	Lesiones externas	Pudriciones
Temperatura	1	2.3**	0.9ns	288.0**	95.7**	14.2ns
Solución (TS)						
Conc.(C )	2	15.6**	17.1**	17.3*	823.7**	116.8**
TS*C.	2	0.4ns	104.8**	111.5**	5.1ns	11.0ns
Almacen.(A)	1	41.3**	264.5**	401.4**	86.7**	480.5**
TS*A	1	1.8**	3.6ns	37.6*	1.7ns	2.7ns
C*A	2	0.4ns	13.9**	8.0ns	133.6**	0.3ns
TS*C*A	2	0.1ns	11.0**	28.8*	77.1**	10.3ns
Mad compl.(MC)	1	19.3**	206.7**	213.6**	183.7**	150.2**
TS*MC	1	0.3ns	0.9ns	0.1ns	48.3**	26.9*
C*MC	2	0.3ns	5.0ns	0.8ns	2.1ns	6.8ns
TS*C*MC	2	0.1ns	2.8ns	32.1**	13.7*	8.4ns
A*MC	1	12.8**	0.1ns	32.0**	11.7ns	40.5**
TS*A*MC	1	0.1ns	14.2**	6.7ns	8.7ns	34.7*
C*A*MC	2	0.0ns	1.9ns	1.1ns	29.6**	5.3ns
TS*C*A*MC	2	0.0ns	4.2ns	2.3ns	30.1**	10.9ns
Error	72 <sup>y</sup>	0.23	1.93	5.72	3.54	5.04

Probabilidad: n.s. no significativo. \*, \*\*, significativo al  $P = 0.05$  o  $0.01$  respectivamente

El cambio de color de los frutos disminuyó en frutos tratados con soluciones de  $\text{CaCl}_2$  a  $15^\circ\text{C}$ , retrasándose la aparición del color amarillo (grado 5 de la escala para el fruto); El color de los frutos no fue característico brillante, sino algo más opaco (fotos 5.10 y 5.11). La diferencia de tonalidad podría estar asociado con una posible toxicidad de las soluciones empleadas. Autores como Conway y Sams (1985; 1987) explican que el calcio puede llegar a ser tóxico sino se enjuagan posteriormente los frutos tratados. En el caso de arazá, la ausencia de color característico al final del almacenamiento podría estar asociada a una posible toxicidad de la solución, ya que en el tratamiento aplicado no se hizo enjuague posterior.

La respuesta del cambio de color en el fruto de arazá tratado con sales de calcio coincide con lo reportado para manzanas cv. 'Golden Delicious' por Sams et al. (1993) y Lurie et al. (1996), en las cuales el control de la maduración, además de involucrar el mantenimiento de la firmeza, disminuyó el cambio de color y de la actividad respiratoria (Eaks, 1985).

## Pérdida de peso

La pérdida de peso de frutos de arazá tratados con soluciones de cloruro de calcio estuvo influenciada de manera significativa por la concentración de la solución, pero no por la temperatura de inmersión (tabla 5.7).

**Tabla 5.7.** Cuadrados medios del análisis de varianza para la variable pérdida de peso en frutos de arazá tratados con  $\text{CaCl}_2$  y almacenados a  $12^\circ\text{C}$

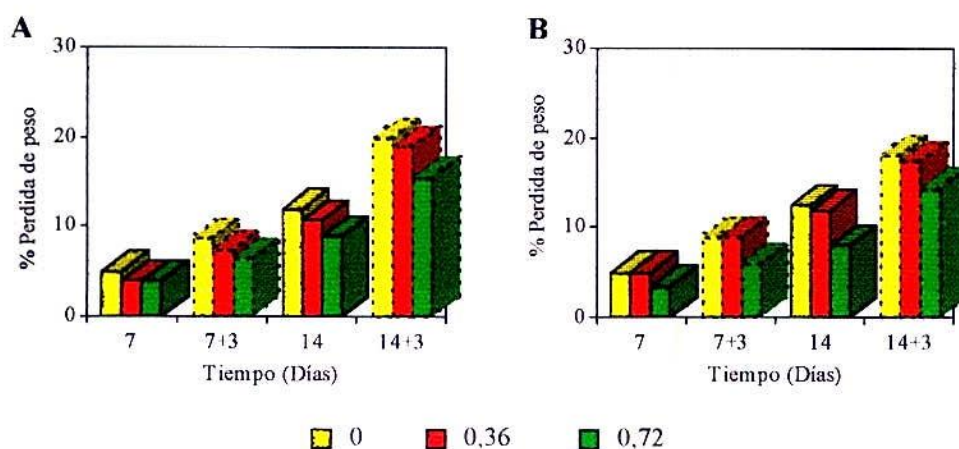
F. de V.	G.L.	Pérdida de Peso
Temperatura Solución (TS)	1	0.5ns
Concentración (C)	2	79.6**
TS*C	2	5.1ns
Maduración complementaria (MC)	1	601.0**
TS*MC	1	4.2ns
C*MC	2	1.4ns
TS*C*MC	2	0.7ns
Error A	36	18.8
Almacenamiento (A)	1	1539.2**
TS*A	1	4.8ns
C*A	2	7.4*
A*MC	1	67.3**
TS*C*A	2	0.1ns
TS*A*MC	1	6.1ns
C*A*MC	2	0.4ns
TS*C*A*MC	2	1.6ns
Error B	36	2.25

Probabilidad: n.s. no significativo. \*, \*\*, significativo al  $P = 0.05$  o  $0.01$  respectivamente

Los frutos control tratados con soluciones a  $4^\circ\text{C}$  presentaron pérdidas de peso hasta de un 20% para el final del almacenamiento. Dichas pérdidas disminuyeron hasta un 15% en frutos tratados con la solución de cloruro de calcio de  $0.72 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  (figura 5.6). Esta disminución de pérdida de peso coincide con la tendencia general indicada en el estudio del mismo tratamiento en otros frutos y hortalizas (Poovaiah, 1986).

En el caso de frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio a  $15^\circ\text{C}$  las pérdidas de peso fueron similares conservando la misma relación. Los frutos tratados con la solución

de mayor concentración fueron los que presentaron menores pérdidas de peso en el tiempo de evaluación, tal como lo encontraron Wills y Tirmazi (1982) en estudios con aguacate (figura 5.8).



**Figura 5.8.** Efecto de la inmersión de frutos de arazá en soluciones de 0, 0.36 y 0.72 mol·L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> mantenidas a (A) 4° y (B) 15°C en la pérdida de peso. Temperatura de almacenamiento 12°C.

En ambas temperaturas de solución (4 y 15°C) se encontró que en periodos de maduración complementaria el porcentaje de pérdida se incrementó en casi un 20%. Dicho comportamiento hace suponer que los frutos transferidos a la temperatura de 20°C aumentan su actividad respiratoria, la cual había disminuido por efecto del tratamiento con la sal de calcio, así como por la temperatura de almacenamiento (12°C).

La combinación del tratamiento con CaCl<sub>2</sub> y el uso de envolturas o recubrimientos podría ser una alternativa para reducir las pérdidas de peso durante o tras la conservación de fruto de arazá, tal y como se ha descrito para la manzana (Saftner et al., 1998a).

## Marchitamiento

Los frutos de arazá tratados con soluciones de cloruro de calcio no mostraron diferencias estadísticas del porcentaje de marchitamiento entre tratamientos (tablas 5.7 y 5.8). El porcentaje de marchitamiento aumentó durante el almacenamiento y en los períodos de maduración complementaria tras la primera y la segunda semana de almacenamiento, en ambas temperaturas de la solución. De manera general, el porcentaje del daño alcanzó un porcentaje final mayor del 10% en todos los tratamientos. En los frutos tratados con soluciones de 4°C, el menor porcentaje de marchitamiento, se encontró en frutos tratados con las soluciones de cloruro de calcio 0.72 mol·L<sup>-1</sup> (6.3%), mientras que el mayor marchitamiento se encontró en frutos tratados con la solución de 0.36 mol·L<sup>-1</sup> durante el almacenamiento de dos semanas. Sin embargo al final de la maduración complementaria, tras dos semanas de almacenamiento, el marchitamiento fue similar en todos los tratamientos de 4°C (tabla 5.8).

En frutos tratados con soluciones de calcio de 15°C se encontró que el menor porcentaje de marchitez lo presentaron los frutos tratados con la solución de 0.36 mol·L<sup>-1</sup> durante la primera y segunda semana de almacenamiento, así como en los períodos de maduración complementaria correspondiente. Los frutos control y frutos tratados con soluciones de 0.72 mol·L<sup>-1</sup> mostraron similares porcentajes de marchitez en los períodos de almacenamiento y maduración complementaria.

La apariencia marchita en el fruto de arazá tratado con soluciones de CaCl<sub>2</sub> pudo deberse a que los frutos no se enjuagaron después de la inmersión y tal como lo plantean Saftner et al. (1998); dicho procedimiento puede causar algún tipo de toxicidad que incide en el marchitamiento de los frutos dado que éstos absorben cantidades mayores de Ca<sup>++</sup>. El marchitamiento también podría atribuirse a algún tipo de lesión como quemaduras, las

cuales se vieron incrementadas por efecto del uso de la sal de calcio y el almacenamiento refrigerado.

**Tabla 5.8.** Efecto de la inmersión en soluciones de  $\text{CaCl}_2$  en variables de calidad de frutos de arazá almacenados a  $20^\circ\text{C}$  durante una semana.

Tratamiento				Marchitamiento (%)	Antracnosis (%)	Alteraciones del epicarpio (%)	Pudriciones (%)
Temper. Sol. ( $^\circ\text{C}$ )	$[\text{CaCl}_2]$ mol-L $^{-1}$	Almacena.	Madura comple				
4	0	7	0	5	7	0	9
4	0	7	1	9	7	0	10
4	0	14	0	7	9	0	10
4	0	14	1	11	11	0	17
4	0.36	7	0	5	8	9	5
4	0.36	7	1	8	11	9	6
4	0.36	14	0	11	14	9	7
4	0.36	14	1	15	23	11	18
4	0.72	7	0	4	9	7	8
4	0.72	7	1	5	11	12	10
4	0.72	14	0	6	14	13	13
4	0.72	14	1	12	19	15	16
15	0	7	0	6	4	0	6
15	0	7	1	11	9	13	10
15	0	14	0	11	9	0	13
15	0	14	1	14	6	0	15
15	0.36	7	0	1.0	4	5	4
15	0.36	7	1	5.0	5	8	5
15	0.36	14	0	6.0	7	13	8
15	0.36	14	1	9.3	9	18	9
15	0.72	7	0	8.0	6	10	10
15	0.72	7	1	11	9	13	10
15	0.72	14	0	11	7	14	13
15	0.72	14	1	11	10	19	15
DMS Tukey 5%				ns	ns	5.22	ns
ns : no significativo							

No se encontraron diferencias significativas en el comportamiento de la variable marchitamiento en frutos de arazá tratados con soluciones de cloruro de calcio a 4 y  $15^\circ\text{C}$ . De manera general, los frutos de arazá tratados con soluciones de cloruro de calcio

respondieron de manera semejante a otros frutos en lo referente a la disminución de pérdida de peso y marchitamiento comparados con frutos refrigerados sin ningún tratamiento (Conway y Sams, 1987).

### **Antracnosis**

Los frutos tratados con soluciones de calcio no mostraron diferencias estadísticas en la incidencia del ataque de *Gloeosporium* sp. entre tratamientos. Sin embargo, se resaltan algunos resultados relevantes que se describen a continuación. La antracnosis fue mayor en frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio de  $0.36 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  a  $4^{\circ}\text{C}$  (23%), mientras que los frutos control y los tratados con la solución de mayor concentración alcanzaron niveles de ataque que ascendieron a 11 y a 19% (tablas 5.7 y 5.8). Por el contrario, en los frutos tratados con las soluciones a  $15^{\circ}\text{C}$  se presentó la menor incidencia del patógeno.

La mayor incidencia de antracnosis en frutos tratados con soluciones a  $4^{\circ}\text{C}$  podría explicarse como aumento de la susceptibilidad de los frutos al patógeno. Es posible que el epicarpio del fruto pueda sufrir alteraciones en el tratamiento con solución a la más baja temperatura que faciliten el desarrollo del patógeno.

Al compararse este comportamiento con el comportamiento reportado en frutos de manzana y albaricoque se encuentra que en estas especies la incidencia de patógenos se vio significativamente disminuida por la acción del calcio, posiblemente como consecuencia de un aumento de la resistencia de la lamina media de la pared celular y por ende disminución de la incidencia de patógenos (Sams y Conway, 1984; Sams et al., 1993; Tzotzoukou y Bouranis, 1997).

De manera semejante estas observaciones difieren de García et al. (1996) y Mohamed (1991), en fresas y cultivares de ají (*Capsicum frutescens*) en los que la pudrición se vio claramente disminuida por la acción del calcio. No existe una referencia que pueda

explicar este comportamiento, aunque podría atribuirse a que la sal de calcio es un compuesto higroscópico, ávido de agua en cuyo medio los microorganismos pueden crecer fácilmente.

### **Alteraciones del epicarpio del fruto**

Las lesiones externas del epicarpio del fruto de arazá se presentaron como abrasiones en su superficie del fruto. Empezaron como decoloraciones del tejido que luego se tornaban ligeramente café. Estuvieron asociados a zonas que continuaron de color verde aun, cuando el resto del fruto había cambiado de color. Las lesiones ya producidas fueron fácilmente contaminadas por levaduras que generan puntos blancos en el tejido.

Los frutos tratados con cloruro de calcio mostraron un porcentaje significativamente mayor de lesiones en el epicarpio que los frutos testigo, aunque las lesiones se presentaron inclusive en algunos frutos testigos del tratamiento con soluciones a 15°C. Dichas lesiones podrían asociarse con daño por frío, de acuerdo con la descripción de Galvis y Hernández (1993). Sin embargo, en el caso de frutos tratados con cloruro de calcio, estas lesiones podrían estar asociadas con susceptibilidad a las bajas temperaturas inducidas por las soluciones. También podrían ser iniciadas por quemadura debido a la acción del producto sobre el epicarpio. Por otra parte, en el caso de higos tratados con soluciones de cloruro se reporta cierta susceptibilidad al daño por frío (Schirra et al., 1999)

Los frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio a 4°C presentaron una menor incidencia de lesiones externas que los frutos tratados con soluciones a 15°C. La solución de 0.36 mol·L<sup>-1</sup> mostró un nivel de lesión de 9%, mientras que en frutos tratados con soluciones de 0.72 mol·L<sup>-1</sup> el nivel de daño alcanzó un 15% después del almacenamiento, durante la maduración complementaria (tabla 5.8).

En frutos tratados con soluciones a 15°C, el nivel de incidencia fue significativamente mayor, en general (tabla 5.11) y en la solución de mayor concentración el porcentaje de daño fue cercano al 20%.

### **Pudriciones**

Los ataques secundarios más frecuentes en los frutos de arazá son debidos a levaduras y en algunas ocasiones a *Curvularia* sp. En frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio no se encontraron diferencias estadísticas para este tipo de pudriciones (tabla 5.8) entre frutos tratados con las soluciones mantenidas a 4°C o a 15°C y los frutos control.

A pesar de no encontrarse diferencias entre los tratamientos evaluados, se destacan algunos aspectos tales como que el porcentaje de pudrición en frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio a 4°C no mostró diferencias entre el control y los tratamientos. Por el contrario, frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio de 0.36 mol·L<sup>-1</sup> a 15°C presentaron menor porcentaje de pudriciones durante el almacenamiento y en la maduración complementaria (9%) (tabla 5.8) (foto 5.3).

Estas tendencias permiten afirmar que el tratamiento con cloruro de calcio disminuye la incidencia de algunos patógenos en frutos de arazá durante la poscosecha, lo cual coincide con la mayoría de autores quienes afirman que el tratamiento con cloruro de calcio disminuye la incidencia de patógenos en los frutos (García et al., 1996; Lurie et al., 1996; Poovaiah, 1986; Sams et al., 1993; Tzoutzoukou y Bouranis, 1997).

Se evidencia que la concentración de la solución de cloruro de calcio apropiada para tratar el fruto de arazá está alrededor de 0.36 mol·L<sup>-1</sup>; sin embargo, los resultados no fueron concluyentes en cuanto a la temperatura de la solución.

## CONCLUSIONES

Los frutos de arazá pueden ser tratados con soluciones de cloruro de calcio de  $0.36 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  para obtener la mayor prolongación de la vida útil del producto, mientras que concentraciones mayores de cloruro de calcio pueden resultar fitotóxicas.

Los tratamientos de cloruro de calcio mostraron un efecto directo en la conservación del fruto de arazá, disminuyendo las pérdidas de peso y retrasando la maduración. Los niveles de ácidos málico y cítrico y azúcares se mantuvieron con relación a los frutos recién cosechados. En estos tratamientos los niveles de fructosa fueron los más altos entre los azúcares. La firmeza de los frutos puede incrementarse como resultado del tratamiento de calcio, el cual aumentó en el fruto. En la medida en que la firmeza del fruto aumente, la manipulación del fruto en fresco se hace viable y se pueden colonizar nuevos mercados. El contenido de ácido ascórbico no aumentó en frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio, lo cual permite suponer un retraso de la maduración del fruto, ya que se ha encontrado que los contenidos de este ácido aumentan en el arazá durante su maduración.

La temperatura de la solución de cloruro de calcio podría no ser determinante en el efecto del calcio; sin embargo, el preenfriamiento del fruto a  $4^{\circ}\text{C}$  evitó las respuestas fitotóxicas durante la conservación y comercialización y ayudó a reducir el consumo de sustratos respiratorios (azúcares y ácidos orgánicos).

Los frutos de arazá pueden ser tratados con soluciones de cloruro de calcio de  $0.36 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  para obtener la mayor prolongación de la vida útil del producto, mientras que concentraciones mayores de cloruro de calcio pueden resultar fitotóxicas.

Existe un efecto sinérgico entre la baja temperatura de almacenamiento y el tratamiento con sales de calcio. Para que la vida útil del producto se mantenga durante el

almacenamiento se recomienda la combinación del tratamiento con cloruro de calcio y refrigeración. Eventualmente, el uso de recubrimientos podría combinarse con el tratamiento de cloruro de calcio para prolongar la vida de poscosecha del fruto de arazá.

De manera general, se encontró que las soluciones de calcio utilizadas no inciden de manera directa en la conservación de la firmeza y en cambio se aumenta moderadamente la susceptibilidad del fruto de arazá a pudriciones y a daño por frío especialmente a concentraciones de  $0.72\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Existe un efecto sinérgico entre la baja temperatura de almacenamiento y el tratamiento con sales de calcio. Para que la vida útil del producto se mantenga durante el almacenamiento se recomienda la combinación del tratamiento con cloruro de calcio y refrigeración. Eventualmente, el uso de recubrimientos podría combinarse con el tratamiento de cloruro de calcio para prolongar la vida de poscosecha del fruto de arazá.

## LITERATURA CITADA

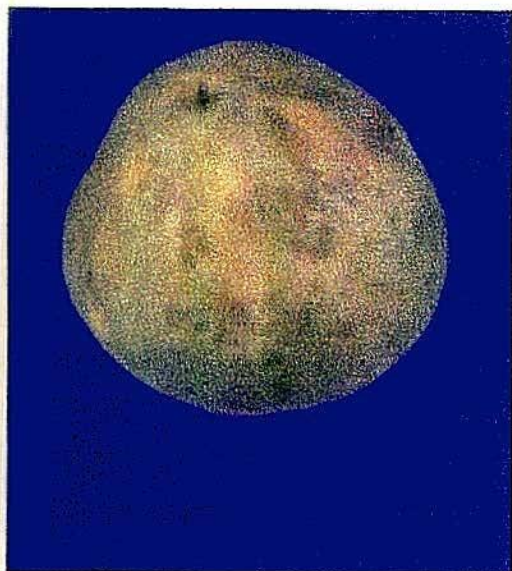
- Álvarez, N., R. Guzmán y J.A. Galvis. 1993. Conservación de guanábana utilizando cloruro de calcio. Facultad de Ciencias. Departamento de Química Tesis. 60 p. (Inéd).
- AOAC 1995. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, ed. P.A. Cunniff, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Agustí, M. 2000. En Azcon- Bieto, J. y M. Talón (eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana - Edicions Universitat de Barcelona., p. 431.
- Biale, J.B. y R.E. Young. 1981. Respiration and ripening in fruits-Retrospect and Prospect. En: Friend, J y M.J.C. Rhodes (Eds). Recent advances in the biochemistry of fruit and vegetables. Academic Press Publishing. p.1-39.
- Brady, C.J. 1987. Fruit ripening. Annual Review of Plant Physiology 38: 155-178.
- Conway, W.S. y C.E. Sams. 1985. Influence of fruit maturity on the effect of postharvest calcium treatment on decay of Golden Delicious apples. Plant Diseases 69: 42-44.
- Conway, W.S. y C.E. Sams. 1987. The effects of postharvest infiltration of calcium, magnesium or stronium on decay, firmness, respiration and ethylene production in apples. Journal of the American Society for Horticultural Science 112: 300-303.
- Conway, W.S., C.E. Sams y C.Y. Wang, J.A. Abbot. 1994. Additive Effects of postharvest calcium and heat treatment on reducing decay and maintaining quality in apples. Journal of the American Society for Horticultural Science. 119 (1): 49-53.

- Fernández-Trujillo, J.P., J.F. Nock y C.B. Watkin. 1999. Fermentative metabolism and organic acid concentrations of strawberry fruit cultivars with different tolerances to carbon dioxide. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124:696-701.
- Eaks, I.L. 1985. Effect of calcium on ripening, respiratory rate, ethylene production, and quality of avocado fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 110:145-148.
- Galvis, J. A y A. Ramírez. 1993. Estudio del comportamiento del lulo (*Solanum quitoense* Lam) durante el almacenamiento utilizando cloruro de calcio a temperatura ambiente. *Memorias del I Congreso de Fruticultura de Clima Frío. Villa de Leyva.* p. 55-60.
- Galvis, J.A. y M.S. Hernández. 1993. Comportamiento fisiológico del arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. *Colombia Amazónica* 6: 123-134.
- Galvis, J.A. y M. S. Hernández. 1994. Influencia del cloruro de calcio en la conservación del mango (*Mangifera indica*) cv. Tommy Atkins. *Agronomía Colombiana* 11 (1-2): 68-72.
- García, J.M., S. Herrera y A. Morilla. 1996. Effects of postharvest dips in calcium chloride on strawberry. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 44: 30-33
- Giraldo, B., P.E Bucheli y H. Pérez. 2000. Caracterización de prácticas agroforestales tradicionales en la Amazonía norte colombiana (Departamento del Guaviare). *Produmedios.* 27 p.
- Harker, F.R. e I.B. Ferguson. 1989. Transport of calcium across cuticles isolated from apple fruit. *Scientia Horticulturae* 36: 205-217.
- IDEAM, 2000. Reportes meteorológicos de las estaciones del aeropuerto de la ciudad de Florencia, Caquetá. Últimos diez años (Inéd.)
- Kader A.A. y S.K. Lee. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20: 207-220.
- Klein, J.D., S. Lurie y R. Ben-Arie. 1990. Quality and cell wall composition of 'Anna' and 'Granny Smith' apples treated with heat, calcium, and ethylene. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115: 954-958.
- Lurie, S. y J.D. Klein. 1992. Calcium and heat treatments to improve storability of 'Anna' apples. *Horticultural Science* 27:36-39.
- Lurie, S., E. Fallik y J.D. Klein. 1996. The effect of heat treatment on apple epicuticular wax and calcium uptake. *Postharvest Biology and Technology* 8: 271-277.
- Mattoo, AK., T. Murata, Er.B. Pantástico, K. Chachin, K. Ogata y C.T. Phan. 1984. Cambios químicos durante la maduración y senescencia. En: Pantástico, Er.B. *Fisiología de la postrecolección manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales* AVI Publishing. Westport. p.129-156.
- Mir, N.A., J.N. Bhat, A.R. Bhat. 1993. Effect of calcium infiltration on storage behaviour of red delicious apples. *Indian Journal of Plant Physiology* 36 (1): 65-66.
- Mohamed, M. 1991. Effects of post-harvest dips on the storage quality of fruit from two hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cultivars. *Tropical Agriculture (Trinidad)*. 68 (1): 81-87.

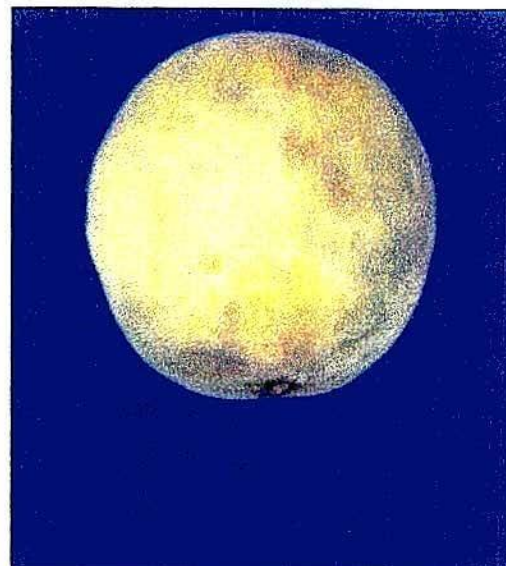
- Orduz, J.O. 2000. Introducción, conservación y evaluación de frutales exóticos y promisorios en el piedemonte llanero con alta potencialidad en el mercado regional y nacional. Corpoica- Pronatta. Informe Técnico Final. p. 1-100 (Inéd)
- Picchioni, G.A., A.E. Watada, B.D. Whitaker, A. Reyes. 1996. Calcium delays senescence-related membrane lipid changes and increases net synthesis of membrane lipid components in shredded carrots. *Postharvest Biology and Technology* 9: 235-245.
- Poovaliah, B.W. y A.C. Leopold. 1973. Differal of leaf senescence with calcium. *Plant Physiology* 52: 236-239.
- Poovaliah, B.W. 1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. *Food Technology* 40: 86-89.
- Preston, R.D. 1979. Polysaccharide formation and cell wall function. *Annual Review of Plant Physiology* 30: 55-78.
- Rocha, A.M.C.N., C.M Brochado y A.M.M.B Morais. 1998. Influence of chemical treatment on quality of cut apple (c.v. Jonagold). *Journal of Food Quality* 21: 13-28.
- Saftner, R.A., W.S. Conway y C.E. Sams. 1998 a. Effects of postharvest calcium and fruit coating treatments on postharvest life, quality maintenance, and fruit-surface injury in 'Golden Delicious' apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123 (2): 294-298.
- Saftner, R.A., W.S. Conway y C.E. Sams. 1998 b. Effects of postharvest calcium chloride treatments on tissue water relations, cell wall calcium levels and postharvest life of 'Golden Delicious' apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123 (5): 893-897.
- Sams, C.E. y J. E. Conway. 1984. Effect of calcium infiltration on ethylene production, respiration rate, soluble polyuronide content, and quality of 'Golden Delicious' apple fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109:53-57.
- Sams, C.E. W. S. Conway; J. A. Abbott; R. J. Lewis y N.Ben-Shalom. 1993. Firmness and decay of apples following postharvest pressure infiltration of calcium and heat treatments. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118(5): 623-627.
- Schirra, M.,P. Inglese y T. La Mantia. 1999. Quality of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) fruit in relation to ripening time, CaCl<sub>2</sub> preharvest sprays and storage conditions. *Scientia Horticulturae* 81: 425-436.
- Seymour, G.B., J.E. Taylor y G.A. Tucker. 1993. Introducción. En: Seymour, G.B., J.E. Taylor y G.A. Tucker (eds). *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman & Hall, U.K. p. 1-52.
- Singh, B.P, D.K. Tandon y S.K. Kaira. 1993. Changes in postharvest quality of mangoes affected by preharvest application of calcium salts. *Scientia Horticulturae* 54: 211-219.
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie, 1985. Análisis de varianza IV: Diseño y análisis de parcelas divididas. *Bioestadística. Principios y procedimientos*. Segunda edición. Mc Graw-Hill. p. 368-386.
- Tai Chun, P.A. 1995. Pre and postharvest pest and diseases of araza (*Eugenia stipitata*) in Costa Rica. IICA Headquarters/Costa Rica. p. 1-63.

- Tingwa, P.O., y R.E.Young. 1974. The effect of calcium on the ripening of avocado (*Persea americana* Mill). *Journal of the American Society for Horticultural Science* 99: 540-542.
- Tzoutzoukou, C.G. y D.L. Bouranis. 1997. Effect of preharvest application of calcium on the postharvest physiology of apricot fruit. *Journal of Plant Nutrition* 20: (2-3): 295-309.
- Wills, R.B.H. y S.I.H. Tirmazi. 1982. Inhibition of ripening of avocados with calcium. *Scientia Horticulturae* 16: 323-330.

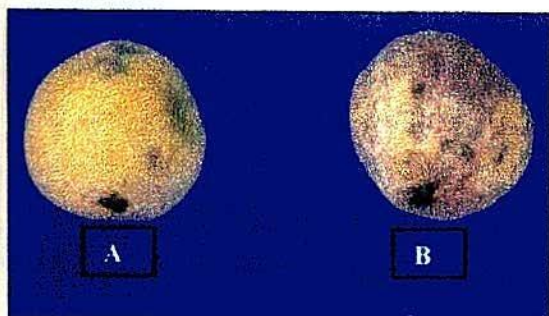
**FOTOS DEL FRUTO DE ARAZA TRATADOS CON CLORURO DE CALCIO  $\text{CaCl}_2$**



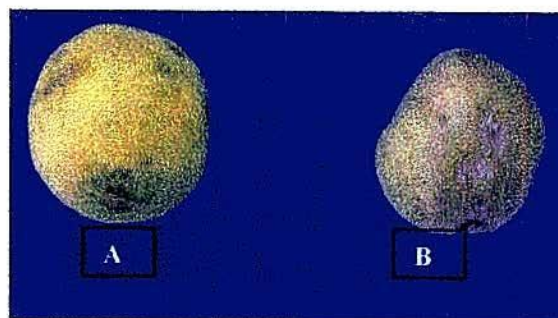
**Foto 5.1.** Fruto de arazá tratado con solución de  $\text{CaCl}_2$  de  $0.72 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ . T.Sol  $4^\circ\text{C}$



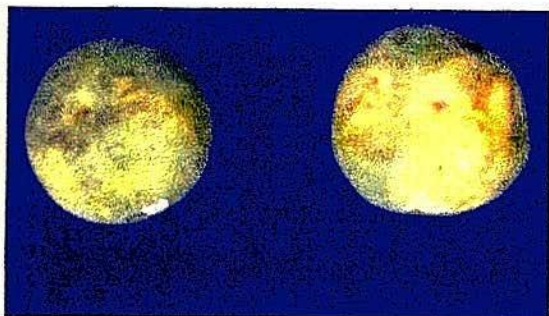
**Foto 5.2.** Fruto de arazá tratado con solución de  $\text{CaCl}_2$  de  $0.72 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ . T.Sol  $15^\circ\text{C}$



**Foto 5.3.** Frutos de arazá control (A) y tratados con solución de  $0.36 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  (B). T.S  $15^\circ\text{C}$



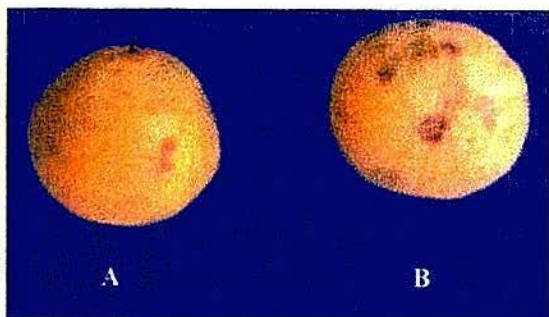
**Foto 5.4.** Frutos de arazá control (A) y tratados con solución de  $0.36 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  (B). T.S  $4^\circ\text{C}$



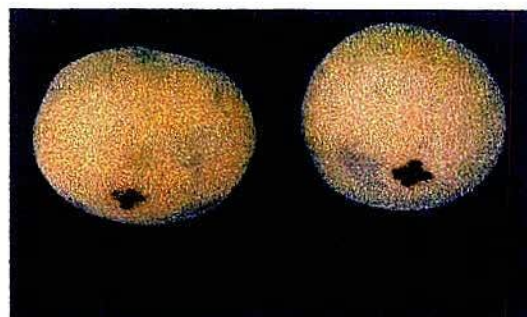
**Foto 5.5.** Frutos de arazá tratados con solución  $\text{CaCl}_2$  de  $0.72 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  TS  $15^\circ\text{C}$



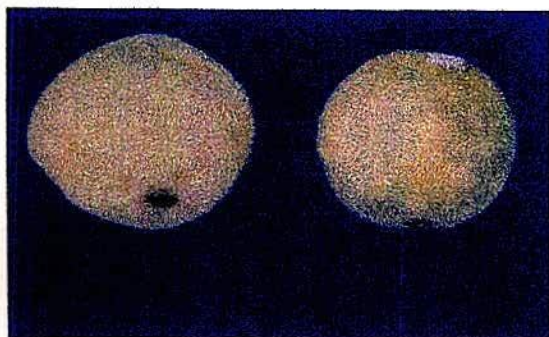
**Foto 5.6.** Frutos de araza control.



**Foto5.7.** Frutos de arazá tratados con soluciones de  $\text{CaCl}_2$  de  $0.36 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  (A)  $15^\circ\text{C}$  y (B)  $4^\circ\text{C}$ .



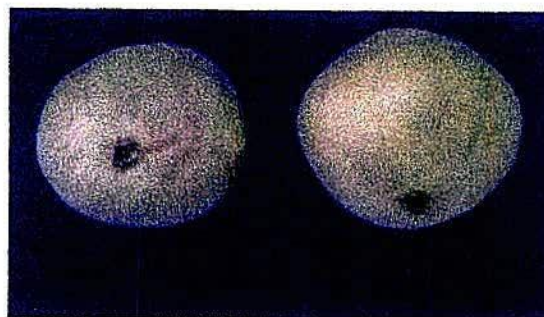
**Foto5.8.** Frutos control tratados con agua a  $15^\circ\text{C}$



**Foto 5.9.** Frutos de arazá tratados con soluciones de  $\text{CaCl}_2$ . Maduración irregular



**Foto 5.10.** Frutos de arazá tratados con agua a  $15^\circ\text{C}$  (A) y  $4^\circ\text{C}$  (B)



**Foto 5.11.** Frutos de arazá tratados con solución de  $\text{CaCl}_2$  mantenida a  $15^\circ\text{C}$

## **UN UNICO PERIODO DE CALENTAMIENTO PARA PROLONGAR LA VIDA DE ALMACENAMIENTO A FRUTOS DE ARAZA**

**6**

### **RESUMEN**

Frutos de arazá en estado verde maduro, provenientes de la finca 'Copoazú' ubicada en el Municipio de El Doncello, Caquetá, con temperatura promedia anual de 25°C, humedad relativa del 85%, precipitación promedia de 3600 mm/año y 1500 horas/año, fueron almacenados a temperatura de 10°C y acondicionados después de la primera semana de almacenamiento con ciclos de calentamiento de 0, 6, 12 y 18 horas a 20°C. Los frutos testigo no completaron su maduración y permanecieron con la coloración inicial de cosecha, presentaron acidificación y disminución de la concentración de azúcares. Aunque los frutos tratados resultaron en general un poco más blandos que los frutos control, la calidad sensorial, microbiológica y fisicoquímica fue superior a la de frutos control. Los frutos tratados con 18h-20°C resultaron menos susceptibles a daños por frío y a ataques de patógenos y presentaron cambio total de color, mayor concentración de ácidos y azúcares, así como de vitamina C en comparación con el testigo a 10°C

Palabras claves: Acondicionamiento, ácidos orgánicos, azúcares, desórdenes fisiológicos, ácido ascórbico.

### **A SINGLE FRUIT WARMING DURING COLD STORAGE EXTENDS STORAGE LIFE OF ARAZA FRUITS**

#### **SUMMARY**

The study was carry out with samples collected in El Doncello, Caqueta in the Copoazú orchard. The place presents 25°C, average temperature, 85% of R.H, sun bright of 1500 h/year and pluviosity of 3600 mm. Green mature araza fruits were stored at 10°C and warmed up after the first week of storage for 0, 6, 12 and 18 hours at 20°C. The fruits so treated keep sugar and organic acid levels as similar as harvest fruits compared to control

fruits that were stored at constant temperature of 10°C. Although treated fruits were softer than control fruits, sensory, microbiological and physico-chemical quality were superior to control fruits. Treated fruits for 18 h at 20°C showed change of color and concentration of sugars and acids and vitamin C content. Such fruits were less susceptible to chilling injury and pathogens. Control fruits did not complete maturation and kept the initial color they had at harvest time and showed acidification

Key words: Conditioning, organic acids, physiological disorders, sugars, ascorbic acid.

## INTRODUCCION

El arazá es una *Myrtaceae* domesticada en la Amazonia occidental cuyos principales atractivos radican en sus características sensoriales y su alta capacidad productiva en los suelos pobres característicos de la región. El fruto de arazá constituye un importante aporte a la dieta humana por su moderado contenido de vitaminas A, C y minerales (Barrera et al., 1996, Gentil y Clement, 1997; Gentil y Ferreira, 1999).

El fruto de arazá es susceptible al daño por frío a temperaturas de almacenamiento inferiores a 12°C. Los síntomas más frecuentes del daño por frío en el fruto incluyen picado de la superficie, maduración irregular e incremento de pudrición ocasionada por *Gloeosporium* sp. Así mismo, el daño se asocia a endurecimiento anormal de los tejidos o en ocasiones a un ablandamiento indeseable (Arckoll, 1991; Galvis y Hernández, 1993; Hernández et al., 1999; Tai Chun, 1995).

Los calentamientos intermitentes son un tipo de tratamiento térmico que consiste en la interrupción del almacenamiento a bajas temperaturas, con uno o más períodos de elevación de la temperatura (Wang, 1982; 1993; 1994). Las bases bioquímicas de la respuesta de los productos sometidos a estos tratamientos están asociadas al aumento de la actividad respiratoria y emisión de etileno, con lo cual se eliminan compuestos orgánicos

volátiles perjudiciales, y se contribuye a la restauración de la integridad de la ultraestructura celular lo que restablece el metabolismo normal.

La acción combinada de frío y calor estimula la biosíntesis de ácidos grasos insaturados que protegen la integridad de las membranas. Adicionalmente, los tratamientos de calentamiento intermitente reducen el contenido del ácido 1 aminociclopropano carboxílico y la actividad ACC oxidasa (Artés, 1995).

El tratamiento de calentamiento intermitente ha sido utilizado para aliviar el daño por frío y la pudrición asociada a este daño en otras especies, de origen tropical y subtropical tales como tomate, limón cv. Franka, Primofiori y Verna, naranja cv. Valencia, Clementina y Navel, melocotón, granada y manzana entre otros (Artés y Escriche 1994; Artés et al., 1998 a,b; Fernández-Trujillo et al., 1998; Fernández-Trujillo y Artés, 1998; Watkins y Alwan, 1999).

Los efectos benéficos del calentamiento intermitente en estas especies se resumen en un retraso en la aparición o en la disminución de la severidad del daño por frío sobre los frutos, caso de la manzana (Watkins y Alwan, 1999), alivio de los desordenes causados por la emisión de etileno y la actividad respiratoria como se ha encontrado en melocotón (Fernández-Trujillo et al. 1998), degradación de aceites esenciales en cítricos (Artés, 1995). En frutos de granada, los ciclos de calentamiento intermitente permiten mantener el color característico de los mismos cuando se almacenan a temperaturas inferiores a la temperatura crítica, y disminuir el ataque por hongos. En este fruto se encontró que la temperatura de almacenamiento puede ser cercana a 0°C sin riesgo de daño por frío, siempre que el ciclo de calentamiento sea oportuno y el estado de madurez del producto sea adecuado (Artés et al., 1998 b).

Wang (1994) indica que los productos almacenados en estados más avanzados de madurez son menos susceptibles a los daños por frío, por lo que se requiere almacenar los productos en estado de madurez adecuada, lo cual ayuda a disminuir el efecto lesivo de la baja temperatura. Por su parte, Marcellin (1992) expresa que el estado “latente” del daño por

frío tiene una duración determinada después de lo cual el daño por frío es difícilmente reversible. En consecuencia, el éxito de los calentamientos intermitentes se consigue si su aplicación es oportuna, antes de la conclusión de dicho período de latencia, a fin de aliviar los daños por frío. Por el contrario, si el calentamiento intermitente es posterior a este período, el efecto será totalmente opuesto y los frutos manifiestan antes los daños por frío y de senescencia y se deterioran más rápidamente.

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la duración de un ciclo de calentamiento único aplicado después de la primera semana de almacenamiento a 10°C sobre la calidad del fruto de arazá.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Localización**

Frutos de arazá en estado verde-maduro fueron cosechados en la finca 'Copoazú' Municipio de El Doncello, Departamento del Caquetá. Las condiciones climáticas de la zona son: Temperatura promedio anual 25°C, temperatura mínima 14°C, temperatura máxima 32°C, precipitación anual 3.600 mm, brillo solar 1.500 horas y humedad relativa del 85% (IDEAM, 2000).

Los frutos fueron transportados por tierra en cajas plásticas de 10 Kg hasta el aeropuerto de Florencia, desde donde se transportaron por vía aérea, durante 45 minutos a unos 4°C a Bogotá, al laboratorio de Poscosecha del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos ICTA- Universidad Nacional- Sede Bogotá. En el laboratorio se hizo una selección por sanidad, ausencia de defectos y daños mecánicos. Los frutos seleccionados fueron acondicionados mediante lavado, desinfección y enjuague para concluir con la distribución de las unidades experimentales en los tratamientos, siguiendo la metodología descrita en el Capítulo 4.

### **Manejo de las muestras y asignación de tratamientos**

Cada tratamiento consistió de tres repeticiones. Los ciclos de calentamiento fueron 0 (testigo o control sin calentamiento) 6, 12, 18 horas y, aplicados solo una sola vez tras 6 días de almacenamiento. Los ciclos de calentamiento se lograron mediante el traslado de los frutos, de la cámara a 10°C a otra cámara a 20°C y 90% H.R. Una vez concluido el ciclo de calentamiento correspondiente los frutos retornaron a la cámara a temperatura de 10°C, donde permanecieron hasta el día 14, final del almacenamiento.

Los parámetros fisicoquímicos y de calidad se analizaron el día 6° y nuevamente después del periodo de calentamiento. Los mismos parámetros fueron evaluados el día 14 de almacenamiento, y tras el período de 3 días de maduración complementaria a 20°C y 70% H.R

### **Actividad respiratoria y parámetros fisicoquímicos**

Los parámetros de calidad evaluados en ocho frutos provenientes de las tres repeticiones fueron: 1) actividad respiratoria 2) firmeza, medida en un punto por fruto (penetrómetro Effegi 327 Alfonsin, Italia con punzón de 7.9mm), 3) sólidos solubles totales SST (refractómetro manual ATAGO, Japón), 4) acidez total titulable ATT (AOAC, 1995; en  $\text{mmol H}^+ \cdot \text{L}^{-1}$ ), 5) pH (Electrodo Schott Gerate N48A, Gläserwerke Mainz, Alemania), ácidos orgánicos 6) málico, 7) succínico, 8) cítrico, 9) vitamina C, azúcares 10) sacarosa, 11) glucosa, 12) fructosa. Parámetros de calidad 13) color, 14) pérdida de peso, 15) marchitamiento 16) lesiones externas, 17) antracnosis. 18) otras pudriciones. La metodología empleada para medir el contenido de ácidos orgánicos, azúcares y parámetros de calidad como color, marchitamiento, lesiones externas y antracnosis fueron descritas en el ensayo de determinación de temperatura crítica de almacenamiento.

Diariamente, durante el almacenamiento se midió la respiración en 3 frutos por cada uno de los tratamientos. Cada uno de los frutos constituyó una repetición. La respiración se midió mediante cromatografía de gases y se describió en el ensayo de caracterización de la maduración del fruto (Capítulo 3).

### Análisis de resultados

Las variables estudiadas se sometieron a análisis de varianza con el programa SAS 6.2. Los tratamientos se agruparon en un diseño completamente al azar, con arreglo factorial (4\*2) (factores: Ciclos de calentamiento 0, 6, 12, 18 horas y maduración complementaria 0 y 3 días (2 niveles)). La pérdida de peso se analizó bajo una estructura de parcelas divididas en el tiempo (Steel y Torrie, 1985). Se realizó la prueba de Tukey para las interacciones de 4 grado que resultaron significativas

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la tabla 6.1 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza para los caracteres fisicoquímicos de firmeza, pH, acidez titulable, ácidos orgánicos y vitamina C.

**Tabla 6.1.** Cuadrados medios del análisis de varianza para textura, pH, acidez titulable y ácidos orgánicos en frutos de arazá tratados con 1 ciclo de calentamiento intermitente y almacenados por 2 semanas más un período de maduración de 3 días a 20°C.

Fuentes de Variación	GL	Firmeza	pH	Acidez Titulable	Acido Malico	Acido Succinico	Acido Cítrico	Acido Ascórbico
Maduración Complementaria (MC)	1	238*	0.04**	8944**	27 n.s	550**	1.56**	69**
Calentamiento Intermitente (CI)	3	235**	0.2**	6254**	6369**	223**	12**	265**
MC*CI	3	119*	0.1*	10977**	1313**	345**	1.2**	84**
Error	24 <sup>7</sup>	32	0.003	348	6.2	1.4	0.03	0.6

<sup>2</sup> Probabilidad: n.s.= no significativo. \*, \*\*, significativo al  $P = 0.05$  o  $0.01$  respectivamente

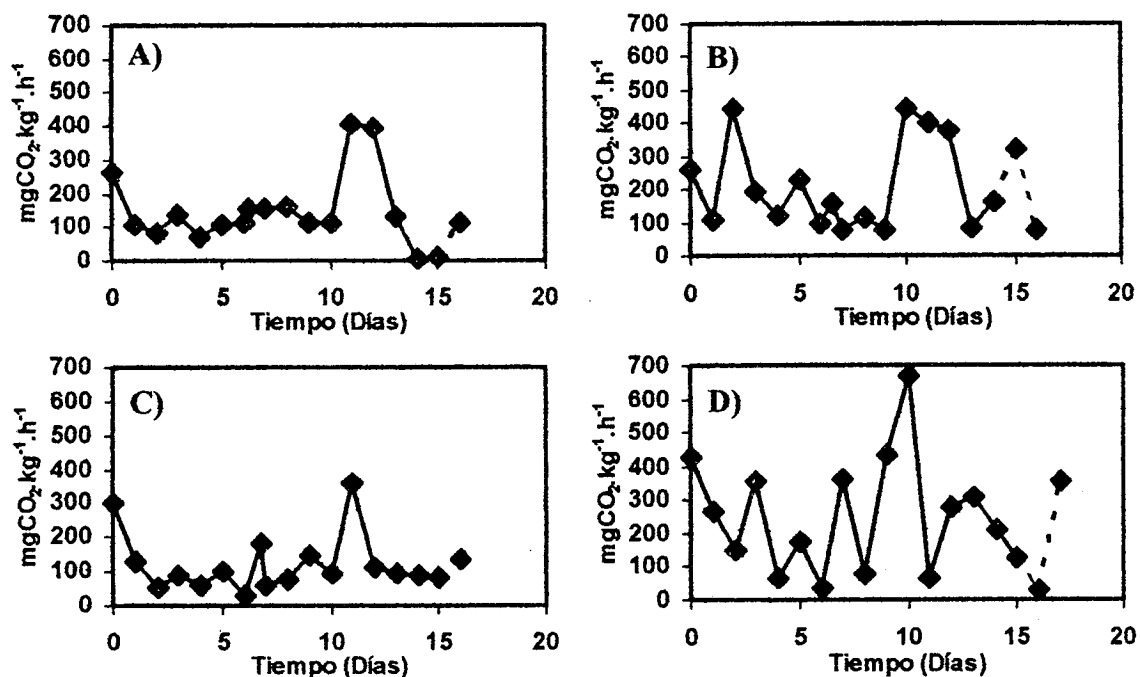
<sup>7</sup> Grados de libertad del error de los ácidos orgánicos 8 (n=2).

Se observa que todos los efectos principales para los dos factores fueron estadísticamente significativos al 5% o 1% lo mismo que sus interacciones. Razón por la cual se analizarán las interacciones mediante tablas o figuras para cada característica.

### **Actividad respiratoria**

Los frutos de arazá acondicionados con un ciclo de calentamiento intermitente mantuvieron el patrón respiratorio climatérico característico (figuras 6.1 A-6.1C). El máximo climatérico tuvo lugar entre los días 10 y 12 del almacenamiento. En todos los tratamientos de acondicionamiento se observa valores menores de la actividad respiratoria después del día 6 en el cual se hizo el calentamiento intermitente (figura 6.1 A-D). Si se compara esta tendencia con los frutos control, mantenidos a 10°C durante de almacenamiento, se encuentra que en éstos hay una gran fluctuación de la respiración durante todo el período e intensidades respiratorias promedio superiores a 400 mg CO<sub>2</sub>·Kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>. Estas respuestas podrían explicarse por el hecho de que el calentamiento aplicado en el día 6 evita los picos de excesiva actividad respiratoria de los frutos de arazá refrigerado, tal como indican Wang (1994) y Artés (1995) para especies como el tomate. Al disminuir la actividad respiratoria, se restablece el metabolismo del producto almacenado y se inhibe el daño por frío.

Los frutos testigo presentaron síntomas de daños por frío, entre los que se destaca la incapacidad para madurar cambiar de color del epicarpio, lo que pudo deberse a la inhibición del mecanismo que degrada la clorofila. Por el contrario, los frutos acondicionados por 18 horas mostraron el alivio del daño por frío, completando su maduración en el período de maduración complementaria. Este comportamiento podría corresponder al encontrado en melocotón por Fernández-Trujillo et al. (1998) y Fernández-Trujillo y Artes (1998) quienes afirman que el calentamiento intermitente restablece la actividad respiratoria normal del fruto aliviando los síntomas de vitrescencia y lanosidad o harinosidad del mesocarpio



**Figura 6.1.** Actividad respiratoria de frutos de arazá acondicionados con A) 6 horas B) 12 horas C) 18 horas de calentamiento a 20°C y D) testigo (10°C en continuo). La línea puntada corresponde a la maduración complementaria (MC)

El tratamiento de 12 horas de acondicionamiento no mostró un claro alivio del daño por frío en el fruto de arazá. La intensidad respiratoria fue menor que la de los frutos control, pero se observó una mayor duración del máximo climatérico que pudo incidir en un mayor consumo de las reservas del fruto y una más rápida aparición de la senescencia (figura 6.1B). Sin embargo existe un pico transitorio tras 12 horas de calentamiento, para disminuir posteriormente lo que puede estar relacionado con la restauración del metabolismo normal (Fernández-Trujillo y Artés, 1998).

Sin embargo, en todos los tratamientos de calentamiento intermitente se observó que el fruto maduró en forma normal, al ser colocados a 20°C, durante la maduración complementaria, lo que no sucedió en los frutos testigo, los cuales no maduraron durante el período de maduración complementaria. Wang (1993) indica que el alivio del daño por frío

en frutos calentados puede deberse a la oxidación de compuestos tóxicos. La oxidación de compuestos tóxicos se produce como consecuencia del restablecimiento de la actividad respiratoria a nivel celular en frutos calentados durante el almacenamiento (Wang, 1993).

Artés et al. (1998a) y Lyons y Breidenbach (1987) mencionan que una actividad respiratoria alta aparece habitualmente cuando el daño por frío está avanzado (respuesta tardía al daño por frío)

### **Firmeza**

La firmeza de los frutos disminuyó significativamente entre los tratamientos de calentamiento (tabla 6.1). Se observó un efecto inmediato del calentamiento sobre la firmeza pues esta disminuyó de 40N antes del calentamiento a 32 N inmediatamente después del calentamiento. Sin embargo, en frutos de arazá no se observó relación entre la duración del tratamiento térmico y el ablandamiento medido inmediatamente después, es así que los frutos más firmes fueron aquellos tratados durante 18 horas a 20°C, mientras que los menos firmes fueron los frutos tratados durante 6 horas (tabla 6.2).

Los daños por frío en arazá tienen diversas manifestaciones con relación a la firmeza. En algunas ocasiones los frutos presentan endurecimiento anormal y en otras, ablandamiento marcado como resultado de una maduración incompleta tal como se ha encontrado en melocotón (Fernández-Trujillo et al., 2000). De manera general, se puede afirmar que el fruto de arazá se caracteriza por ser blando en la maduración, entre otras razones ya que los estudios preliminares de su anatomía indicaron una ausencia de tejido de sostén como colenquima y esclerénquima. También se puede suponer una alta actividad de enzimas pectolíticas y otras asociadas con el ablandamiento debido a un metabolismo más acelerado tal y como lo muestra la mayor actividad respiratoria.

**Tabla 6.2.** Efecto de un ciclo de calentamiento intermitente de 6, 12 o 18 horas en el día 6 del almacenamiento en algunas variables fisicoquímicas de frutos de arazá mantenidos a 10°C durante 2 semanas. Los frutos tuvieron un período de maduración de 3 días a 20°C después del almacenamiento.

Tratamiento						
Día	Ciclo de Calentamiento	Maduración Complemen.	Firmeza (Newton)	pH	Acidez mmol H <sup>+</sup> L <sup>-1</sup>	SST (°Brix)(%)
0	0	0	40.0	2.5	550	3.5
14	0	0	36.5	2.7	448	3.1
14	6	0	41.0	2.8	453	4.7
14	12	0	29.0	2.7	438	4.2
14	18	0	49.3	2.9	483	3.8
14+3	0	1	37.2	2.5	484	4.0
14+3	6	1	37.0	3.0	446	3.9
14+3	12	1	28.0	3.0	347	3.1
14+3	18	1	32.6	3.0	389	3.8
<b>DMS Tukey 5%</b>			13.01	0.13	43	1.32

Al final del almacenamiento se observó un inusual endurecimiento de los frutos calentados durante 6 y 18 horas. El endurecimiento puede estar relacionado con la posible disminución de la actividad de las enzimas pectolíticas (Artés et al, 1996). Fernández-Trujillo y Artés (1997) reportan el restablecimiento del nivel normal de producción de etileno por efecto del calentamiento al tratar melocotones. Dado que existe una relación directa entre la producción de etileno y la actividad de las enzimas pectolíticas, es posible que al restablecerse el nivel normal de producción de etileno por efecto del calentamiento, disminuya la actividad de dicha enzima.

En el período de maduración complementaria, el ablandamiento guardó una relación directa entre la duración del calentamiento y el ablandamiento. Esta respuesta puede explicarse por el hecho de que los frutos acondicionados por períodos mayores se deshidratan y la actividad de las enzimas pectolíticas puede aumentar en los períodos de maduración complementaria (Fernández-Trujillo et al., 1998) ya que los frutos fueron colocados a una temperatura mayor que la del almacenamiento.

El ablandamiento en frutos tratados es significativamente diferente con respecto a los frutos testigo. Se puede afirmar que los frutos a 10°C presentaron síntomas de endurecimiento, asociados a la falta de cambio de color y de una actividad respiratoria irregular. Esto coincide con las observaciones de Galvis y Hernández (1993) al definir la sensibilidad del fruto de arazá a bajas temperaturas y su susceptibilidad al daño por frío.

### **Acidez titulable**

La acidez titulable varió significativamente entre tratamientos (tablas 6.1 y 6.2). Durante el tiempo de almacenamiento no se presentaron cambios importantes. Sin embargo, durante el período de maduración la acidez titulable disminuyó significativamente (tabla 6.1). Los ácidos orgánicos se degradan durante la maduración de los frutos, de esta manera, se puede asociar la disminución de la acidez, durante el período de maduración complementaria, como el resultado de la respiración de estos compuestos de reserva.

La mayor disminución de acidez se presentó en frutos tratados durante 12 y 18 horas de calentamiento, seguidos por frutos tratados durante 6 horas. Por el contrario, los frutos control, mantenidos a 10°C constantemente mostraron un aumento significativo de su acidez durante el mismo período. Dicha tendencia está asociada, en frutos de arazá, a desórdenes fisiológicos causados por daño por frío (Hernández et al., 1999). La acidificación de los frutos puede estar asociada a cambios en la cinética de enzimas de la respiración como resultado de cambios en los lípidos de la membrana mitocondrial (Raison, 1980), o podría tener su explicación en el desacople de la fosforilación oxidativa que conduce a oxidación incompleta de metabolitos y acumulación de compuestos volátiles tóxicos (Wang, 1982).

El calentamiento intermitente por su parte restablece la fosforilación oxidativa y previene la degradación de lípidos de la membrana celular disminuyendo la descompartimentalización. (Lyons y Breidenbach, 1987). Los efectos benéficos del calentamiento intermitente en el almacenamiento de frutos de arazá pueden relacionarse con un incremento de la actividad

respiratoria, en respuesta al aumento de la temperatura lo que llevaría a una oxidación de compuestos tóxicos. En consecuencia, no se observó aumento de niveles de acidez en los frutos tratados. Este mecanismo de acción del tratamiento fue explicado por Lyons y Breidenbach (1987).

## **pH**

El pH de los frutos tratados con calentamiento intermitente aumentó de manera significativa durante el almacenamiento y en el período de maduración complementaria.

Se encontró una relación directa entre la duración del calentamiento y el aumento de pH. Los frutos tratados durante 12 y 18 horas mostraron aumentos de 2.7 antes del acondicionamiento a 2.9 inmediatamente después. Así mismo, se observó que al final del período de maduración complementaria estos frutos fueron los que aumentaron más sus niveles de pH.

Si se considera que el pH constituye una medida indirecta de la acidez del fruto, existe entonces una relación entre la acidez que disminuyó durante el almacenamiento del fruto y el aumento de pH. Por el contrario, los frutos testigo disminuyeron su pH al final del período de maduración complementaria mostrando una tendencia a la acidificación, la que estuvo acompañada de incapacidad para madurar y de mayor susceptibilidad a daños por patógenos.

El aumento en el pH de los frutos tratados se puede explicar por la oxidación de compuestos volátiles tóxicos en respuesta al restablecimiento de la actividad respiratoria normal y coincide a la disminución de la acidez del fruto. El aumento de pH estuvo asociado a un mayor tiempo de conservación del fruto sin que hubiera daño por frío, aunque los frutos dañados presentan pH más alto (Fernández-Trujillo y Artés, 1997).

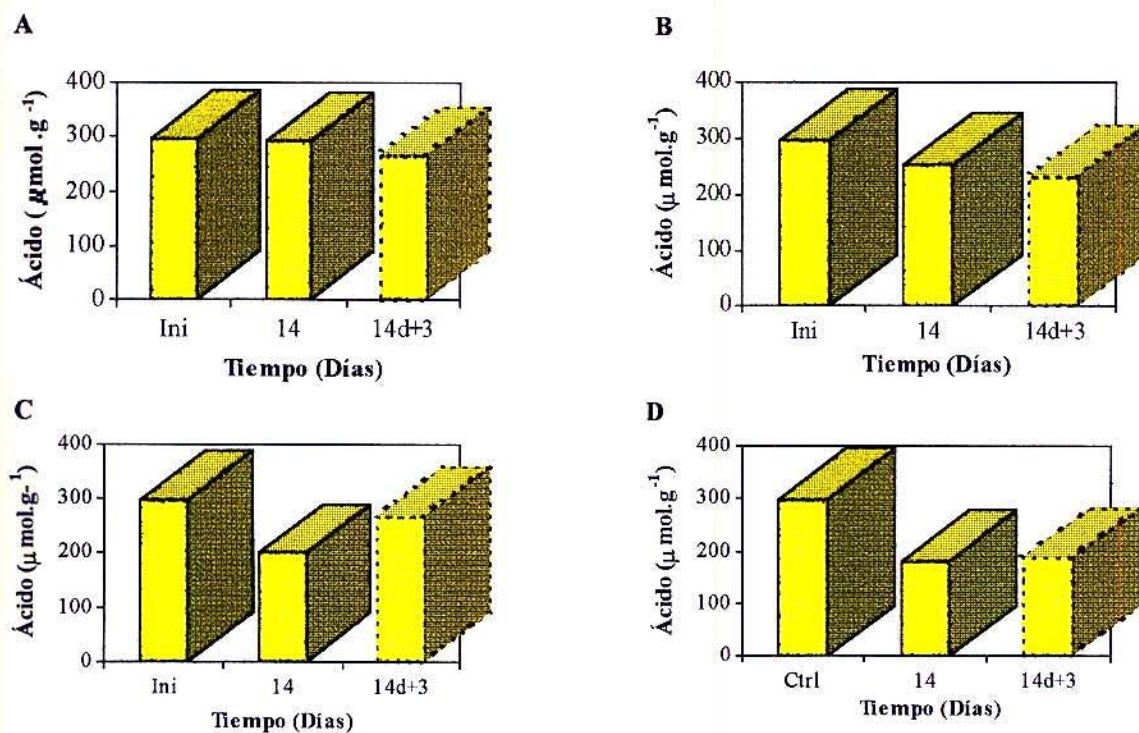
## Ácidos orgánicos

### Ácido málico

El contenido de ácido málico (figura 6.2) mostró una relación directa a la duración del ciclo de calentamiento. A mayor tiempo de calentamiento se observa una mayor reducción en el contenido de los ácidos orgánicos durante el almacenamiento. Tal como lo menciona Wang (1994) el aumento de la temperatura durante el calentamiento incrementa la intensidad respiratoria del fruto y en consecuencia acelera la oxidación de los compuestos de reserva. En el caso del arazá se ha encontrado que los ácidos orgánicos, en especial el ácido málico, son compuestos de reserva mayoritarias, por lo que el aumento de la respiración incide directamente en su degradación.

Se encontró que existe una relación entre el contenido de ácido málico y la disminución de la acidez, la cual se redujo más en frutos sometidos a calentamiento de 18 horas (figura 6.2C). De esta manera se podría afirmar que el calentamiento intermitente tuvo efectos directos en la respiración del ácido málico.

En cuanto a los frutos tratados durante 6 y 12 horas (figuras 6.2 B y 6.2C) se encontraron diferencias altamente significativas en el contenido de ácido málico (tabla 6.1) con respecto a la duración del ciclo de calentamiento, así como, al final del almacenamiento, con respecto a los contenidos al final de la maduración complementaria. El contenido de ácido málico disminuyó más en frutos tratados durante 12 horas de calentamiento que durante 6 horas después del almacenamiento a 10°C. En frutos mantenidos a 10°C se encontró que el contenido de ácido málico disminuyó al final del almacenamiento y este contenido se mantuvo durante la maduración complementaria. Dicho comportamiento se explica por la incapacidad del fruto para madurar, lo cual se reflejó en la carencia de cambios de color, de textura, y de emisión de compuestos volátiles característicos.



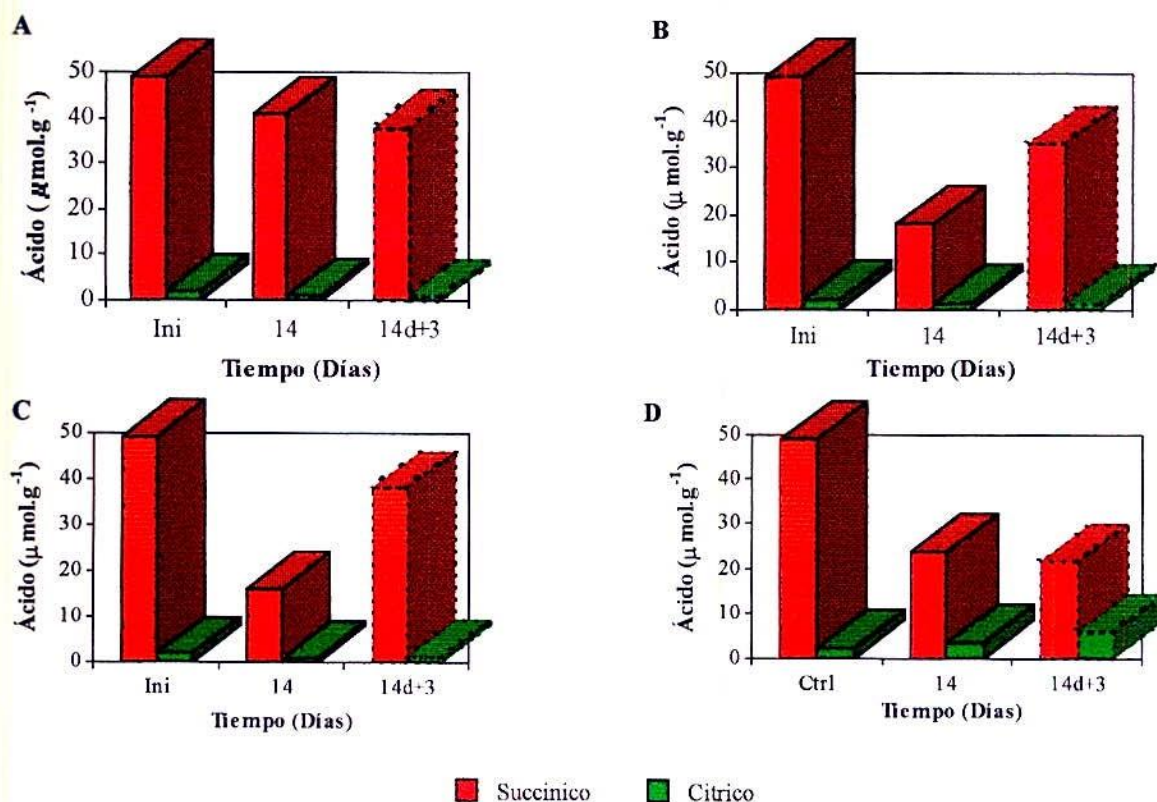
**Figura 6.2.** Efecto del calentamiento intermitente A) 6h, B) 12h, C) 18 h, a 20°C y H.R de 90% y D) control de frutos de arazá almacenados a 10°C en el contenido de ácido málico, succínico y cítrico tras dos semanas de almacenamiento y 3 días de maduración complementaria a 20°C y 70% de H.R (n=2).

Este desorden puede atribuirse al efecto del daño por frío, que en arazá ha sido descrito por Galvis y Hernández (1993).

### Acido succínico

El contenido de ácido succínico (figura 6.3) disminuyó durante la primera semana de almacenamiento en todos los tratamientos y en el testigo. Esta tendencia podría estar asociada al proceso normal de maduración del fruto durante el cual éste consume las reservas, principalmente ácidos. Inmediatamente después del ciclo de calentamiento el contenido de ácido succínico aumentó significativamente, tanto en los frutos tratados

durante 12 horas, como en los tratados durante 18 horas, mientras que el contenido no aumentó ni en frutos calentados durante 6 horas, ni en los frutos control (figura 6.3A y 6.3D respectivamente). Si se considera que el ciclo de calentamiento aumenta la actividad enzimática, así como la respiración de los frutos tratados se puede inferir que los tratamientos de 12 y de 18 horas de calentamiento incidieron de manera directa en el aumento de la actividad respiratoria, restableciendo el ciclo de los ácidos tricarboxílicos (Purvis, 1997).



**Figura 6.3** Efecto del calentamiento intermitente A) 6h, B) 12h, C) 18 h, a 20°C y H.R de 90% y D) control de frutos de arazá almacenados a 10°C en el contenido de los ácidos, succínico y cítrico tras dos semanas de almacenamiento y 3 días de maduración complementaria a 20°C y 70% de H.R (n=2).

Al final de la segunda semana de almacenamiento se observó que en frutos tratados durante 12 y 18 horas, el contenido de ácido succínico disminuyó de manera significativa indicando un consumo de esta reserva en el proceso normal de maduración. Los frutos tratados 6 horas mostraron un aumento significativo en el contenido de ácido succínico que podría estar asociado a un posible daño por frío. El daño por frío se manifiesta en algunos casos como la disminución de la actividad de enzima del ciclo de los ácidos tricarbónicos (Lyons y Breidenbach, 1987). En consecuencia, se podría afirmar que mientras los ciclos de 12 y de 18 horas contribuyen a restablecer el metabolismo normal del fruto y su actividad respiratoria, el ciclo de calentamiento de 6 horas resultó insuficiente para alcanzar el objetivo.

Tras la maduración complementaria, los frutos calentados por 12 y 18 horas presentaron aumento en el contenido de ácido succínico, mientras que los frutos calentados por 6 horas y los frutos control mantuvieron niveles similares y más bajos que los tratados por 12 y 18 horas. En frutos refrigerados a 7 y a 10°C se encontró que los niveles de ácido succínico se mantenían aún después de que los frutos se trasladaban a 20°C, en la maduración complementaria (Capítulo 4). Por el contrario, el aumento en el contenido de ácido succínico al final de la maduración complementaria en frutos tratados 12 y 18 horas hace pensar que la mayor duración del ciclo de calentamiento previene la disminución de la actividad de enzimas asociadas al metabolismo del ácido succínico (Buescher, 1975)

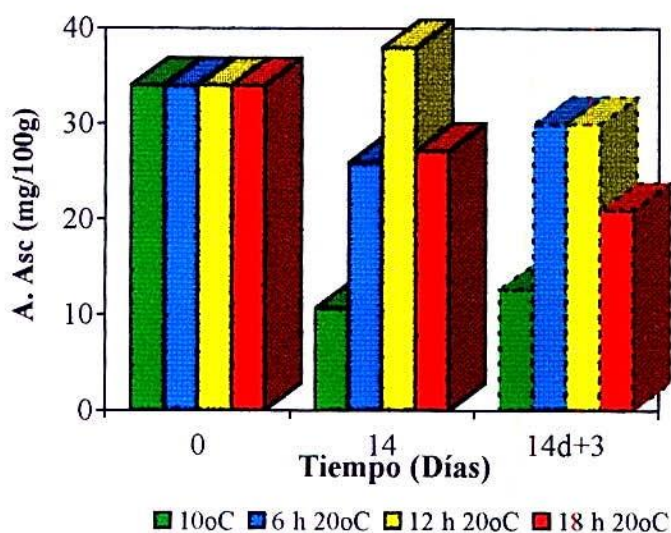
### **Acido cítrico**

El contenido de ácido cítrico mostró tendencias similares al de los ácidos málico y succínico (figura 6.3). Su variación fue altamente significativa con respecto al ciclo de calentamiento (tabla 6.1). Los frutos control presentaron los más altos contenidos al compararlos con frutos tratados, lo cual podría explicarse como el resultado de la acidificación del fruto en respuesta al daño por frío. Wang (1994) menciona que una de las manifestaciones del daño por frío es la acidificación de los frutos, como consecuencia de la disminución de la actividad de enzimas que intervienen en el Ciclo de Krebs. Los

contenidos de ácido cítrico disminuyeron de manera altamente significativa durante el almacenamiento en los frutos sometidos a calentamiento. Se encontró una relación directa entre la disminución de ácido cítrico y la duración del calentamiento, la cual puede deberse a que a mayor duración del ciclo hay una mayor actividad respiratoria y en consecuencia mayor respiración de algunos metabolitos de reserva como el ácido cítrico (Wang 1994).

### Acido ascórbico.

El contenido de ácido ascórbico se mantuvo en los frutos sometidos a calentamiento al compararlo con el contenido de frutos recién cosechados mientras que en los frutos control disminuyó a la mitad, incluso en los frutos a 10°C. El contenido de ácido ascórbico disminuyó inmediatamente después del calentamiento. La mayor disminución se presentó en los frutos calentados durante 12 horas, mientras que en los frutos tratados 6 y 18 horas, los contenidos se mantuvieron estables. El mayor contenido de ácido ascórbico al final del almacenamiento se encontró en frutos tratados con un ciclo de 12 horas, seguido del contenido en frutos con 18 horas de calentamiento (figura 6.4).



**Figura 6.4.** Efecto del calentamiento intermitente en el contenido de ácido ascórbico de frutos de arazá almacenados a 10°C tras dos semanas de almacenamiento y un período de maduración complementaria de 3 días a 20°C y 70 % H.R (n=2).

## Sacarosa

El contenido de sacarosa mostró variaciones altamente significativas en concordancia con la duración del calentamiento intermitente, así como del período de maduración complementaria (tabla 6.3). Durante la primera semana de almacenamiento la sacarosa aumentó. Después del calentamiento se encontró una disminución del contenido de sacarosa como respuesta al aumento de la respiración de los frutos. Al final del almacenamiento el contenido de sacarosa fue mayor de manera significativa en los frutos calentados por 6 horas, seguido por los frutos acondicionados por 12 y 18 horas de calentamiento.

**Tabla 6.3.** Cuadrados medios del análisis de varianza para sólidos solubles, azúcares y color en frutos de arazá tratados con un ciclo de calentamiento intermitente y almacenados por 2 semanas seguido de un período de maduración de 3 días a 20°C

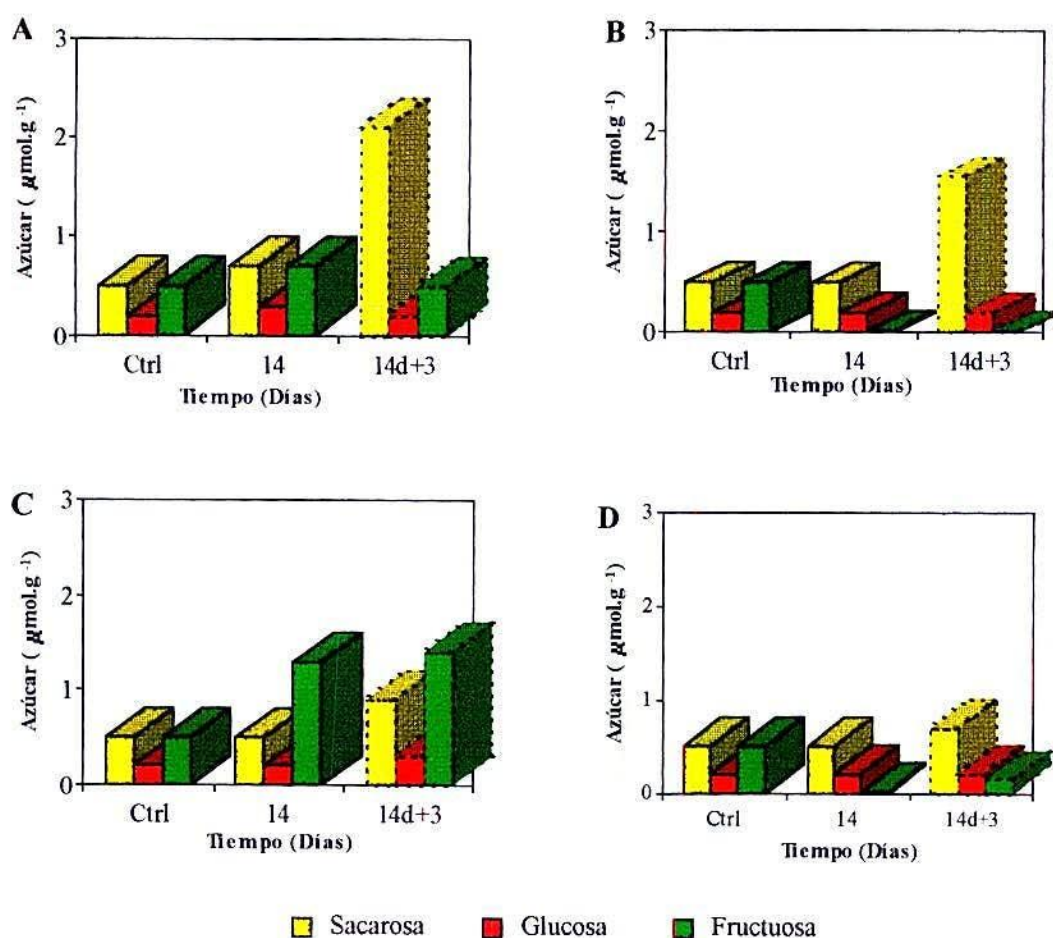
Fuentes de variación	GL	Sólidos solubles	Sacarosa	Glucosa	Fructosa	Color
Maduración complementaria (MC)	1	0.4ns	2.3 **	0.0006	0.0030	0.5 n.s
Calentamiento Intermitente (CI)	3	0.3ns	0.5 **	0.002	1.5 **	4.9**
MC*CI	3	1.6 **	0.3 **	0.004 *	0.02 **	0.2 n.s
Error	24 <sup>7</sup>	0.3	0.0006	0.0006	0.001	0.14

Probabilidad: n.s.= no significativo. \*, \*\*, significativo al  $P = 0.05$  o  $0.01$  respectivamente

<sup>7</sup>Grados de libertad del error de azúcares 8(n=2).

En los frutos control (figura 6.5D), el contenido de sacarosa disminuyó, posiblemente como una consecuencia de la disminución de la respiración y de los daños ocasionados por el almacenamiento a una temperatura inferior a la temperatura crítica de almacenamiento, 12°C del fruto de arazá. La tendencia presentada por la sacarosa en los frutos testigo puede estar asociada a la disminución de la hidrólisis de almidón como sucede con la chirimoya almacenada a 4°C o a 1°C, en la cual la degradación del almidón se disminuye, reiniciándose en el momento en que la fruta es trasladada a temperatura de 22°C tal como lo reportan Gutierrez et al. (1994). En el caso del arazá, la hidrólisis del almidón posiblemente no tuvo lugar después de las 2 semanas de almacenamiento, durante la maduración complementaria, lo que hace pensar en que para este momento el daño por frío fue de tipo irreversible.

La respuesta del arazá al calentamiento es similar a la encontrada en melocotones acondicionados con ciclos periódicos de calentamiento, en los cuales se encontró que el contenido de sólidos aumentó ligeramente de manera similar al contenido en frutos almacenados a temperaturas inferiores a la crítica, especialmente cuando la conservación bajo calentamiento era de 2 o más semanas en frutos recolectados firmes pero verdes (Fernández-Trujillo y Artés, 1997; Fernández-Trujillo et al., 1997).



**Figura 6.5.** Efecto del calentamiento intermitente A) 6 h, B) 12 h, C) 18 h, y D) control de en el contenido de sacarosa, glucosa y fructosa en frutos de arazá almacenados a 10°C tras dos semanas de almacenamiento y 3 días de maduración complementaria a 20°C y 70% H.R (n=2)

## Glucosa

Los contenidos de glucosa no cambiaron influenciados ni por el ciclo de calentamiento intermitente, ni por el período de maduración complementaria (tabla 6.3; figura 6.5). La interacción del calentamiento y la maduración complementaria en cambio resultó significativa. Se observó que en frutos calentados 18 horas el contenido de glucosa aumentó al final de la maduración complementaria, mientras que los frutos calentados 6 y 12 horas los niveles se mantuvieron semejantes a los de los frutos control. Esta tendencia podría explicarse como un efecto directo del calentamiento de 18 horas que promovió el aumento de la hidrólisis de sacarosa. Se puede suponer un aumento de la actividad de la enzima invertasa ácida, la cual es responsable de la hidrólisis de sacarosa en monosacáridos. Esta hipótesis se sustenta en el hecho de que la actividad de esta enzima disminuye por efecto del daño por frío en otros frutos tropicales como el loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl cv. Mongi) y la chirimoya (Ding et al., 1998; Gutierrez et al., 1994). Es de suponer que si el calentamiento de 18 horas alivia el daño por frío en frutos de arazá, la actividad de esta enzima se restablecerá.

De acuerdo con este comportamiento se puede sugerir que el ciclo de calentamiento para el fruto de arazá tendrá que aplicarse al completarse la primera semana de almacenamiento, momento en el cual, el daño por frío continúa siendo "latente". Con el fin de aumentar los contenidos de azúcares se sugiere prolongar el ciclo de calentamiento hasta 18 horas y tendría que identificarse si la temperatura pudiera ser mayor a 20°C.

## Fructosa

La fructosa es el segundo azúcar del fruto de arazá. Sus contenidos aumentaron de manera altamente significativa con el calentamiento. Los niveles más altos se encontraron en frutos calentados durante 18 horas. También se encontró que los niveles de fructosa aumentaron durante la maduración complementaria de manera altamente significativa en frutos calentados 6 horas, mientras que los frutos calentados 12 horas no mostraron aumento. Esta

tendencia puede deberse a que en los frutos tratados con menos horas de calentamiento, el contenido de sacarosa aumentó de manera significativa, la cual se desdobló en glucosa y fructosa en la maduración complementaria. En el caso del calentamiento de 12 horas los niveles se mantuvieron bajos, similares a los encontrados en frutos control.

Para el caso de los frutos acondicionadas con el calentamiento más prolongado se puede asumir que los frutos al restablecer su actividad respiratoria también promovieron la actividad de las enzimas sacarosa sintasa e invertasa ácida, responsables del metabolismo de la sacarosa en el fruto (figura 6.5C).

En frutos sin acondicionamiento, las disminuciones de sacarosa y de fructosa podrían equipararse con la disminución que sufren los tomates como resultado del daño por frío Buescher (1975). De otra parte, la acumulación de fructosa en frutos calentados por 18 horas podría estar asociada a la acumulación de azúcares reductores para disminuir el efecto del daño por frío señalado por Purvis (1997).

### **Sólidos solubles**

El contenido de sólidos solubles aumentó de manera altamente significativa en la interacción calentamiento intermitente y maduración complementaria (tabla 6.3). El aumento de sólidos solubles fue mayor en frutos acondicionados 18 horas de calentamiento. Esta respuesta pudo deberse al aumento de la actividad respiratoria y en consecuencia la actividad de enzimas involucradas en la hidrólisis del almidón como las  $\alpha$ - y  $\beta$ -amilasas y enzima del metabolismo de la sacarosa. Los frutos control mostraron los más bajos niveles en el contenido de sólidos debido posiblemente a la disminución de la actividad de estas enzimas.

Fernández-Trujillo y Artés (1997) encontraron que los melocotones tratados con calentamiento mostraron niveles de sólidos solubles similares, e incluso superiores a los frutos madurados a 20°C.

## **Calidad del fruto de arazá**

### **Color**

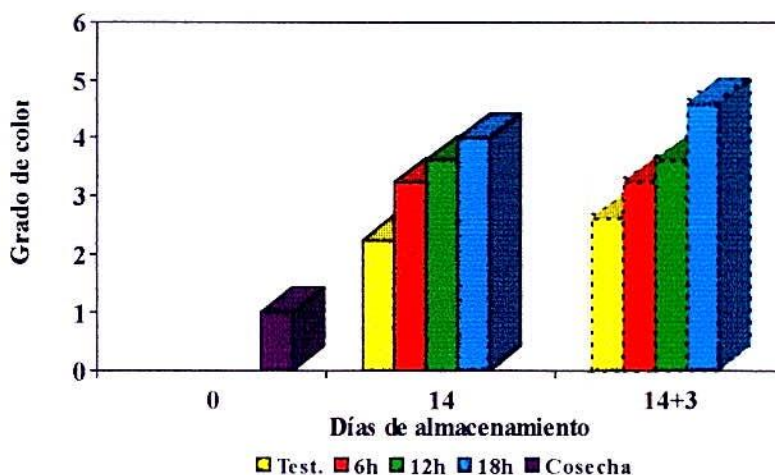
Los frutos testigo, por el contrario, no mostraron cambios de coloración, manteniéndose verdes hasta el final del ensayo (tabla 6.3). Tanto frutos calentados durante 12 horas, así como calentados durante 18 horas alcanzaron el color característico amarillo durante la maduración complementaria, grado 5, según tabla de color diseñada para el fruto (tabla 3.8.Capítulo 3). Los frutos tratados con 6 horas de calentamiento no alcanzaron el desarrollo del color característico indicando que el tratamiento no había revertido el efecto lesivo de la temperatura de almacenamiento inferior a la temperatura crítica de conservación (figura 6.6; foto 6.1-6.4). El calentamiento también promovió la maduración de los frutos durante la conservación, en el período posterior al mismo. La disminución del viraje de color de verde a amarillo en frutos de arazá se asocia a disminución de la degradación de la clorofila como respuesta al daño por frío (Galvis y Hernández, 1993). Se encontró que tanto los frutos calentados durante 12 horas, así como los calentados durante 18 horas alcanzaron el color característico durante la maduración complementaria, mientras que los tratados 6 horas no alcanzaron el desarrollo del color característico (foto 6.1-6.4).

El efecto del calentamiento en el cambio de color del fruto de arazá podría coincidir con una tendencia similar en melocotón (Fernández-Trujillo y Artés, 1997)

### **Pérdida de peso**

La pérdida de peso fue significativamente mayor en frutos acondicionados con calentamiento que en frutos testigo. Las pérdidas registradas en frutos acondicionados al final de la maduración complementaria estuvieron alrededor del 20%, mientras que en los frutos a 10° las pérdidas estuvieron alrededor del 16% (tabla 6.4).

Las diferencias estadísticas en la pérdida de peso se encontraron en los efectos de los factores principales, mientras que en su interacción no se encontraron diferencias (tabla 6.5). Los frutos acondicionados y sin acondicionar al final de la maduración complementaria no presentaron pérdidas superiores al 15% de acuerdo con los resultados encontrados.



**Figura 6.6.** Efecto de un único período de calentamiento de 6, 12 o 18 horas a 20°C y 90% H.R. en el cambio de color de frutos de araza almacenado a 10°C tras dos semanas de almacenamiento y un período de maduración complementaria de 3 días a 20°C y 70% H.R. (n=8)

En frutos de tomate y melocotón se encontraron comportamientos similares, mayores pérdidas de peso como consecuencia del aumento de la deshidratación del fruto por el aumento de la temperatura en el acondicionamiento (Artés y Escriche, 1994; Artés et al., 1998; Fernández-Trujillo et al., 1997). El picado por frío también aumentó las pérdidas de peso (Artés et al., 1998). En melocotón, sin embargo, debido probablemente a lo prolongado de la conservación y el daño por frío interno, las diferencias de pérdidas de peso entre tratamientos se reducen tras la maduración complementaria y por tanto si hay interacción entre los factores calentamiento y maduración complementaria (Artés et al., 1998).

A pesar de que los frutos acondicionados maduraron, alcanzando las características propias del producto, las altas pérdidas de peso permiten sugerir la combinación de un tratamiento adicional al calentamiento como el encerado o el empaque en polietileno con el fin de disminuir las pérdidas de peso por respiración y deshidratación. Fernández-Trujillo y Artés (1998) encontraron que melocotones almacenados en polipropileno perforado y acondicionado con ciclos de calentamiento intermitente exhibieron se redujeron las pérdidas de peso, mostraron mejor calidad y alcanzaron la madurez completa tras el almacenamiento.

**Tabla 6.4.** Efecto de un ciclo de calentamiento intermitente de 6, 12 o 18 horas en el día 6 del almacenamiento en las variables de calidad de frutos de arazá mantenidos a 10°C durante 2 semanas. Los frutos tuvieron un período de maduración de 3 días a 20°C posterior al almacenamiento.

Tratamiento		MC	Pérdida de Peso (%)	Marchita (%)	Lesiones externas (%)	Antracnosis (%)	Pudrición (%)
Día	Ciclo de Calentamiento						
0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	13.4	14.0	18.0	10.0	14.0
14	6	0	14.6	15.7	9.3	4.0	6.3
14	12	0	13.0	16.3	7.0	3.0	4.7
14	18	0	12.4	13.7	5.0	5.0	3.0
14+3	0	1	16.4	16.0	23.3	12.3	18.7
14+3	6	1	19.2	18.7	10.0	5.0	10.7
14+3	12	1	17.0	17.3	8.0	6.3	5.0
14+3	18	1	17.0	18.3	5.0	7.0	3.0
<b>DMSTukey 5%</b>			ns <sup>y</sup>	2.86	2.90	2.6	2.36

<sup>y</sup> ns= no significativo

### Marchitamiento

El marchitamiento aumentó de manera directa y significativa con la duración del ciclo de calentamiento (tablas 6.4 y 6.6). Los mayores porcentajes de marchitamiento se presentaron en frutos calentados durante 18 horas. Estos frutos presentaron, en conjunto, mayor calidad, pero la mayor incidencia de marchitamiento se debió posiblemente a un aumento de la transpiración, por aumento de la temperatura durante el tratamiento.

**Tabla 6.5.** Cuadrados medios del análisis de varianza para pérdida de peso en frutos de arazá tratados con un ciclo de calentamiento intermitente y almacenados por 2 semanas y luego un período de maduración complementaria de 3 días a 20°C.

Fuentes de variación	GL	Pérdida de peso
Calentamiento Intermitente (CI)	3	8.38**
Error A	12	1.6*
Maduración complementaria (MC)	1	133.3**
MC*CI	3	1.08 n.s
Error B	12	0.4

Probabilidad: ns = no significativo. \*, \*\*, significativo al  $P = 0.05$  o  $0.01$  respectivamente

Estos resultados difieren de los encontrados por Artés et al (1998) en estudios con melocotones acondicionados con calentamiento a humedad relativa del 95%. En dichos tratamientos los frutos no presentaron tan alto nivel de marchitamiento.

**Tabla 6.6.** Cuadrados medios del análisis de varianza para parámetros de calidad en frutos de arazá almacenados por 2 semanas más un período de maduración de 3 días a 20°C

Factores	GL	Marchitamiento	Antracnosis	Picado	Pudriciones
Maduración complementaria (MC)	1	40.04**	28.16**	18.4**	32.6**
Ciclo de calentamiento (CI)	3	4.81*	58.7**	286**	209**
MC* C.I	3	3.93*	1.4**	8.81**	9.4**
Error	23	1.2	0.9	1.2	0.8

Probabilidad: ns = no significativo. \*, \*\*, significativo al  $P = 0.05$  o  $0.01$  respectivamente

En frutos de arazá el alto porcentaje de marchitamiento puede explicarse por la alta tasa respiratoria que conlleva una mayor transpiración desde el fruto. También pudo deberse a un posible daño del epicarpio del fruto, el cual es monoestratificado y posee una fina cutícula cérica que pudo dañarse o aumentar su permeabilidad al vapor de agua durante el tratamiento (Capítulo 3). En consecuencia se sugiere almacenar los frutos en condiciones

de humedades relativas entre 90 y 95% que puedan contribuir a la disminución del marchitamiento del fruto.

### **Antracnosis**

El ataque de *Gloeosporium* sp. disminuyó de manera significativa (tabla 6.4 y 6.6) en frutos acondicionados con ciclos de calentamiento. Los frutos tratados disminuyeron hasta en un 50% los ataques del hongo. Dicha respuesta permite afirmar que el fruto de arazá responde de manera favorable a los tratamientos de calentamiento como en el caso del melocotón y el tomate (Artés y Escriche, 1994; Fernández-Trujillo y Artés, 1998; Artés et al., 1998 a).

### **Daño por frío**

Los frutos de arazá presentaron una significativa disminución de las alteraciones del epicarpio ocasionadas por el daño por frío, en aquellos frutos que fueron tratados con ciclos de calentamiento. A mayor duración del ciclo de calentamiento, mayor disminución del porcentaje de las lesiones. En el caso de los frutos calentados durante 18 horas las reducciones fueron de hasta un 75% con respecto a los frutos control. Este comportamiento se encuentra directamente asociado con el aumento de fructosa en los frutos del mismo tratamiento, que tal como indica Purvis (1997) se encuentra en estrecha relación con la disminución del daño por frío.

Coincide este comportamiento de los frutos de arazá con el otros frutos climatéricos como los melocotones y tomates en los cuales el daño por frío disminuye cuando los frutos son tratados con calentamientos modulados (Artés y Escriche, 1994; Artés et al., 1998; Fernández-Trujillo et al., 1998).

## Otras pudriciones

Los frutos de arazá son susceptibles, durante la poscosecha, a ataque de otros patógenos como levaduras, y *Curvularia*, además de roya cuyo agente causal es *Uromyces* sp. Dichos patógenos constituyen los agentes de las principales pérdidas del fruto en pre y post cosecha (Tai Chun, 1995). Las lesiones se caracterizan por desarrollo de fumagina oscura en la superficie del fruto y de lesiones rosáceas en el mesocarpio. Los frutos tratados con calentamiento mostraron una significativa disminución en relación con los frutos control.

Confirman estos resultados lo indicado por Fernández-Trujillo et al. (1997) en estudios adelantados con melocotón en los cuales la incidencia de patógenos es menor que en frutos testigo. De manera general se puede afirmar que los frutos alterados por daño por frío son más susceptibles al desarrollo de patógenos, patrón que sigue el arazá. En la medida que el fruto presente lesiones por la baja temperatura, se hace más susceptible al ataque de patógenos.

## CONCLUSIONES

El tratamiento de calentamiento intermitente disminuyó la incidencia del daño por frío en frutos de arazá. El tratamiento contribuyó a que los frutos mantuvieran niveles de azúcares semejantes y aun mayores a frutos madurados a 20°C. Sin embargo, los frutos tratados mostraron menor firmeza y disminución de la acidez.

El fruto de arazá puede ser conservado, en buenas condiciones por espacio de 2 semanas de almacenamiento a temperatura de 10°C si se trata con un calentamiento de 18 horas al final de la primera semana de almacenamiento. Con el fin de disminuir las lesiones de daño por frío y promover la maduración de los frutos de arazá se sugiere acondicionar los frutos que vayan a ser almacenados a temperaturas por debajo de la crítica con un ciclo de calentamiento que permita disminuir la sensibilidad del fruto a la baja temperatura.

El tratamiento de calentamiento se presenta como una alternativa promisorio para la conservación del fruto de arazá, especialmente ahora que no se comercializa en grandes cantidades. Constituye un tratamiento físico, económico, apropiado a las condiciones de las zonas de producción así como para los centros de distribución del producto en fresco e inocuo para el consumidor. El calentamiento podría combinarse con un tratamiento de empaque plástico para prolongar la vida útil del fruto de arazá, disminuir el ablandamiento y la pérdida de peso. De esta manera podría mejorarse la calidad final del producto.

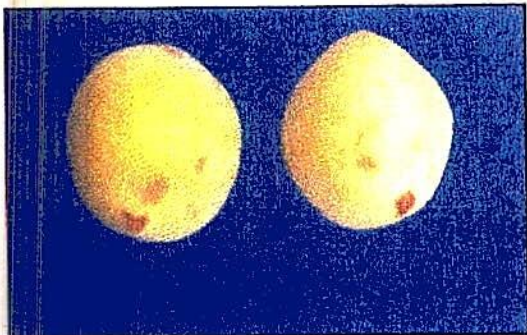
### LITERATURA CITADA

- AOAC 1995. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, ed. P.A. Cunniff, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Arkcoll, D. 1991. New crops from Brazil. En: Janick, J. and J.E. Simons (Eds.). Proc. Second Nat. Symp. New Crops. Indianapolis. John Wiley & Sons, publishing. p. 367-371.
- Artés; F. Y A.J. Escriche. 1994. Intermittent warming reduces chilling injury and decay of tomato fruit. *Journal of Food Science* 59 (5):1053-1056.
- Artés, F. 1995. Revisión: Innovaciones en los tratamientos físicos modulados para preservar la calidad de los productos hortofrutícolas en la postrecolección. II Tratamientos térmicos cíclicos. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 35(2):139-149.
- Artés, F., Cano, A., y J.P. Fernández-Trujillo. 1996. Pectolytic enzyme activity during intermittent warming storage of peaches. *Journal of Food Science* 61(2):311-313, 321.
- Artés, F., F. García, J. Marquina, A. Cano y J.P. Fernández-Trujillo. 1998 a. Physiological responses of tomato fruit to cyclic intermittent temperature regimes. *Postharvest Biology and Technology* 14: 283-296.
- Artés, F., J.A. Tudela y M.I. Gil. 1998 b. Improving the keeping quality of pomegranate fruit by interittent warming. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A.* 207: 316-321.
- Barrera, J.A., M.S. Hernández, J.A. Galvis, J. Acosta, 1996. Estudio técnico económico del procesamiento de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) y copoazu (*Theobroma grandiflorum* Will ex Spreng) en la región de Guaviare. *Agronomía Colombiana* 13: 91-105.
- Buescher, R.W. 1975. Organic acids and sugar levels in tomato pericarp as influenced by storage at low temperature. *HortScience* 10: 158-159.
- Ding, C.K., K.Chachin, Y. Hamauzu, Y. Ueda e Y. Imahori. 1998. Effects of storage temperature on physiology and quality of loquat fruit. *Postharvest Biology and Technology* 14:309-315.
- Fernández-Trujillo J.P., M.C. Salmerón y F.Artés. 1997. Effect of intermittent warming and modified atmosphere packaging on fungal growth in peaches. *Plant Diseases* 81: 880-884.

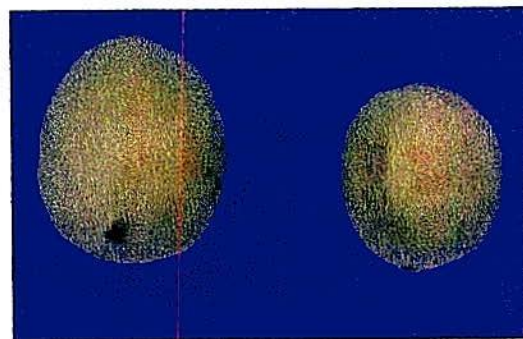
- Fernández-Trujillo, J.P. y F. Artés. 1997. Quality improvement of peaches by intermittent warming and modified-atmosphere packaging. *Lebensm. Unters. Forsch. A*. 205: 59-63.
- Fernández-Trujillo, J.P., A.Cano y F.Artés. 1998. Physiological changes in peaches related to chilling injury and ripening. *Postharvest Biology and Technology* 13: 109-119.
- Fernández -Trujillo, J.P. y F. Artés. 1998. Intermittent warming during cold storage of peaches packed in perforated polypropylene. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 31: 38-43.
- Fernández-Trujillo, J.P., A. Cano y F.Artés. 2000. Interactions among cooling, fungicide and postharvest ripening temperature on peaches. *International Journal of Refrigeration* 23: 457-465.
- Galvis, J.A. y M.S. Hernández. 1993. Comportamiento fisiológico del arazá (*Eugenia stipitata*) bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. *Colombia Amazonica* 6: 123-134.
- Gentil, D.F.O. y C.R. Clement. 1997. The araza (*Eugenia stipitata*): results and research directions. *Acta Horticulturae* 452: 9-17.
- Gentil, D.F.O. y S.A.N. Ferreira. 1999. Azaa (*Eugenia stipitata*) cultivo y utilización. Tratado de Cooperación Amazónica Secretaria *Pro Tempore*. FAO. Ministerio de Cooperación Técnica del Reino de los Países Bajos 107 p.
- Gutiérrez, M., M.Sola, L.Pascual, A.Vargas. 1994. Postharvest changes of sugar concentrations in chilled injured cherimoya (*Annona cherimola* Mill). *Journal of Plant Physiology* 143: 27-32.
- Hernández, M.S., H. E. Arjona, O. Martínez y J.P. Fernández-Trujillo. 1999. Storage disorders of araza fruit (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) related to postharvest treatments. *HortScience* 34(3): 512 (Abstract).
- IDEAM, 2000. Reportes meteorológicos de las estaciones del aeropuerto de la ciudad de Florencia, Caquetá. Últimos diez años.( Inéd)
- Lee S.K. y A.A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20: 207-220.
- Lyons, J.M. y R.W. Breidenbach. 1987. Chilling injury. En: J. Weichmann (Ed.) *Postharvest physiology of vegetables*. Marcel Dekker. New York. p. 305-326.
- Marcellin, P. 1992. Les maladies physiologiques du froid. En: Côme, D. (Ed.) *Les végétaux et le froid*. Paris: Hermann. p. 53-105.
- Purvis, A.C. 1997. The role of adaptive enzymes in carbohydrate oxidation by stressed and senescing plant tissues. *HortScience* 32: 1165-1168.
- Raison, J.K. 1980. Effect of low temperature on respiration. En: D.D. Davies (Ed.) *Biochemistry of plants*. Academic Press. New York publishing Vol 2, p. 613-626.
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie. 1985. *Bioestadística. Principios y procedimientos*. Segunda edición. Mc Graw-Hill. p. 368-386.
- Tai Chun, P.A. 1995. Pre and postharvest pest and diseases of araza (*Eugenia stipitata*) in Costa Rica. IICA Headquarters/Costa Rica. p. 1-63.
- Wang, C.Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. *Horticultural Science* 17(2): 173-186.
- Wang, C.Y. 1993. Approaches to reduce chilling injury of fruit and vegetables. *Horticultural Reviews* 15: 63-95.

- Wang, C.Y. 1994. Chilling injury of tropical horticultural commodities. HortScience 29(9):986-996.
- Watkins, C.B.y T.F. Alwan. 1999. Intermittent warming effects of superficial scald development of 'Cortland', 'Delicious' and 'Law Rome' apple fruit. Postharvest Biology and Technology 16: 203-212.

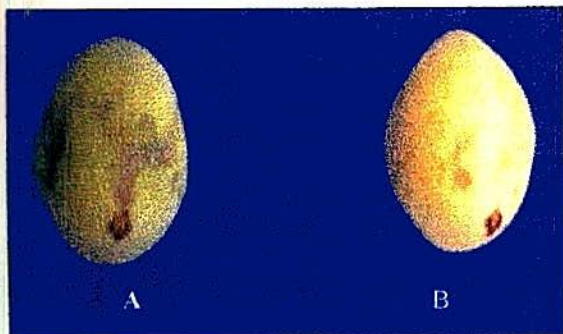
**FOTOS DEL FRUTO DE ARAZA ACONDICIONADO CON 1 CICLO DE CALENTAMIENTO**



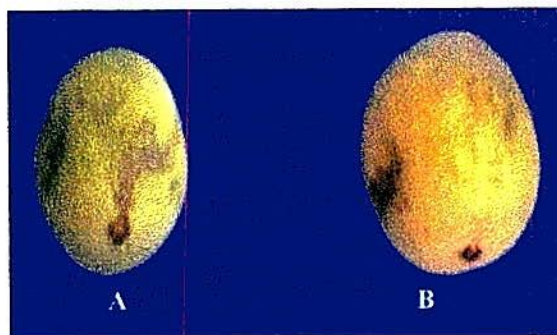
**Foto 6.1.** Frutos de araza tratados con 1 ciclo de calentamiento de 18h, después de 6 días de almacenamiento a 10°C. 14 días de almacenamiento +3 días a 20°C



**Foto 6.2.** Frutos testigo, almacenados a 10°C en continuo. 14 días de almacenamiento y 3 días de maduración complementaria a 20°C



**Foto 6.3.** Frutos de araza (A) control a 10°C y (B) con calentamiento de 6 horas. Tiempo de almacenamiento 2 semanas y maduración complementaria de 3 días a 20°C



**Foto 6.4.** Frutos de araza almacenados a 10°C en continuo y con calentamiento de 12 horas después de 7 días de almacenamiento. Tiempo de almacenamiento 14 días + 3 días de maduración complementaria a 20°C

## EVALUACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE FRUTOS DE ARAZA, EN CONDICIONES DE ATMÓSFERA MODIFICADA.

7

### RESUMEN

Frutos de arazá verde-maduros provenientes de la finca 'Copozú', del Municipio de El Doncello, Departamento del Caquetá, cuyas condiciones climáticas son: temperatura promedio anual 25°C, precipitación promedio 3600 mm/año, humedad relativa del 85% y brillo solar 1500 h/ año se almacenaron en bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE-2: 38  $\mu\text{m}$  y LDPE-3: 74  $\mu\text{m}$ ) macroperforadas y sin perforación, por un período de 14 días a 10°C, con el fin de evaluar el efecto del empaque y del almacenamiento en atmósfera modificada (AM) en la calidad de los frutos. En las bolsas sin perforación se utilizaron atmósferas modificadas con inyección de mezcla de gases de 5%CO<sub>2</sub> y 5%O<sub>2</sub>, 5%CO<sub>2</sub> y 8%O<sub>2</sub> y una de atmósfera pasiva, sin inyección. En las bolsas macroperforadas no se hizo ninguna inyección. Frutos de todos los tratamientos fueron evaluados a los 7 y 14 días, y luego de un período de maduración complementaria de 3 días a 20°C para cada una de las dos épocas. Las AM llegaron a su estado de equilibrio entre el día 6 y el día 9. En el empaque LDPE-2 la atmósfera S.I. llegó al equilibrio en el día 9 con 5% CO<sub>2</sub> y 14% O<sub>2</sub>, mientras que el equilibrio se alcanzó el día 6, en el empaque LDPE-3, con 6% CO<sub>2</sub> y 13% O<sub>2</sub>. En la AM activa (con inyección del 5% CO<sub>2</sub> y 5% O<sub>2</sub>) los niveles de estabilidad fueron 2% CO<sub>2</sub> y 21% O<sub>2</sub> en el empaque LDPE-2 y 6% CO<sub>2</sub> y 12% O<sub>2</sub> en el empaque LDPE-3, en el momento de alcanzar el equilibrio en el día 6. Para la AM activa con inyección 5% CO<sub>2</sub> y 8% O<sub>2</sub>, los niveles alcanzados fueron de 3% CO<sub>2</sub> y 16% O<sub>2</sub> en LDPE-2 en el día 9 y de 3% CO<sub>2</sub> y 18% de O<sub>2</sub> en LDPE-3. Todos los regímenes de AM previnieron daño por frío en el fruto y redujeron su pérdida de peso, así como, el marchitamiento, el ablandamiento y la pudrición. Las pérdidas totales fueron menores en el polietileno LDPE-2 comparado con el LDPE-3, independientemente de la atmósfera utilizada. Los frutos almacenados en polietileno macroperforado maduraron durante el almacenamiento, los frutos en el polietileno LDPE-2 macroperforado presentaron mayores cambios de color y firmeza que los frutos en polietileno LDPE-3 macroperforado. La atmósfera recomendada para el

almacenamiento del fruto de arazá es aquella que se alcanzó cuando se modificó la atmósfera de las bolsas de polietileno de LDPE-2 con la mezcla del 5% CO<sub>2</sub> y 5% O<sub>2</sub>, puesto que en dicha condición se mantuvo la acidez del fruto, la concentración de ácidos orgánicos y la firmeza del mesocarpio por más tiempo.

Palabras claves: Ácidos orgánicos, almacenamiento azúcares, daño por frío, escaldadura, polietileno.

### **EVALUATION OF ARAZA STORAGE UNDER MODIFIED ATMOSPHERE CONDITIONS**

#### **SUMMARY**

The study was carry out with samples collected in El Doncello, Caqueta in the Copoazú orchard. The place presents 25°C, average temperature, 85% of R.H, sun bright of 1500 h/year and pluviosity of 3600 mm. Fruits of araza in a green mature stage were stored in low density polyethylene bags (LDPE-2: 38 µm and LDPE-3: 74 µm), both macroperforated and with no perforation, for 14 days at 10°C to evaluate the effect of package and storage in modified atmosphere (MA) conditions, on fruit quality. Modified atmospheres with injection of a mixture of gases of 5% CO<sub>2</sub> and 5% O<sub>2</sub>; 5% CO<sub>2</sub> and 8% O<sub>2</sub> and a passive atmosphere were used in the bags with no perforation. Fruits from the treatment were evaluated after a 7 and a 14 days storage period and then, after a 3 days period of complementary maturity at 20°C. The MA reached stability between the sixth and the ninth day. In the LDPE-2 it reached stability day 9 of storage with 5% CO<sub>2</sub> and 14% O<sub>2</sub>, while in the LDPE-3 package the stability was reached at the day 6 with 6% CO<sub>2</sub> and 13% CO<sub>2</sub>. In the active MA (with injection of 5% CO<sub>2</sub>) the levels were 2% CO<sub>2</sub> and 21% O<sub>2</sub> in LDPE-2 and 6% CO<sub>2</sub> and 12% O<sub>2</sub> in LDPE-3 when the moment of stability was reached in the sixth day. For the active MA with injection 5% CO<sub>2</sub> and 8% O<sub>2</sub>, the levels reached were 3% CO<sub>2</sub> and 16% O<sub>2</sub> in LDPE-2 in the ninth day and 3% CO<sub>2</sub> and 18% O<sub>2</sub> in LDPE-3 for the same date. All MA storage prevented chilling injury and reduced weight loss and withering, softening and rotting. Total losses were less in the polyethylene LDPE-

2 as compared with LDPE-3. The atmosphere used did not have any importance in these cases.

According to the results, araza fruits should be stored in LDPE-2 polyethylene bags with an initial atmosphere mixture of 5 % CO<sub>2</sub> and 5% O<sub>2</sub>. Under these conditions fruit acidity, organic acids concentration and firmness of mesocarp remained unchanged for a longer period.

Key words: Chilling injury, polyethylene, organic acids contents, skin scald, storage, sugars.

## INTRODUCCION

Los frutos tropicales son sensibles al daño por frío, lo que trae como consecuencia que no puedan ser almacenados a temperaturas muy bajas y que su vida de poscosecha se vea acortada, al compararlos con los frutos cultivados en climas templados. El almacenamiento de frutos en condiciones de atmósfera modificada (AM) ha demostrado disminuir la sensibilidad al daño por frío en frutos tropicales (Yahia, 1998).

El almacenamiento en condiciones de AM consiste en mantener una condición de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> adecuada dentro del empaque, que usualmente se alcanza por la interacción de la respiración del producto y por la permeabilidad de los empaques empleados. El fin del almacenamiento es disminuir el ataque de patógenos, así como mantener la calidad del producto perecedero (Kader et al., 1989; Yahia y González-Aguilar, 1998; Yahia y Rivera-Domínguez, 1992).

El principio en que se basa la AM es la reducción de la disponibilidad de oxígeno para la respiración de diversos substratos, llegándose también a inhibir el proceso de maduración o senescencia por la acumulación de dióxido de carbono y vapor de agua.

Cuando la atmósfera es modificada de manera S.I. por la respiración del producto pueden requerirse días e incluso semanas para alcanzar la estabilidad al interior del empaque. En el

caso de las atmósferas semiactivas se hace una modificación inicial, adicionando una mezcla previamente preparada en un volumen determinado, en cuyo caso se mantiene una atmósfera más estable desde el inicio y se puede alcanzar un mayor tiempo de conservación del producto (González et al., 1991; Yahia y González Aguilar, 1998).

Durante los últimos 50 años, el uso de las atmósferas controladas y de las atmósferas modificadas se ha incrementado para contribuir a prolongar la vida de poscosecha de frutas y hortalizas. Bajas concentraciones de O<sub>2</sub> y/o altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, en niveles que no causen estrés en los tejidos del fruto, reducen la respiración y la producción de etileno y retrasan la aparición de la senescencia. Mientras las atmósferas controladas han resultado para la mayoría de los productos imprácticas y antieconómicas por la acción del etileno y la contaminación de aromas y sabores, el almacenamiento en atmósferas modificadas resulta un sistema más flexible y relativamente económico para ser aplicados a un gran número de productos durante su distribución y almacenamiento (Kader, 1995; Lee et al., 1996).

En la refrigeración el fruto se deteriora gradualmente, hay pérdida de textura, disminución del contenido de vitamina C e incremento del índice de madurez por reducción del contenido de ácido cítrico que redunda en una pérdida de sabor (Arévalo et al., 1994). La atmósfera modificada ayuda a retrasar el inicio de la senescencia ya que influye de manera directa en la actividad de enzimas, realizando un control directo de los procesos de cambio de color, ablandamiento y desarrollo de sabor y aroma (Kader, 1995; Watkins y Zhang, 1998). Adicionalmente, en el caso de especies sensibles a bajas temperaturas, el aumento de humedad y la reducción de la concentración de O<sub>2</sub> y acumulación de CO<sub>2</sub> dentro del empaque frecuentemente previenen el desarrollo de síntomas de daño por frío (Forney y Lipton, 1990; Fernández-Trujillo et al., 1998 Wang y Qi 1997)

El arazá es una baya carnosa de la familia de las *Myrtaceae*. Los frutos se conservan moderadamente bien cuando se almacenan a 13°C y 90-95% de H.R., condición en la cual se evita el daño por frío. El máximo tiempo de almacenamiento puede ser hasta de 14 días según se presentó en el capítulo 4 y también ha sido reportado por algunos autores (Galvis

y Hernández, 1993). Por debajo de la temperatura crítica, de 12°C, hay ablandamiento o endurecimiento anormal, pérdida de aroma y manchas del epicarpio, al igual que pérdida de peso, la cual se incrementa si la H.R. de almacenamiento es baja (Arkcoll, 1991; Galvis y Hernández, 1993). El almacenamiento en condiciones de atmósfera modificada puede aliviar mucho estos efectos negativos si las condiciones película-producto-almacenamiento son optimizadas (Ben-Yehoshua et al., 1997; Fernández-Trujillo et al., 1998; Kader et al., 1989).

Aunque los resultados del almacenamiento en atmósfera modificada han sido variables y no han sido concluyentes en lo que refiere a las especies tropicales, Yahia (1998) sugiere que es posible que sea producto de la falta de control de variables. Adicionalmente, Kader (1993) afirma de manera general que la conservación bajo el régimen de atmósfera modificada prolonga la vida del producto entre el 50 y el 100% más de tiempo. Lee et al. (1996) coinciden con este planteamiento y señalan que el empaque en atmósfera modificada tiene interés particularmente para frutos tropicales que exhiben altas tasas respiratorias y son sensibles al daño por frío.

En cuanto al uso en sí de la atmósfera modificada para frutos tropicales se han usado muchos polímeros, siendo los más comunes algunos tipos de polietilenos de diferentes grosores, al igual que otros tipos de películas como polipropilenos y polivilidenos que al ser colocados en diferentes temperaturas y humedades relativas, resultan en diferentes permeabilidades y en consecuencia en diferentes atmósferas de empaquetado, con lo cual se hace más difícil concluir satisfactoriamente al respecto de estos resultados (Yahia, 1998).

Para el caso de algunos productos, la permeabilidad de las películas es insuficiente para permitir el adecuado intercambio de gases desde y hacia la atmósfera por simple permeación, como sucede en el caso del brocoli, el espárrago, cebolla junca y el maíz dulce. En estos casos, se recomienda incrementar la transmisión a través de la película plástica, a través de microperforaciones. Las microperforaciones hacen posible que haya un incremento gaseoso en ambos sentidos por difusión, además de que la atmósfera interior es

menos sensible a los cambios de temperatura (Beaudry, 2000). Los empaques microperforados han mostrado buenos resultados en la conservación de algunos productos, retardando su decoloración y marchitamiento y mejorando la acumulación y conservación de azúcares (Geeson, 1989)

Para el caso de otras especies de la familia *Myrtaceae* tales como feijoa y guayaba, los ensayos de almacenamiento en atmósferas modificadas y/o controladas han mostrado aumentos entre el 25 y el 30% de tiempo de vida útil del producto mejorando sus características sensoriales de textura, sabor y aroma (Yahia, 1998). El objetivo del presente estudio fue evaluar la efectividad de dos películas de polietileno de baja densidad (38 y 74  $\mu\text{m}$ ) y 4 atmósferas (*a.* modificación del 5%CO<sub>2</sub>;5%O<sub>2</sub>, *b.* 5%CO<sub>2</sub>;8%O<sub>2</sub>, *c.* modificación S.I. y *d.* polietileno macroperforado MPF) para conservar la calidad y en lo posible prolongar la vida de estante del fruto de arazá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Frutos de arazá en estado verde-maduro, con coloración 2 (escala definida en el ensayo de maduración del fruto), fueron cosechados en el cultivo comercial de la finca 'Copoazú' del Municipio de El Doncello en el Departamento de Caquetá, con condiciones climáticas de temperatura promedio anual de 25°C, humedad relativa de 85%, precipitación promedio anual de 3600 mm/año y brillo solar de 1500 h/año (IDEAM, 2000). Los frutos fueron transportados por vía terrestre en cajas plásticas de 10 Kg. hasta el aeropuerto de Florencia, durante una hora. Desde allí se enviaron por vía aérea al laboratorio de Poscosecha del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos ICTA- Universidad Nacional - Sede Bogotá. En el laboratorio se hizo una selección por sanidad, ausencia de defectos y daños mecánicos. Los frutos seleccionados fueron acondicionados mediante lavado, desinfección y enjuague de acuerdo con la metodología descrita en el Capítulo 4.

El espesor y la permeabilidad al oxígeno de las dos películas empleadas fueron 38 $\mu\text{m}$  y 4000  $\text{cm}^3\text{O}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$  para el LDPE-2 y de 74  $\mu\text{m}$  y 2330  $\text{cm}^3\text{O}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$  para el LDPE-3

respectivamente. La permeabilidad al oxígeno de los dos polietilenos empleados fue medida con un equipo OXTRA 100 (MOCON, Minneapolis, MN) y las condiciones de medida fueron 23°C y 560 mm de Hg.

Se empacaron 3 frutos por bolsa (40x23 cm) de polietileno, de baja densidad de los calibres LDPE-38µm y LPDE-74µm, con un peso total de 450g por bolsa. 8 repeticiones de cada tratamiento y 2 bolsas de cada uno fueron evaluadas cada tercer día, para conocer la composición interna de las mismas. Las mezclas certificadas de gases de 5%CO<sub>2</sub> y de 5%O<sub>2</sub> y de 5%CO<sub>2</sub> y 8% O<sub>2</sub> (AGA, Bogotá) fueron inyectadas con una maquina empacadora HENKOVAK 1500 (Países Bajos). Las bolsas macroporadas (MPF) se prepararon haciendo perforaciones con una aguja hipodérmica de (Ø 0.8 mm)

La atmósfera interna de las bolsas fue registrada con un analizador de gases Abbiss TOM 12 N28 (Villemoisson, France). a través de un parche de silicona comercial de 1 cm<sup>2</sup> previamente fijado a las bolsas a donde se conectaba la aguja acoplada al sistema, el cual arroja directamente el porcentaje de CO<sub>2</sub> y de O<sub>2</sub>.

Los parámetros de calidad evaluados en ocho frutos provenientes de las tres repeticiones fueron: 1) firmeza, medida en un punto por fruto; 2) sólidos solubles totales -SST- (refractómetro manual ATAGO, Japón); 3) acidez total titulable, ATT (AOAC, 1995; en mmol H<sup>+</sup>·l<sup>-1</sup>) y 4) pH. Se analizó el contenido de los ácidos orgánicos: 5) málico, 6) succínico, 7) cítrico y 8) ascórbico. Los azúcares: 9) sacarosa, 10) glucosa y 11) fructosa. Como parámetros de calidad analizados fueron: 12) color, 13) pérdida de peso, 14) marchitamiento, 15) incidencia de antracnosis y 16) incidencia de otras pudriciones. Todas las variables anteriores fueron medidas siguiendo la misma metodología usada en el Capítulo 4

Las evaluaciones de las diferentes variables se hicieron después de la primera y la segunda semana de almacenamiento, y luego de una etapa de maduración complementaria de 3 días a 20°C±1°C H.R. 75%, al final de cada una de las dos semanas de almacenamiento. La

maduración complementaria de los frutos se hizo después de abrir las bolsas al final de cada uno de los períodos de almacenamiento refrigerado.

Los diferentes tratamientos se arreglaron en un diseño completamente aleatorio con 3 repeticiones. Las variables estudiadas se sometieron a análisis de varianza. Se realizó un análisis de varianza con los siguientes factores principales: 1- Espesor de la película (38, 74  $\mu\text{m}$ ); 2- Atmósferas: 2.1- Activa 5%  $\text{CO}_2$  y 5%  $\text{O}_2$ , balance de nitrógeno, 2.2- Activa del 5%  $\text{CO}_2$  y 8% de  $\text{O}_2$  y balance de nitrógeno, 2.3- Pasiva (S.I.) y 2.4- MPF o control con atmósfera normal; 3- Tiempo de almacenamiento (1 y 2 semanas) y 4- Período de maduración complementaria (0 y 3 días). Por su parte, la pérdida de peso se analizó bajo una estructura de parcelas divididas en el tiempo (Steel y Torrie, 1985), debido a que la evaluación se realizó sobre las mismas unidades todas las veces. Se realizó la prueba de Tukey para las interacciones de 4 grado que resultaron significativas. La estructura de los tratamientos se presenta en la tabla 7.1

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis de atmósfera en el interior de los envases**

En el empaque LDPE-2 con modificación activa de la atmósfera (5%  $\text{CO}_2$  y 5%  $\text{O}_2$ ) los niveles alcanzados en el estado estacionario o de equilibrio a  $10^\circ\text{C}$  fueron 2%  $\text{CO}_2$  y 21%  $\text{O}_2$  el día 9, mientras que el estado de equilibrio para frutos de atmósfera pasiva, se alcanzó con niveles de 6%  $\text{CO}_2$  y de 12%  $\text{O}_2$  para la misma época. En el empaque LDPE-3 las concentraciones en el estado estacionario fueron de 6%  $\text{CO}_2$  y 12%  $\text{O}_2$  el día 6, momento en el cual se alcanza el equilibrio en el interior de las bolsas (figura 7.1). La atmósfera activa de 5%  $\text{CO}_2$ ; 8%  $\text{O}_2$  presentó un comportamiento irregular, el  $\text{CO}_2$  no llegó a estabilizarse sino hacia el final del almacenamiento, luego de haberse incrementado durante la primera semana. Los niveles finales de  $\text{CO}_2$  estuvieron cercanos al 3% en ambas películas plásticas. El  $\text{O}_2$  presentó estabilidad después de la primera semana de almacenamiento y los niveles estuvieron cercanos al 15% para el LDPE-2 y 17% para el

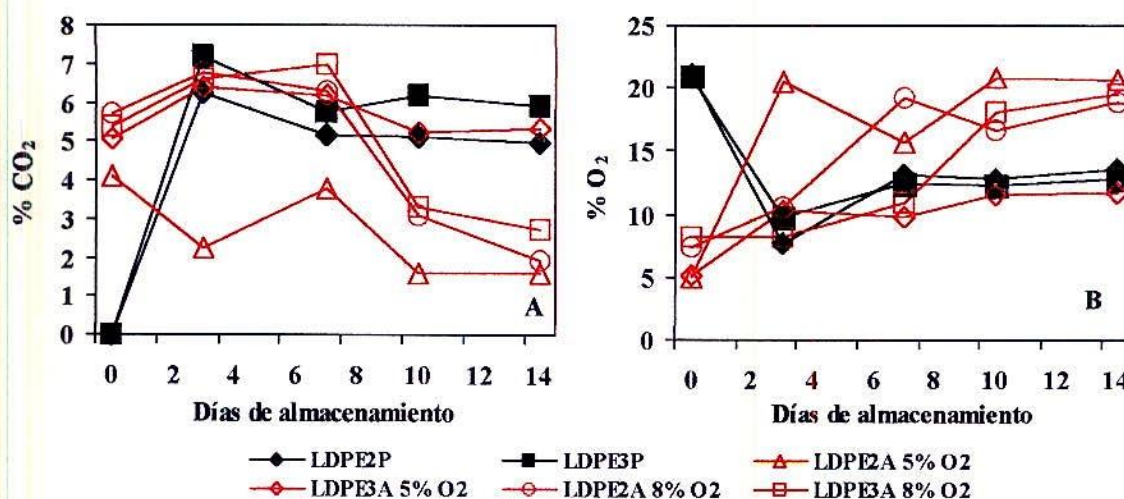
**Tabla 7.1.** Distribución de tratamientos en el ensayo de atmósfera modificada.

Tratamiento	Tiempo	MC	Densidad	ATM
1	7	0	2	5
2	7	0	2	8
3	7	0	2	SI
4	7	0	2	MPF
5	7	1	2	5
6	7	1	2	8
7	7	1	2	SI
8	7	1	2	MPF
9	14	0	2	5
10	14	0	2	8
11	14	0	2	SI
12	14	0	2	MPF
13	14	1	2	5
14	14	1	2	8
15	14	1	2	SI
16	14	1	2	MPF
17	7	0	3	5
18	7	0	3	8
19	7	0	3	SI
20	7	0	3	MPF
21	7	1	3	5
22	7	1	3	8
23	7	1	3	SI
24	7	1	3	MPF
25	14	0	3	5
26	14	0	3	8
27	14	0	3	SI
28	14	0	3	MPF
29	14	1	3	5
30	14	1	3	8
31	14	1	3	SI
32	14	1	3	MPF

## LDPE-3.

A partir del día 9 no se presentaron variaciones en el tratamiento de atmósfera modificada en LDPE-2 sin inyección. El nivel de  $\text{CO}_2$  para este tratamiento fue del 5% en el momento de alcanzar la estabilidad. El  $\text{O}_2$  se estabilizó en el 14% para la misma época, sin cambios posteriores. En el empaque LDPE-3 los cambios en  $\text{CO}_2$  tuvieron lugar hasta el día 6 con 6%  $\text{CO}_2$  mientras que el  $\text{O}_2$  mantuvo un nivel del 13%.

Se observó que los niveles de  $\text{CO}_2$  siempre fueron mayores en el empaque LDPE-3, independientemente de la modificación activa o S.I. de la atmósfera interior. De manera semejante se encontró que los niveles de  $\text{O}_2$  siempre fueron menores en este empaque en relación con los alcanzados en el empaque LDPE-2 (foto 7.1-7.3).



**Figura 7.1.** Composición de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  dentro de las bolsas con frutos de arazá ( $n= 2$  bolsas, 3 frutos por bolsa). Almacenamiento en polietileno de baja densidad LDPE-2 38 o LDPE-3 74  $\mu\text{m}$  de espesor a  $10^\circ\text{C}$ . Los símbolos huecos indican AM pasiva y los símbolos rellenos AM activa.

Al final del tratamiento, los frutos empacados en las bolsas LDPE-2 alcanzaron un estado de madurez más avanzado con relación a los frutos embolsados en LDPE-3, sin considerar el tipo de atmósfera de almacenamiento. Sin embargo, la calidad de los frutos almacenados

en el polietileno LDPE-2 fue mejor en frutos empacados con modificación activa de la atmósfera inicial, posiblemente como consecuencia de la menor acumulación final de CO<sub>2</sub> y mayor disponibilidad de O<sub>2</sub>. La variación del CO<sub>2</sub> y del O<sub>2</sub> en la AM activa con inyección de 5% de CO<sub>2</sub> y de 8% de O<sub>2</sub> no favoreció la respuesta de los frutos en ninguno de los dos polietilenos empleados. Podría considerarse que el aumento de CO<sub>2</sub> en la primera semana del almacenamiento produjo un estrés que modificó de manera irreversible el metabolismo de los frutos.

### **Parámetros fisicoquímicos**

El análisis de varianza (tablas 7.1 y 7.2) mostró significancia en las interacciones de tercer y cuarto grado de los factores tiempo de almacenamiento, densidad de la bolsa, atmósfera y madurez complementaria, para las variables firmeza, pH, acidez, ácidos orgánicos y ácido ascórbico.

### **Firmeza**

La firmeza de los frutos tratados con atmósfera modificada mostró diferencias significativas para la interacción cuádruple. La firmeza disminuyó en todos los tratamientos desde valores de 43.2 N en el momento de la cosecha hasta valores cercanos a 20 N al final del almacenamiento (tabla 7.3). La firmeza de los frutos varió entre los dos tipos de polietileno utilizados. De manera general, la firmeza de los frutos fue menor cuando estaban embolsados en LDPE-2.

La firmeza de los frutos disminuyó significativamente durante la madurez complementaria dependiendo de la atmósfera y de la densidad de la película utilizada. Los frutos empacados en polietileno LDPE-3 siempre presentaron menor firmeza tras la maduración complementaria, después de la primera y la segunda semana.

Los frutos almacenados con modificación inicial de la atmósfera presentaron mayor

firmeza a lo largo del tratamiento y en los períodos de maduración complementaria, al compararlos con los que fueron almacenados en AM S.I. y bolsas macroforadas, con excepción de los frutos empacados en LDPE-2 y modificación S.I.. Este comportamiento puede explicarse debido a que esta película presenta una mayor permeabilidad al O<sub>2</sub>, lo cual incide de manera directa en una mayor disponibilidad de oxígeno al interior de la bolsa y menor acumulación del CO<sub>2</sub>, lo que podría incidir en una tasa respiratoria mayor y una maduración más acelerada.

El mayor ablandamiento en frutos almacenados en bolsas de LDPE-3 durante el almacenamiento y en la maduración complementaria puede atribuirse a una acumulación de CO<sub>2</sub> al interior de la bolsa que acelere algún proceso de daño interno o el proceso de senescencia del fruto (Kader et al, 1989; Fernández et al., 1998) Este comportamiento, también podría atribuirse a un efecto del CO<sub>2</sub> acumulado durante el almacenamiento que podría modificar temporalmente el metabolismo del fruto, aun después de retirados de la atmósfera modificada (Kader et al., 1989). Un comportamiento similar fue observado por D'Aquino et al. (1997) en naranja satsuma "Okitsu", las cuales necesitan 24 horas como mínimo para recobrar los niveles de CO<sub>2</sub> en el tejido después de haberse sometido a almacenamiento en atmósfera modificada.

En el caso de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se encontró que elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> inducen ablandamiento. Dicho ablandamiento es consecuencia de la disminución del ion H, causada por la reducción del ácido málico (Buescher y Adams, 1983)

## **pH**

El pH de los frutos almacenados no presentó diferencias estadísticas para interacción cuádruple (tabla 7.2). Los valores del pH en los frutos almacenados aumentaron de 2.6 a 3.0 de manera esperada (tabla 7.3). Se encontró que los frutos empacados en atmósfera modificada activamente con 5% de CO<sub>2</sub> y 5% de O<sub>2</sub>, independientemente del calibre del polietileno, exhibieron los mayores valores de pH, mientras que los niveles más bajos, los

presentaron los frutos empacados en los dos polietilenos con atmósfera modificada S.I..

**Tabla 7.2.** Cuadrados medios del análisis de varianza para firmeza, pH, acidez, ácidos orgánicos y vitamina C evaluadas durante el almacenamiento del fruto de arazá en atmósfera modificada en bolsas de polietileno de baja densidad por 1 o 2 semanas, más 3 días de maduración complementaria a 20°C (n=6).

Fuente de Variación	GL	Firmeza (Newton)	pH	Acidez (%)	Ácido Mállico ( $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Ácido Succínico ( $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Ácido Cítrico ( $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Ácido Ascórbico (ppm)
Tiempo Almacena (T)	1	7.07ns	0.002ns	5886**	1123**	128**	1.07**	626**
Maduración com)MC	1	1105**	0.001ns	480.50ns	7273**	83**	0.17**	65**
T x MC	1	44.76**	0.007ns	15.12ns	274**	86.4**	0.40**	7**
Densidad (D)	1	234**	0.06**	270.28ns	2.28 ns	2784**	0.92**	0.92ns
T x D	1	62.58**	0.007 ns	488.28ns	1968**	222**	8.33**	53**
MC x D	1	0.23 ns	0.005 ns	3938**	4161.8*	300**	0.13**	70**
T x MC x D	1	21.36	0.0003 ns	3850**	3.01 ns	3.25*	0.17**	58**
Atmósfera (ATM)	3	65.7**	0.04**	15209**	7986**	903**	4.08**	3.5**
ATM vs Control	1	1.51	0.01*	1350ns	9051**	2524**	12**	12**
T x ATM	3	48.7**	0.10**	3857**	4188**	603**	4.37**	23**
MC x ATM	3	20.56*	0.01**	7117**	7617**	1138**	0.70**	14**
T x MC x ATM	3	61.6**	0.05**	4028**	2317**	277**	0.57**	31**
D x ATM	3	525**	0.05**	16486**	6152**	830**	6.33**	140**
T x D x ATM	3	379**	0.15**	5432**	1802**	974**	3.13**	30**
MC x D x ATM	3	105**	0.10**	2051**	657**	797**	0.74**	16**
T x MC x D x ATM	3	20.46*	0.005 ns	5290**	4707**	477**	0.60**	65**
Error	96	6.2	0.002	387	2.9	0.5	0.009	0.7

\* Probabilidad: n.s. no significativo. \* y \*\* significativos a  $P = 0.05$  y  $0.01$  respectivamente.

Los grados de libertad del error para ácidos orgánicos 32 (n=2)

El contraste ortogonal entre los tratamientos de atmósfera modificada y el control de atmósfera macroperforada mostraron diferencias altamente significativas de pH entre frutos empacados en las dos películas plásticas. Los frutos de arazá empacados en LDPE-2 mostraron aumento de pH mayores que los frutos empacados en LDPE-3. La mezcla 5% de  $\text{CO}_2$  y 5% de  $\text{O}_2$  influyó en un mayor aumento de pH en el fruto de arazá (3.0) mientras que la atmósfera modificada S.I. de bolsas de este calibre retardó su senescencia y el pH no aumentó.

El pH de los frutos de arazá aumenta durante la maduración, comportamiento que coincide con lo observado en frutos de guayaba y maracuyá (Arjona et al., 1994; Mercado et al., 1998); sin embargo, en algunos tratamientos de atmósfera modificada, los valores no varían durante el período de conservación ni durante en la maduración complementaria.

**Tabla 7.3.** Promedios de variables de calidad en frutos de arazá (n=6) con tratamientos de atmósfera modificada.

Tiempo	Tratamiento			Firmeza	pH	Acidez	SST (°Brix)
	MC	Densidad	ATM				
0	0	0	0	38	2.7	535.0	3.6
7	0	2	5	22.8	2.9	399.3	4.0
7	0	2	8	37.6	2.9	425.5	4.3
7	0	2	S.I.	36.6	2.7	527.5	4.0
7	0	2	MPF	37.6	3.0	443.8	3.8
7	1	2	5	17.2	2.8	416.3	3.7
7	1	2	8	33.2	2.9	450.5	3.9
7	1	2	S.I.	22.7	2.8	482.5	4.7
7	1	2	MPF	29.8	3.0	547.8	5.5
14	0	2	5	21.8	2.9	435.0	4.6
14	0	2	8	24.3	3.0	403.3	3.7
14	0	2	S.I.	37.4	2.8	437.3	3.9
14	0	2	MPF	35.7	2.9	491.8	5.3
14	1	2	5	22.1	3.0	425.3	4.2
14	1	2	8	25.0	2.8	483.0	4.6
14	1	2	S.I.	32.5	3.0	405.3	4.5
14	1	2	MPF	23.8	2.8	472.5	5.5
7	0	3	5	41.2	2.9	422.5	3.5
7	0	3	8	35.9	2.8	525.3	3.6
7	0	3	S.I.	37.3	2.9	489.5	4.3
7	0	3	MPF	21.9	2.8	443.0	3.5
7	1	3	5	31.4	2.7	445.8	4.0
7	1	3	8	23.4	3.0	479.8	3.9
7	1	3	S.I.	31.9	2.8	467.5	3.4
7	1	3	MPF	25.0	3.0	411.8	4.2
14	0	3	5	36.2	3.0	413.0	3.9
14	0	3	8	36.8	2.9	464.5	5.1
14	0	3	S.I.	30.8	2.8	500.5	4.2
14	0	3	MPF	34.8	2.7	417.0	3.9
14	1	3	5	32.7	3.0	420.0	4.3
14	1	3	8	31.4	3.0	500.3	3.9
14	1	3	S.I.	22.1	2.7	440.3	3.5
14	1	3	MPF	30.7	2.7	452.3	3.7

DMS Tukey 5%  
ns: no significativo

6.4      ns      50.5      1.05

Se podría suponer que concentraciones de 5% de CO<sub>2</sub>, o superiores, en el interior de las bolsas LDPE-3 ocasionan acidificación del fruto y disminución en el pH. Ke et al. (1993) encontraron que el CO<sub>2</sub> disminuye la acción de enzimas como la succinato deshidrogenasa ocasionando la acumulación del ácido succínico, lo que contribuye a una acidificación del producto.

Los frutos control en empaque macroporoso mostraron aumento de pH durante la primera semana de almacenamiento y disminución al final de la segunda semana, así como tras el período de maduración complementaria de 3 días a 20°C. Este comportamiento coincide con el reportado por Mohamed et al. (1996) en ensayos de almacenamiento de sapodilla (*Achras sapota* L.) en atmósfera modificada. El cambio en pH podría estar asociado con la degradación de sustancias pécticas y ablandamiento del fruto, como se encontró en frijol (Buescher y Adams, 1983).

### **Acidez Total Titulable**

La acidez total titulable (ATT) de los frutos de arazá disminuyó en todos los tratamientos y presentó diferencias para la interacción cuádruple. La mayor disminución se registró en los frutos almacenados en atmósfera modificada activa de 5% de CO<sub>2</sub> y de 5% de O<sub>2</sub>, en LDPE-2 lo cual coincide con el mayor aumento en el pH. Este comportamiento fue acorde con el del ácido málico, el cual disminuyó durante las dos semanas de almacenamiento y durante la maduración complementaria. Por el contrario, en los frutos almacenados en AM activa de 5% de CO<sub>2</sub> y de 8% de O<sub>2</sub> el valor de la acidez total se mantuvo, acompañado de un aumento altamente significativo del contenido de ácido málico.

Dicho comportamiento puede deberse a una disminución en la actividad de enzimas responsables del metabolismo de los ácidos orgánicos, como resultado del aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> de la atmósfera de almacenamiento. Ke et al. (1993) reportan aumentos similares en el caso de la lechuga fresca. Fernández-Trujillo et al. (1999), en estudios adelantados con 4 cultivares de fresa encontraron que los frutos sensibles al CO<sub>2</sub>

mostraban acumulación de succinato probablemente como consecuencia de la inhibición de la enzima succinato deshidrogenasa SDH, lo cual coincide con resultados de Yang et al., (1998) en cohombro. Estos autores apuntan diferentes mecanismos para justificar esta acumulación, ya que Ke et al. (1993) y Fernández-Trujillo et al. (2001) no encuentran relación entre sensibilidad a posibles daños por CO<sub>2</sub> y acumulación de succinato. Sin embargo, no se conocen reportes de los niveles de CO<sub>2</sub> que el fruto de arazá pueda tolerar. Por los resultados obtenidos en el presente estudio podría inferirse que hay una sensibilidad considerable por parte del fruto de arazá a altas concentraciones de este gas, lo cual clasifica al fruto de arazá cerca de la pera y los nectarines, frutos tolerantes a concentraciones de CO<sub>2</sub> no mayores a 2% (Kader y Morris, 1977).

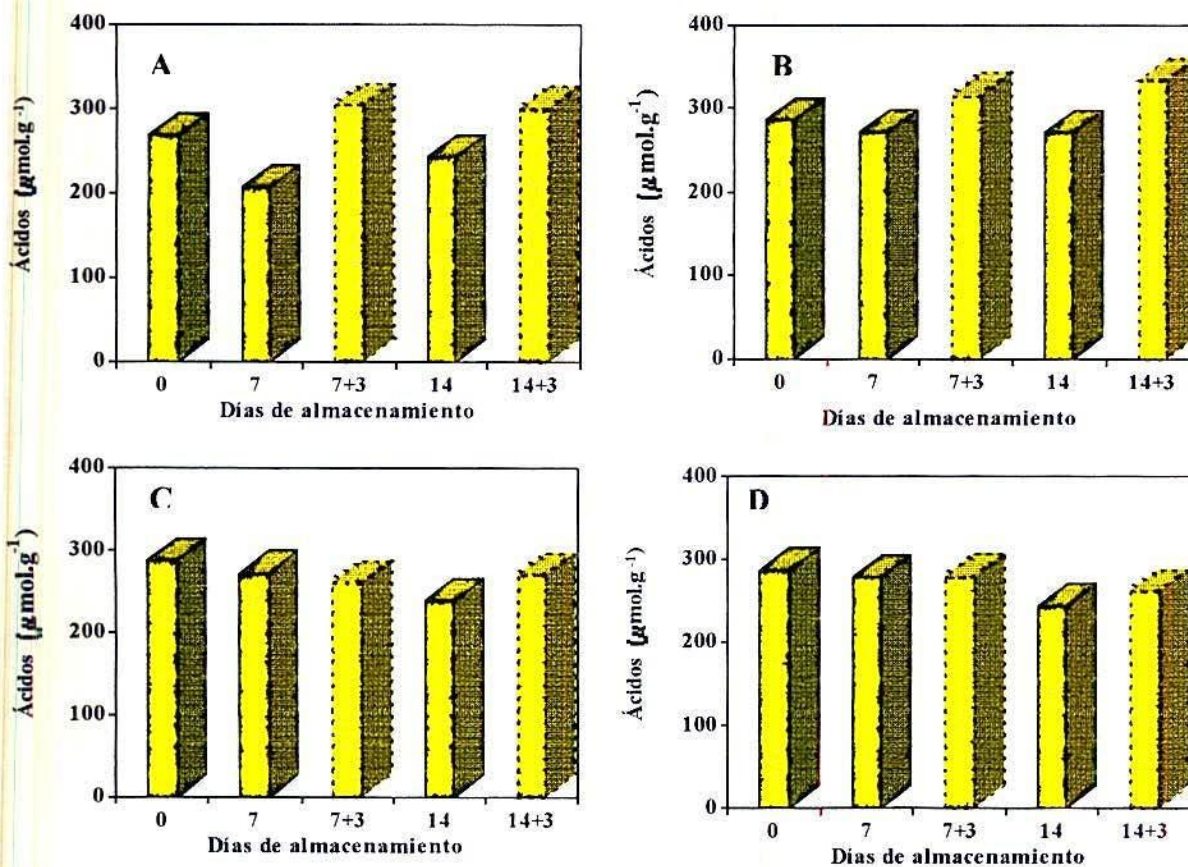
El incremento en la acidez total que también puede ser asociado con una leve disminución de pH ha sido relacionado con el daño por frío en frutos de arazá almacenados a temperatura de 8°C (Galvis y Hernández, 1993). Sin embargo, no se presentó esta tendencia en los frutos almacenados en atmósfera modificada S.I. o macroperforada LDPE-3 (tabla 7.3).

## **Acidos Orgánicos**

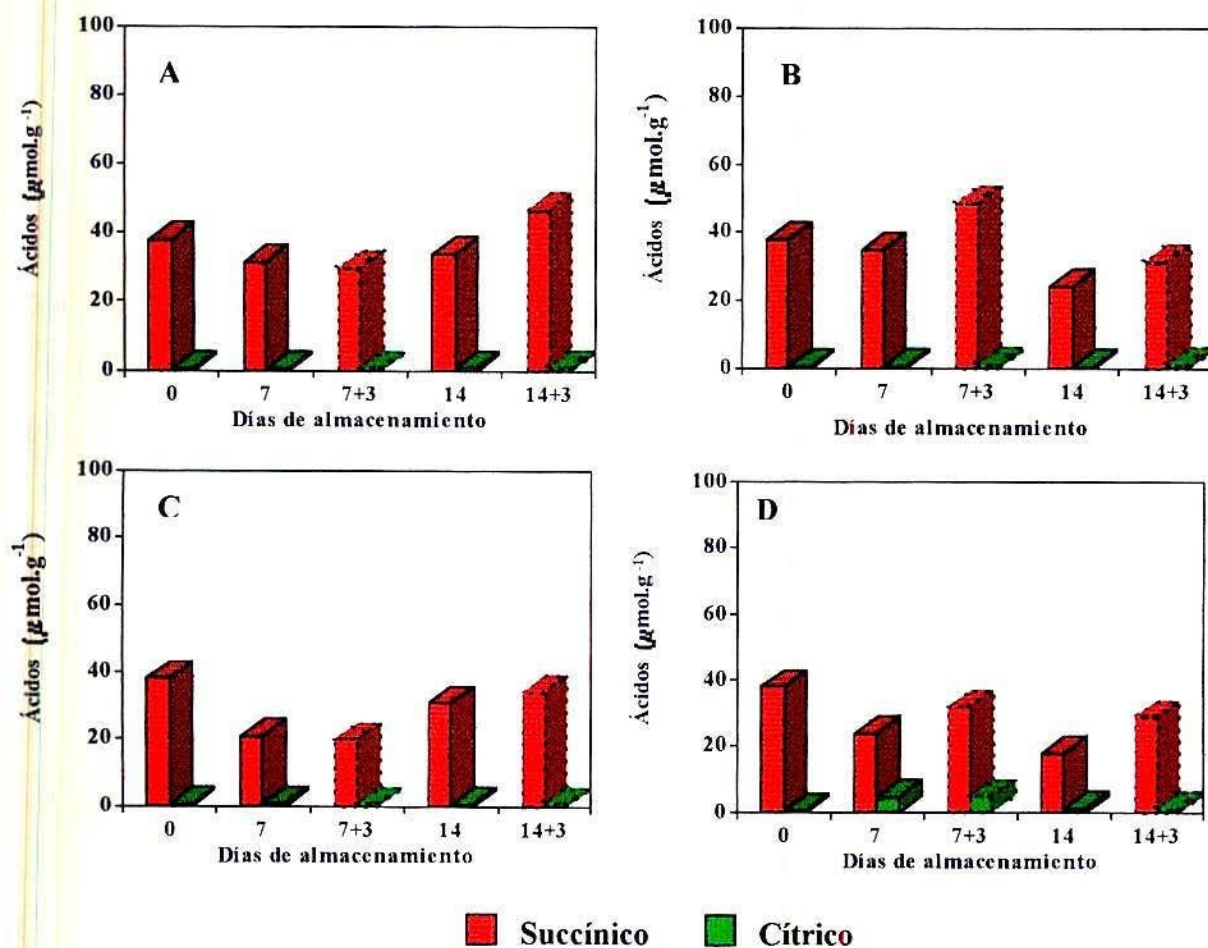
### **Acido Málico**

El contenido de ácido málico de los frutos mostró una tendencia a disminuir durante el almacenamiento, en todos los tratamientos empacados en LDPE-2. La mayor disminución se presentó en los frutos empacados en AM S.I. ( $250 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ ), así como en los frutos empacados en polietileno MPF ( $260\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ ), (figuras 7.2 y 7.4). Por otra parte, la mayor retención de ácido málico se presentó en los frutos empacados con modificación de la atmósfera al inicio del ensayo, con las dos mezclas evaluadas en el polietileno LDPE-3. Se observa que el comportamiento del contenido de ácido málico es una respuesta a la disminución de la actividad respiratoria, como resultado de la modificación de la atmósfera.

Mc Glasson y Wills (1972) reportan que el  $\text{CO}_2$  en altos niveles incrementa las concentraciones de malato, citrato, piruvato, entre otros ácidos en bananos.



**Figura 7.2.** Efecto del almacenamiento de frutos de arazá en atmósfera modificada (A) Activa 5%CO<sub>2</sub>; 5%O<sub>2</sub>, (B) Activa 5%CO<sub>2</sub>; 8%O<sub>2</sub> (C) S.I. y (D) MPF en LDPE-2 en el contenido de ácido málico (n=2). La línea punteada corresponde a los periodos de maduración complementaria (MC).



**Figura 7.3.** Efecto del almacenamiento de frutos de arazá en atmósfera modificada (A) Activa 5%CO<sub>2</sub>, 5%O<sub>2</sub>, (B) Activa 5%CO<sub>2</sub>, 8%O<sub>2</sub> (C) S.I. y (D) MPF en LDPE-2 en el contenido de ácidos succínico y cítrico (n=2). La línea punteada corresponde a los períodos de maduración complementaria (MC).

Los ácidos orgánicos constituyen una de las reservas del fruto más importantes para su mantenimiento. En los tratamientos de atmósfera modificada activa el bajo oxígeno disponible al inicio del tratamiento disminuye la actividad metabólica del fruto, con lo cual el consumo de reservas disminuye. En consecuencia, los contenidos de ácidos orgánicos se mantienen, alcanzándose de esta manera el propósito de la AM que es mantener la calidad del producto almacenado (Kader, 1993; Wang y Qi, 1997).

En el caso de los frutos almacenados en polietileno LDPE-3 el mayor contenido de ácido málico puede ser el resultado de la disminución de la conversión de fumarato a malato (Ke et al., 1993). En las bolsas macroperforadas del mismo polietileno los contenidos de ácido málico se mantuvieron desde el inicio del almacenamiento con disminución significativa al final de la maduración complementaria.

### Ácido Succínico

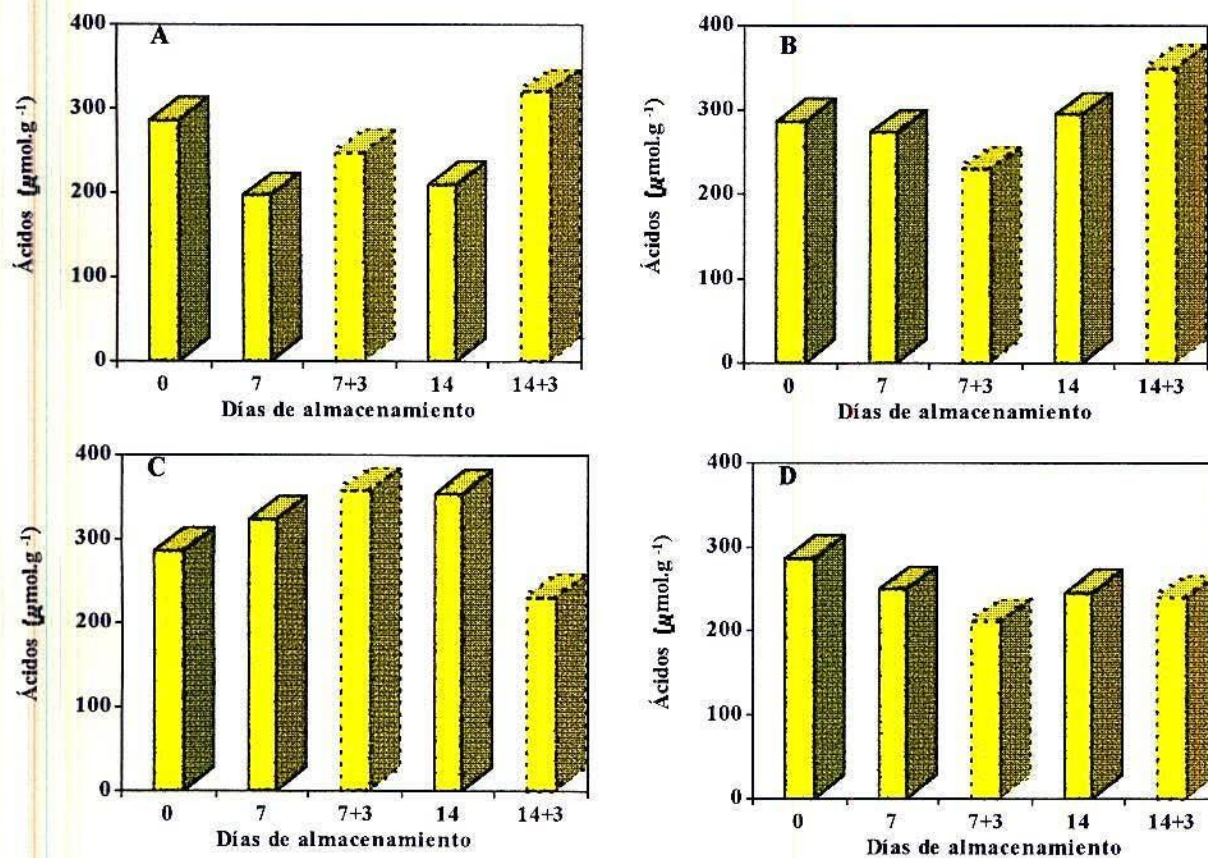
El contenido de ácido succínico de los frutos aumentó durante las dos semanas de almacenamiento en los frutos empacados en LDPE-2 con atmósfera modificada de 5% de CO<sub>2</sub> y 5% de O<sub>2</sub> y atmósfera modificada S.I.. Los frutos empacados con atmósfera modificada de 5% de CO<sub>2</sub> y 8% de O<sub>2</sub> y en bolsa macroperforada exhibieron disminución del contenido de ácido succínico en el tratamiento de empaque en bolsa macroperforada, mientras éste mantuvo sus niveles en los frutos empacados en atmósfera modificada S.I. y con inyección de 5% CO<sub>2</sub> y 8% O<sub>2</sub> (figuras 7.3 y 7.5).

En el polietileno LDPE-3 con modificación activa del 5% CO<sub>2</sub> y 5% O<sub>2</sub> y 5% CO<sub>2</sub> y 8% O<sub>2</sub> el contenido de ácido succínico aumentó de manera significativa durante el almacenamiento (tabla 7.2, figura 7.5).

Este comportamiento puede deberse a la disminución de la actividad de la succinato deshidrogenasa SDH como consecuencia de los altos niveles de CO<sub>2</sub> (superiores al 6%) en la atmósfera de almacenamiento en dichos tratamientos. Ke et al. (1993) y Mathooko (1996) reportan que en frutos y en hortalizas, concentraciones de CO<sub>2</sub> a niveles superiores a las críticas, disminuyen la actividad de las enzimas asociadas al ciclo de los ácidos tricarbóxicos con la consecuente acumulación de ácidos orgánicos. La actividad de la succinato deshidrogenasa decrece cuando el pH citoplasmático cambia a valores en los cuales la enzima se inactiva. Aunque no se conocen reportes de las concentraciones de CO<sub>2</sub> a las cuales puede ser susceptible el fruto de arazá, su comportamiento hace inferir que éste es sensible a concentraciones de 6% o superiores, tal como sucede con el melocotón o la

fresa (Wankier et al, 1970; Larsen y Watkins, 1995).

Al comparar la evolución de la maduración de frutos de arazá empacados en los dos polietilenos se observó que la senescencia de los frutos en LDPE-3 se retardó en relación con la de los frutos empacados en LDPE-2. La maduración no llegó a completarse, aun en el período de maduración complementaria al final de la segunda semana. Este comportamiento se repitió en los frutos empacados con modificación inicial de la atmósfera tanto del 5% de  $O_2$ , así como del 8% de  $O_2$ , y S.I.



**Figura 7.4.** Efecto del almacenamiento de frutos de arazá en atmósfera modificada (A) Activa 5% $CO_2$ , 5% $O_2$ , (B) Activa 5% $CO_2$ , 8% $O_2$  (C) S.I y (D) MPF en LDPE-3 en el contenido de ácido málico ( $n=2$ ). La línea punteada corresponde a los períodos de maduración complementaria (MC).

### **Ácido Cítrico**

El ácido cítrico se encuentra en niveles bajos en el fruto de arazá, si se le compara con frutos de la misma familia como la guayaba y la feijoa (Ali y Lazan, 1997). El contenido de ácido cítrico disminuyó de manera significativa en todos los tratamientos evaluados (tabla 7.1), durante el almacenamiento y los períodos de maduración complementaria. Los frutos almacenados en LDPE-3 con inyección de AM del 5% CO<sub>2</sub>; 5% O<sub>2</sub>, por el contrario presentaron aumento de los niveles de ácido cítrico. Esta tendencia no coincide con la exhibida por los contenidos de los ácidos málico y succínico, lo cual podría explicarse como que la actividad de la enzima citrato deshidrogenasa no se vio afectada en el fruto almacenado en estas condiciones (figuras 7.3 y 7.5)

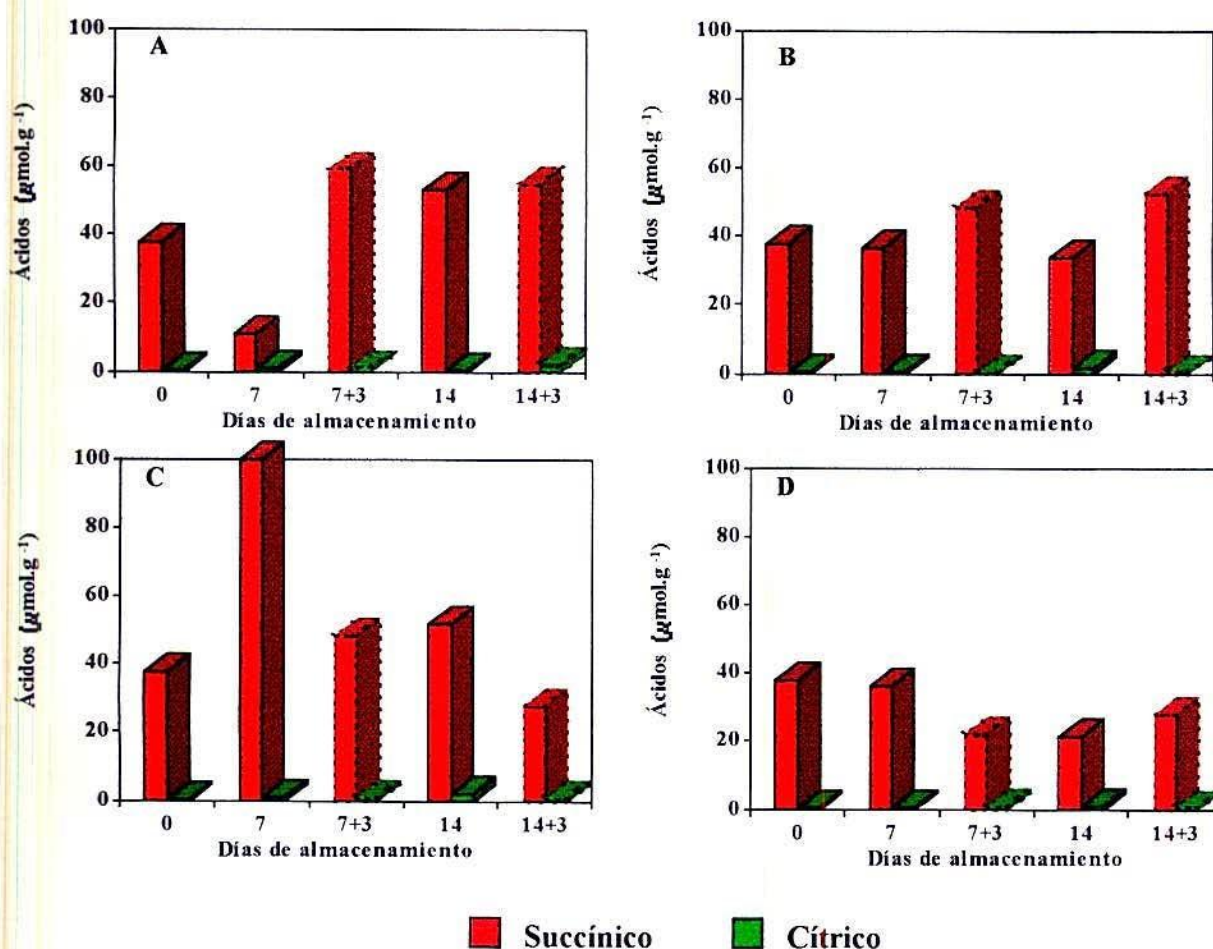
Los ácidos orgánicos constituyen reservas que durante la maduración son respiradas en el ciclo de Krebs, del cual se obtienen compuestos ricos en energía (Wills et al., 1998). La concentración de ácidos orgánicos usualmente disminuye durante la maduración del fruto y en consecuencia, tratamientos como la atmósfera modificada, causan un retraso en el consumo de ácidos orgánicos, al retrasar la maduración (Wang, 1990).

Sin embargo, existen diferentes respuestas de los contenidos de ácidos orgánicos en frutos almacenados en atmósfera modificada, es así que Knee y Hadfield (1981) reportan que la disminución en contenidos de ácidos orgánicos es mayor en manzanas en ambientes controlados. Finalmente autores como Weichman (1986) postulan que mientras las atmósferas enriquecidas con CO<sub>2</sub> por debajo de los niveles críticos reducen las pérdidas, concentraciones de CO<sub>2</sub>, superiores a dichos niveles, inducen el mayor consumo de ácidos orgánicos.

### **Acido ascórbico**

El contenido de ácido ascórbico de frutos de arazá almacenados en atmósfera modificada

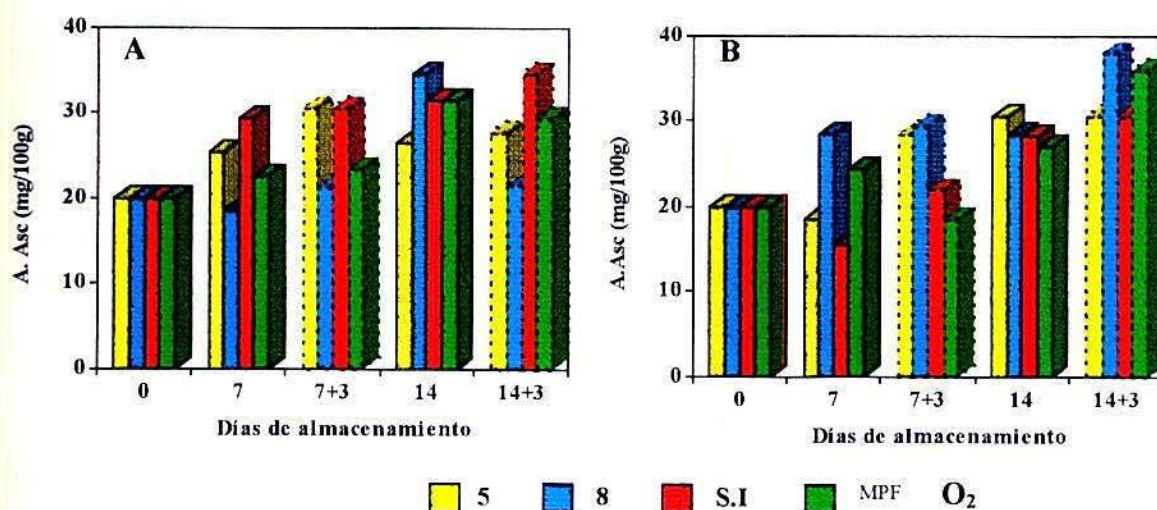
mostró un aumento altamente significativo para la interacción cuádruple (tabla 7.2). Los mayores contenidos de ácido ascórbico se encontraron en frutos almacenados con modificación activa de 5% CO<sub>2</sub>; 8% O<sub>2</sub>. Al final del período de maduración complementaria los contenidos de la vitamina fueron de 34 ppm para frutos empacados en LDPE-2 y de 32 ppm en aquellos empacados en LDPE-3 (figura 7.6).



**Figura 7.5.** Efecto del almacenamiento de frutos de arazá en atmósfera modificada (A) Activa 5%CO<sub>2</sub>;5%O<sub>2</sub>, (B) Activa 5%CO<sub>2</sub>; 8%O<sub>2</sub> (C) S.I y (D) MPF en LDPE-3 en el contenido de ácido succínico y de ácido cítrico (n=2). La línea punteada corresponde a los períodos de maduración complementaria (MC).

En términos generales se encontró que el contenido de ácido ascórbico aumentó o se mantuvo en todos los tratamientos. Lee y Kader (2000) reportan que el almacenamiento bajo condiciones de atmósfera modificada ayuda a la conservación del ácido ascórbico en frutos almacenados en condiciones de refrigeración, más aun cuando se trata de temperaturas por debajo de la crítica.

En el caso del arazá se puede afirmar que la condición de atmósfera modificada mantuvo los contenidos de vitamina C, desacelerando su degradación por efectos de la refrigeración y del tiempo. Holcroft y Kader (1999) afirman que el ácido ascórbico permanece intacto en fresas tratadas con atmósfera controlada debido a la localización del ácido (núcleo y citoplasma) en donde no se ve el efecto por el cambio de pH, que pueda producirse al interior de la vacuola, como consecuencia de las altas concentraciones de CO<sub>2</sub>.



**Figura 7.6.** Efecto del almacenamiento de frutos de arazá en atmósfera modificada sobre en el contenido de ácido ascórbico empacados en polietileno de baja densidad (A) LDPE-2 (38 $\mu$ m) y (B) LDPE-3(74 $\mu$ m)(n=2).

La tendencia exhibida por el contenido de vitamina C en el fruto de arazá coincide con la mostrada por otra *Myrtaceae*, el camu-camu (*Myrciaria dubia*), cuyos frutos almacenados en

atmósfera modificada no mostraron cambios sensibles en los contenidos de ácido ascórbico, con respecto a los frutos madurados en la planta (Silva y Andrade, 1997).

### Sólidos solubles totales y azúcares

El análisis de varianza (tabla 7.4) mostró significancia en las interacciones de tercer y cuarto grado de los factores tiempo de almacenamiento, densidad de la bolsa, atmósfera y madurez complementaria, para las variables sólidos solubles totales y azúcares.

**Tabla 7.4.** Cuadrados medios del análisis de varianza para sólidos solubles y azúcares evaluados durante el almacenamiento del fruto de arazá en atmósfera modificada en bolsas de polietileno de baja densidad por 1 o 2 semanas, más 3 días de maduración complementaria a 20°C y 70% H.R (n=6)

Fuente de Variación	GL	SST (%)	Sacarosa (μmol/g)	Glucosa (μmol/g)	Fructosa (μmol/g)
Tiempo almacenamiento(T)	1	2.64**	0.12**	0.95**	1.96**
Maduración complementaria	1	0.32	0.56**	1.50**	0.56**
T x MC	1	0.78*	0.10**	0.02	0.30**
Densidad (D)	1	6.66**	1.32**	3.51**	4.62**
T x D	1	0.01	1.1	0.04*	0.36**
MC x D	1	2.53**	0.005**	0.04*	0.20**
T x MC x D	1	0.60	0.56**	0.03	0.64**
Atmósfera (ATM)	3	1.14**	2.86**	3.71**	6.80**
ATM vs Control	1	3.30**	3.15**	7.3	5.4**
T x ATM	3	0.46*	0.12**	0.06**	0.44**
MC x ATM	3	0.83**	0.32**	1.38**	0.81**
T x MC x ATM	3	0.68**	0.49**	0.47**	0.29**
D x ATM	3	2.25**	0.48**	0.58**	0.72**
T x D x ATM	3	0.82**	0.96**	0.21**	0.48**
MC x D x ATM	3	1.73**	0.23**	0.45**	0.59**
T x MC x D x ATM	3	1.19**	0.03**	0.17**	0.17**
Error	96	0.2	0.003	0.01	0.003

\* Probabilidad: \* y \*\* significativos a  $P = 0.05$  y  $0.01$  respectivamente.

<sup>†</sup> Los grados de libertad para el error de azúcares s 32 (n=2).

### Sólidos Solubles Totales

El aumento de sólidos solubles de frutos de arazá almacenado bajo condiciones de atmósferas modificadas presentó diferencias entre tratamientos. Los frutos almacenados en

bolsas macroperforadas LDPE-2 mostraron el mayor aumento en el contenido de sólidos solubles totales (SST) durante el almacenamiento y en el período de maduración complementaria (tabla 7.3) con un valor de 5.5%, mientras que los frutos empacados en bolsas de polietileno LDPE-3, tanto en atmósfera modificada activamente como macroperforada, presentaron los niveles más bajos de SST después del almacenamiento y tras la maduración complementaria.

Los frutos que estuvieron almacenados en bolsas LDPE-2, tanto con atmósfera S.I. como macroperforada, alcanzaron en promedio mayores niveles de SST.

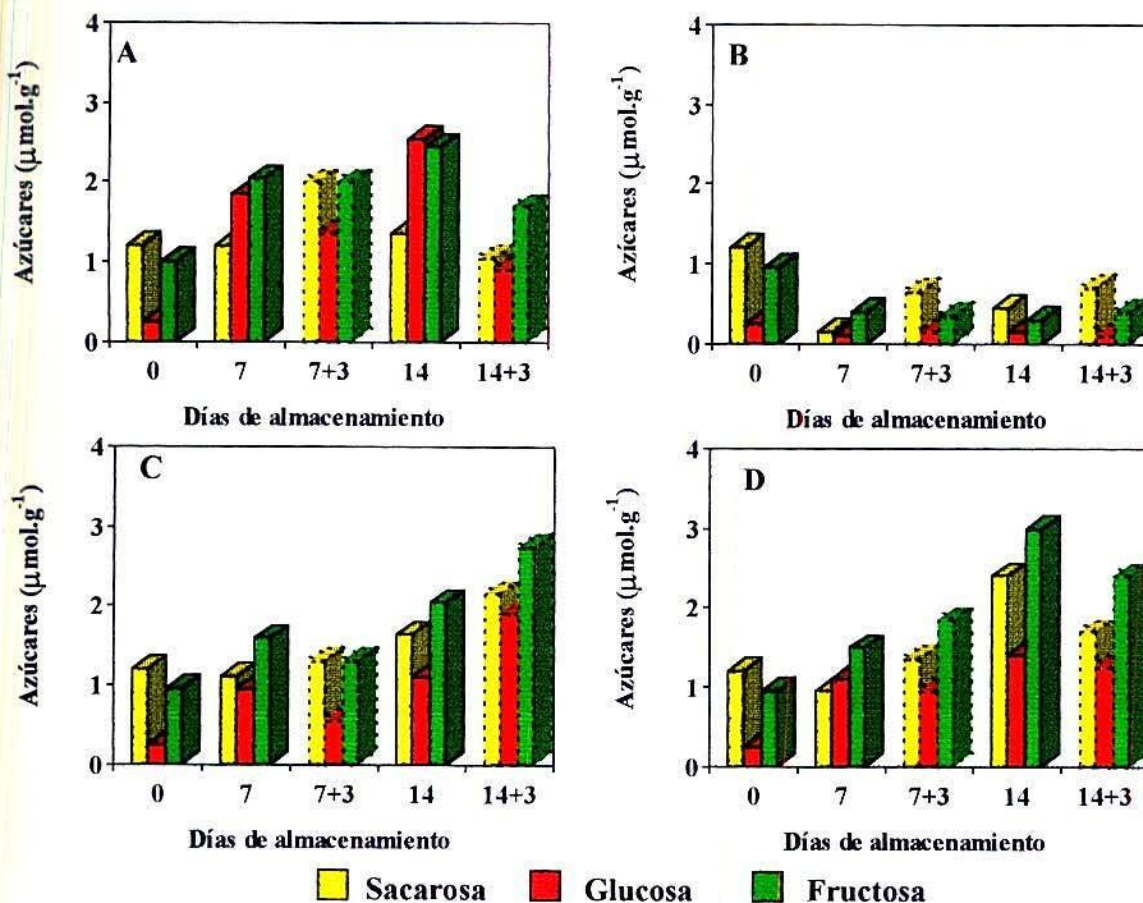
En los frutos en empaques LDPE-3 los contenidos de sólidos solubles totales fueron siempre menores, independientemente de la composición de la atmósfera de almacenamiento, a excepción de los frutos con AM activa de 5% CO<sub>2</sub> y de 5% O<sub>2</sub>, en los cuales los contenidos de SST fueron similares a los encontrados en los frutos empacados en LDPE-2 al final del almacenamiento.

Este comportamiento podría ser explicado por una menor actividad respiratoria en los frutos empacados en LDPE-3, lo que lleva a una degradación más lenta de sustancias de reserva y, en consecuencia, retraso de la senescencia. En los empaques de polietileno LDPE-3 se registraron niveles de O<sub>2</sub> menores que en el empaque LDPE-2 12 y 21% respectivamente (figura 7.1), lo cual conlleva a una menor actividad respiratoria del fruto y una menor acumulación de sólidos solubles.

### **Sacarosa**

El contenido de sacarosa aumentó en los frutos almacenados en atmósfera modificada S.I. y macroperforada empacados en LDPE-2 (figura 7.7), mientras que se mantuvo en los frutos almacenados en atmósfera modificada activamente con 5% CO<sub>2</sub> y con 5% O<sub>2</sub>. A su vez, los frutos empacados en condiciones de modificación activa del 5% CO<sub>2</sub> y del 8% CO<sub>2</sub> en este mismo polietileno mostraron los niveles más bajos < 1 μmol·g<sup>-1</sup>.

En el caso de los frutos empacados en LDPE-3 (figura 7.8) la sacarosa mantuvo niveles muy semejantes durante el tiempo de almacenamiento en todas las atmósferas estudiadas. Este comportamiento coincide con el de los SST, los cuales permanecen estables durante el almacenamiento.



**Figura 7.7.** Efecto del almacenamiento de frutos de arazá en atmósfera modificada (A) Activa 5%CO<sub>2</sub>; 5%O<sub>2</sub>, (B) Activa 5%CO<sub>2</sub>; 8%O<sub>2</sub> (C) S.I y (D) MPF en LDPE-2 en el contenido de sacarosa, glucosa y fructosa. La línea punteada corresponde a los períodos de maduración complementaria (MC).

La sacarosa no se acumuló en los tratamientos con menores niveles de oxígeno, como consecuencia de la modificación inicial del oxígeno disponible. Al comparar el contenido de sacarosa entre los frutos empacados en LDPE-2 y LDPE-3 se puede asegurar que la acumulación de sacarosa fue siempre menor en este último tipo de empaque, cuya permeabilidad al oxígeno es menor ( $2330 \text{ cm}^3 \cdot \text{O}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-4}$ ).

Dicho comportamiento podría estar asociado a una menor actividad respiratoria y menor actividad de la invertasa ácida, cuya consecuencia directa es la disminución de hidrólisis de la sacarosa. Comportamiento similar fue encontrado por Mohamed et al (1996) en sus estudios sobre sapodilla (*Acras sapota*).

### **Glucosa**

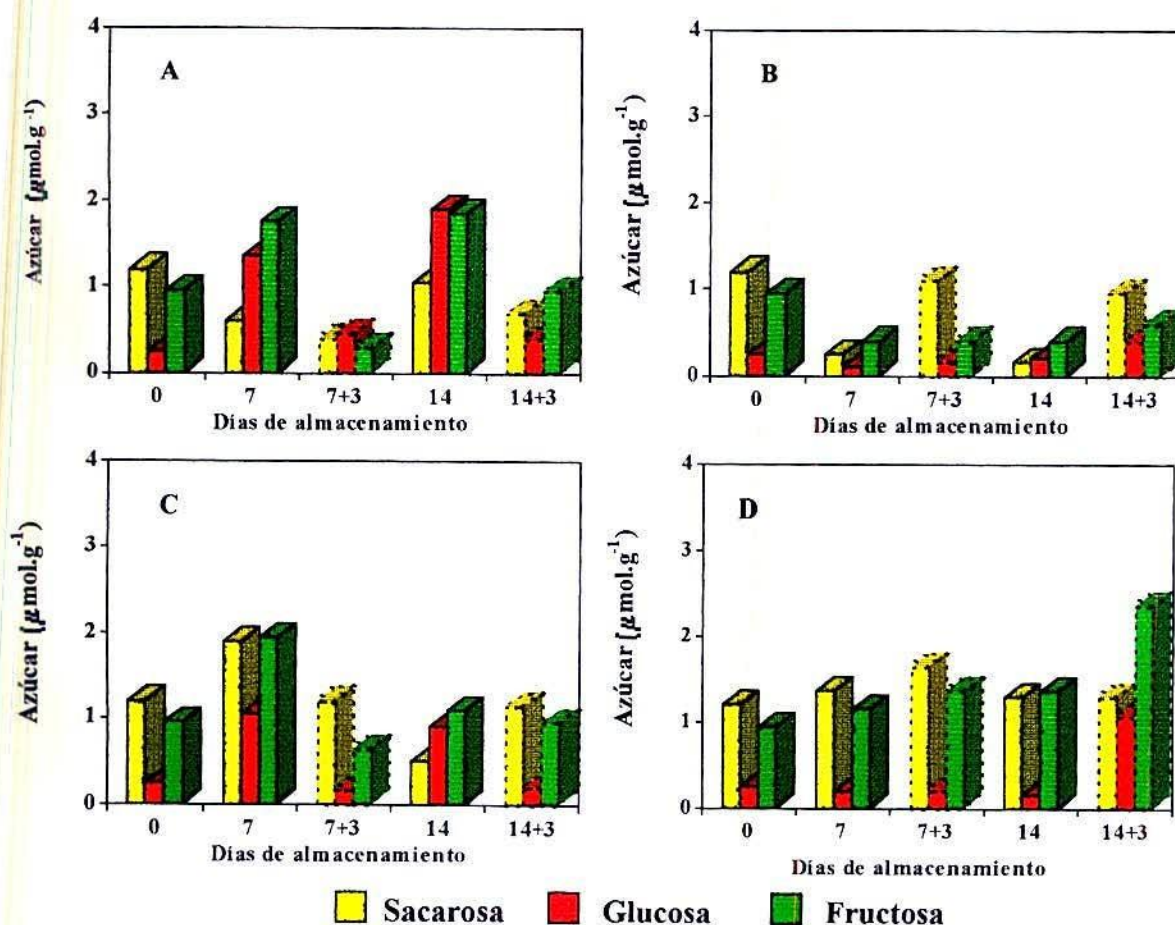
El contenido de azúcares reductores en arazá fue más baja que en otras especies de la familia *Myrtaceae* como la guayaba (Ali y Lazan, 1997).

El comportamiento del contenido de glucosa coincide con el de la sacarosa y la de los SST en el empaque LDPE-2 (figuras 7.7 y 7.8), con excepción de la atmósfera de 5% CO<sub>2</sub>;8% O<sub>2</sub>. Este comportamiento es consistente con la hipótesis de una mayor actividad respiratoria en los frutos en LDPE-2, en respuesta a una mayor concentración de O<sub>2</sub> al interior de la bolsa (figura 7.1), lo cual conlleva a una mayor respiración de sustancias de reserva.

Los contenidos de glucosa variaron de manera significativa durante el tiempo de almacenamiento, acumulándose entre la primera y la segunda semana del ensayo; solo los frutos almacenados en atmósfera modificada con 5%CO<sub>2</sub> y 8%O<sub>2</sub> no acumularon glucosa, ni fructosa, mientras que el contenido de sacarosa se mantuvo constante inclusive en el período de maduración complementaria, independientemente del grosor del polietileno de empaque. El comportamiento de los frutos empacados en esta atmósfera indica que el proceso de maduración no continuó y que los frutos no alcanzaron las características de

consumo.

El contenido de glucosa disminuyó de manera significativa en la maduración complementaria de todos los tratamientos. Solo en frutos en bolsas macroperforadas LDPE-3, aumentó el contenido de este azúcar de manera significativa para este periodo. La disminución del contenido de glucosa en la maduración complementaria puede explicarse como resultado del aumento de la respiración como consecuencia del aumento de temperatura.



**Figura 7.8.** Efecto del almacenamiento de frutos de arazá en atmósfera modificada (A) Activa 5%CO<sub>2</sub>;5%O<sub>2</sub>, (B) Activa 5%CO<sub>2</sub>; 8%O<sub>2</sub> (C) S.I y (D) MPF en LDPE-3 en el contenido de sacarosa, glucosa y fructosa. La línea punteada corresponde a los periodos de maduración complementaria (MC).

## **Fructosa**

Las concentraciones de fructosa más altas se encontraron en atmósferas tanto S.I.s como activas generadas en polietilenos LDPE-2 con niveles superiores a  $2 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ , con excepción de la atmósfera 5%  $\text{CO}_2$ ; 8%  $\text{O}_2$ . Por el contrario, en el LDPE-3, las concentraciones de fructosa fueron significativamente menores, tal como sucedió con la sacarosa y la glucosa (tabla 7.4, figura 7.7).

Al igual que con la glucosa, la fructosa se acumuló durante el almacenamiento en todos los tratamientos, sin importar el tipo de atmósfera o de polietileno, para luego disminuir durante el período de maduración complementaria, con excepción de los frutos en bolsas macroporosa LDPE-3 y en AM S.I. en LDPE-2, en donde los niveles aumentaron o se mantuvieron constantes.

Los contenidos de fructosa durante el almacenamiento en atmósfera modificada fueron superiores a los de glucosa lo cual coincide con los resultados obtenidos en frutos de arazá madurados a  $20^\circ\text{C}$  (Capítulo 4).

La acumulación de fructosa en algunos tratamientos en los que hay aumento de  $\text{CO}_2$  y disminución de  $\text{O}_2$  puede estar relacionada con la disminución de la actividad de algunas enzimas de la ruta de la glicólisis como la fosfofructokinasa (PFK) (Mathooko, 1996).

## **Calidad del fruto**

El análisis de varianza (tablas 7.5 Y 7.6) para las variables color pérdida de peso, marchitamiento, antracnosis y pudriciones mostró que las interacciones de tercer y cuarto grado fueron altamente significativas para los factores, tiempo de almacenamiento, densidad de la bolsa, atmósfera de almacenamiento y madurez complementaria MC.

## Color

El cambio de color de frutos de arazá almacenados en atmósfera modificada se retraso en todos los tratamientos, comparado con lo sucedido en frutos almacenados en bolsas macroperforadas con 21% de O<sub>2</sub> (tabla 7.5).

Por su parte, al compararse la evolución del color entre los frutos embolsados en LDPE-2 y los embolsados en LDPE-3 se encontraron diferencias altamente significativas (tabla 7.5).

**Tabla 7.5.** Cuadrados medios del análisis de varianza para color, pérdida de peso, porcentaje de marchitamiento, incidencia de antracnosis y pudriciones del fruto de arazá almacenado en atmósfera modificada.

Fuente de Variación	G.L	Color	Pérdida de peso <sup>w</sup>	Marchitamiento	Antracnosis	Pudrición
Maduración compl (MC)	1	103**	239**	527.34**	962.66**	319.01**
Densidad (D)	1	0.78**	0.46	10.01**	12 n.s.	645.84**
MC x D	1	0.94**	4.61**	0.84 n.s.	2.66 n.s.	15.84**
Atmósfera (ATM)	3	12.1**	12.57**	125.20**	189.81**	322.17**
MC x ATM	3	1.27**	8.18**	39.28**	37.38**	36.59**
D x ATM	3	1.14**	6.38**	4.34**	356.26**	44.98**
MC x D x ATM	3	0.65**	4.73**	13.17**	90.94**	17.59**
Error A			0.42			
Tiempo de almacen. (T)	1	32**	1.38	133.01**	1190.04**	595.01**
T x MC	1	0.07	4.61**	55.51**	104.16**	8.76*
T x D	1	1.12**	10.86**	6.51**	35.04**	46.76**
T x ATM	3	2.11**	5.18**	4.62**	65.37**	49.26**
T x MC x D	1	2.25**	2.39	0.09 n.s.	8.2 n.s.	1.8 n.s.
ATM vs Control	1	26**	18.54**	2.53**	105.12**	394.3**
T x MC x ATM	1	0.19	3.91**	21.45**	18.11**	23.06**
T x D x ATM	3	0.63**	4.47**	11.84**	85.81**	13.84**
T x MC x D x ATM	3	1.25**	3.12**	9.64**	4.77	11.01**
Error		0.1	0.6	0.33	3.8	1.82

Probabilidad: n.s. no significativo. \* y \*\* significativos al  $P = 0.05$  y  $0.01$  respectivamente.

<sup>w</sup>. El análisis estadístico para esta variable fue Parcelas divididas en el tiempo.

El mayor cambio de color se dio en frutos empacados en bolsa macroperforada en LDPE-2 mientras que el menor cambio se dio en los frutos en AM activa con inyección de 5%CO<sub>2</sub> y 8%O<sub>2</sub>, en ambos tipos de empaque. La tendencia en el cambio de color se encuentra directamente relacionada con la permeabilidad de la película al O<sub>2</sub>, esto es, a mayor

disponibilidad de  $O_2$  el producto presenta una tasa metabólica más alta lo que lleva a un cambio de color más rápido (Wills et al., 1998).

Los frutos de arazá en empaque LDPE-3 presentaron interrupción de la maduración; dicho comportamiento puede atribuirse al hecho de que al ser más impermeable al paso de  $CO_2$  y  $O_2$ , el  $CO_2$  se acumuló en el interior de las bolsas a niveles superiores a los tolerados por el fruto de arazá; casos similares se han encontrado en frutos tropicales como papaya y banano, en donde los niveles tóxicos de  $CO_2$  se encuentran alrededor de 7% (Kader, 1993). Por el contrario, Yahia (1998) sugiere que para guayaba las atmósferas de almacenamiento pueden alcanzar el 10% de  $CO_2$  sin que haya deterioro de la actividad de las enzimas responsables del cambio de color en este fruto (foto 7.5-7.6).

Los contrastes ortogonales mostraron que la evolución del color fue significativamente menor en los tratamientos de AM al compararlos con el control 21% de  $O_2$ . Dentro de los principales efectos del  $CO_2$  está la inhibición de las clorofilasas, lo cual se traduce en la interrupción del cambio de color en el producto almacenado por falta de degradación de la clorofila (Watkins y Fernández Trujillo, 1999).

El efecto negativo del  $CO_2$  en los frutos almacenados se evidenció en la interrupción de la maduración, a través de la inactivación de enzimas responsables de la degradación de clorofila y síntesis de pigmentos carotenoides (Watkins y Fernández-Trujillo, 1999).

### **Pérdida de peso**

La pérdida de peso en frutos de arazá esta relacionada con la alta tasa respiratoria (Capítulo 4), así como con la pérdida de agua por transpiración. La pérdida de peso en frutos almacenados en condiciones de atmósfera modificada (5%) fue menor que la encontrada en frutos a libre exposición (15-20%).

La reducción en la pérdida de peso en los frutos de arazá en atmósfera modificada fue del

50%, en todos los tratamientos, al compararlos con frutos mantenidos a granel, independientemente del tiempo de almacenamiento, la atmósfera y la densidad del polietileno (tablas 7.5 y 7.6). Las mayores pérdidas las presentaron los frutos en LDPE-3 AM S.I. y MPF; este comportamiento coincide con lo encontrado para otros frutos tropicales como el ciku o sapodilla (*Achras sapota* L.) en AM, en el cual el aumento de espesor de la película no evitó la pérdida de peso (Mohamed et al., 1996). Se podría suponer que la mayor pérdida de peso al final del período de maduración complementaria en frutos en polietileno LDPE-3 S.I. y macroperforada fue el resultado de la mayor acumulación de CO<sub>2</sub> en estos empaques, cercano al 6%, lo cual generó estrés en los frutos y en consecuencia desórdenes fisiológicos como mayor actividad respiratoria lo que se reflejó en la respuesta de los ácidos orgánicos para los mismos tratamientos.

En la AM activa con 5% y 8% de O<sub>2</sub> la pérdida de peso fue menor cuando los frutos fueron almacenados en LDPE-3. La disminución de pérdida de peso en estos tratamientos pudo estar relacionada con la baja concentración de O<sub>2</sub> en el interior de la bolsa y consecuentemente con una menor actividad respiratoria.

### **Marchitamiento**

El marchitamiento es un desorden frecuente en frutos de arazá y se halla directamente relacionado con la pérdida de peso. Cuando las pérdidas de peso superan el 10% del peso inicial, el fruto pierde la apariencia fresca y se presenta deshidratación del pericarpio, el cual muestra irregularidades en su superficie muy semejantes a arrugas. El marchitamiento disminuyó significativamente en la interacción tiempo, atmósfera, densidad de la película y maduración complementaria (MC) (tabla 7.6). La reducción en el marchitamiento fue del 50% como mínimo en todos los frutos en AM, sin considerar la atmósfera ni la densidad del polietileno.

**Tabla 7.6.** Variables de calidad de frutos de arazá almacenados en AM. por 1 o 2 semanas y un período de MC de 3 d a 20°C.

Tiempo	Tratamiento			Pérdida de peso	Marchitamiento	Antracnosis	Pudrición
	MC	D	ATM				
0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	2	5	1.2	0	0	0
7	0	2	8	0.9	0	0	10
7	0	2	S.I.	1.2	0	3	3
7	0	2	MPF	0.7	0	0	0
7	1	2	5	3.1	5	3	5
7	1	2	8	4.5	15	19	11
7	1	2	S.I.	5.1	1	8	5
7	1	2	MPF	3.3	3	6	2
14	0	2	5	0.6	0	4	6
14	0	2	8	0.8	6	19	11
14	0	2	S.I.	0.5	2	5	5
14	0	2	MPF	1.5	5	4	3
14	1	2	5	1.7	5	7	8
14	1	2	8	2.3	10	32	22
14	1	2	S.I.	3.2	5	11	6
14	1	2	MPF	3.1	5	4	3
7	0	3	5	0.4	0	0	0
7	0	3	8	0.4	0	0	10
7	0	3	S.I.	0.5	0	0	10
7	0	3	MPF	0.5	0	0	6
7	1	3	5	2.8	5	10	11
7	1	3	8	3.5	10	7	12
7	1	3	S.I.	2.6	4	8	10
7	1	3	MPF	5.7	7	10	7
14	0	3	5	0.7	5	10	13
14	0	3	8	0.6	7	10	15
14	0	3	S.I.	0.8	1	10	10
14	0	3	MPF	1.5	5	13	10
14	1	3	5	1.4	5	20	22
14	1	3	8	1.5	13	11	21
14	1	3	S.I.	6.4	6	12	15
14	1	3	MPF	6.4	7	13	12
<b>DMS Tukey 5%</b>				2	1.7	ns	4
n.s.no significativos, S.I: sin inyección, MPF: Macroperforada							

El menor marchitamiento se produjo en los frutos en AM activa con inyección inicial de

5% CO<sub>2</sub> y 5% O<sub>2</sub>. Para el caso del LDPE-2 este fue de 1.7%, mientras que para el LDPE-3 fue de 1.3%, al final del período de comercialización a 20°C. Esta tendencia coincide con la registrada para pérdida de peso, en respuesta a la disminución de la actividad respiratoria del fruto.

### **Antracnosis (*Gloeosporium* sp.)**

La antracnosis, generada por el ataque de *Gloeosporium* sp., es una alteración frecuente durante el almacenamiento del fruto de arazá. La menor incidencia de la antracnosis (5 y 7%) se registró en los tratamientos de AM Activa y MPF empacada en LDPE-2, respectivamente. En los demás tratamientos el daño no superó el 15%, tras 14 días de almacenamiento y 3 días de maduración complementaria, mientras que en frutos mantenidos a libre exposición el ataque superó el 30%, para el mismo período. Niveles similares de incidencia se encontró en el ensayo de almacenamiento en condiciones de refrigeración (Capítulo 4). Comportamientos similares fueron encontrados por Fernández-Trujillo et al. (1997) en estudios sobre la calidad de melocotón empacado en atmósfera modificada.

Al comparar la incidencia del patógeno se encontró que siempre fue mayor en las bolsas de LDPE-3, independientemente del tipo de atmósfera de almacenamiento. Esta respuesta puede estar asociada con la menor velocidad de transmisión de vapor de agua en este tipo de polietileno 3.40 g/m<sup>2</sup>/día, a diferencia de 4.25 g/m<sup>2</sup>/día en el LDPE-2 (Mejía y Moreno, 1999), lo cual lleva a la acumulación de agua en el interior del empaque, ya que para estos ensayos no se utilizó ningún tipo de secuestrante de humedad. Adicionalmente, los niveles de CO<sub>2</sub> (figura 7.1) no fueron lo suficientemente elevados para reducir la antracnosis, ya que habitualmente se requieren niveles por encima del 10% CO<sub>2</sub> (Prusky et al., 1991)

## **Pudriciones**

Durante el almacenamiento del fruto se encontraron algunas lesiones que se atribuyeron a ataque de levaduras y *Curvularia* spp. De manera similar que en el ataque de *Gloesporium* sp., la mayor incidencia siempre se registró en los frutos empacados en LDPE-3, con relación a los frutos empacados en bolsas LDPE-2. Se puede suponer que la mayor humedad en el interior de las bolsas de mayor calibre, fue debido a la menor velocidad de transmisión de vapor de agua de la película lo que constituyó un medio muy apropiado para el desarrollo de estos patógenos (tabla 7.6). Estaría por identificarse la posibilidad de que las atmósferas enriquecidas con CO<sub>2</sub>, por debajo del 30% pudieran ejercer un efecto antimicótico en el fruto de arazá. Yahia recomienda mínimo 10% de CO<sub>2</sub> para obtener disminución de patógenos en guayaba, mientras que El-Gorani y Sommer (1981) recomiendan concentraciones de hasta 30% de CO<sub>2</sub>, en la atmósfera de almacenamiento de aguacate para obtener beneficios antimicóticos.

## **CONCLUSIONES**

Los frutos de arazá empacados en atmósfera modificada tuvieron una prolongación de la vida de poscosecha. El tratamiento contribuyó a desacelerar el proceso de maduración, el cambio de color, la disminución de firmeza. La concentración de azúcares y ácidos se mantuvo en los frutos tratados con atmósfera modificada. Sin embargo, los primeros resultados indican que el fruto de arazá resulta sensible a concentraciones de CO<sub>2</sub> iguales o superiores al 6%, lo cual lo coloca muy próximo al melocotón y obliga a que la película seleccionada para el empaque del producto posea buenas características de permeabilidad, sobre todo al CO<sub>2</sub>.

El almacenamiento en condiciones de atmósfera modificada constituye una alternativa muy promisoría en la conservación del fruto fresco de arazá. Las pérdidas en peso y las pudriciones se redujeron en más del 50% cuando éstos fueron almacenados en bolsas de polietileno y sin modificación activa de la atmósfera inicial. El color y la textura de los

frutos se mantuvieron por más tiempo, y los ácidos orgánicos y los azúcares mantuvieron niveles mayores, retrasando la senescencia de los frutos.

El daño por frío, expresado como la alteración de la epidermis del fruto, no se produjo en los frutos en AM y almacenados a 10°C, por lo que se pudo concluir que el tratamiento alivia los daños encontrados en el Capítulo 4, de alteraciones del epicarpio. Manifestaciones del daño por frío en el fruto de arazá, tales como un aumento de la acidez total y una disminución de azúcares totales y reductores en el mesocarpio tampoco tuvieron lugar en los frutos empacados en atmósfera modificada.

Los resultados obtenidos permiten inferir que una combinación adecuada de gases a una temperatura menor a la temperatura crítica de almacenamiento prolonga la vida de poscosecha del fruto de arazá.

#### LITERATURA CITADA

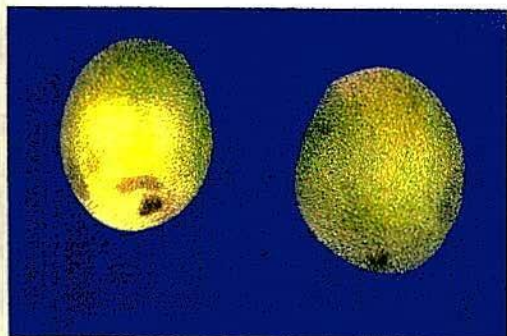
- Ali Z.M. y H. Lazan. 1997. Guava. En: S.K. Mitra (Ed.). Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits. CABI Publishing. p. 145-165.
- AOAC 1995. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, ed. P.A. Cunniff, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Arévalo, M. de L., C. Saucedo, J. Larrija. 1994. Efecto del uso de películas plásticas y el preacondicionamiento en la calidad de frutos de toronja (*Citrus paradisi* Macf.). Proceedings. Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical 38: 72-74.
- Arjona, H.E., F.B. Matta y J.O. Garner Jr. 1994. Wrapping in polyvinyl chloride film slows quality loss of yellow passion fruit. HortScience 29 (4): 295-296.
- Arkcoll D. 1991. New crops from Brazil. In: J. Janick and J.E. Simons (eds.). Proc. Nat. Symp. New Crops - Exploration research and commercialization -. Indianapolis, Indiana. John Wiley & Sons NY. p. 367-371.
- Ben-Yehoshua, S.; V. Rodov; S. Fishman y J. Peretz. 1997. Recent Developments in modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: Reducing condensation of water in bell peppers and mangoes. En: Ben-Yehoshua, S. CIPA Proceedings. International Congress for Plastics in Agriculture. p. 495-504.
- D'Aquino, S.; A. Piga; A. Petretto y M. Agabbio. 1997. Respiration rate and in-package gas evolution of "Okitsu" Satsuma fruits held in shelf-life condition. En: Ben-Yehoshua, S. CIPA Proceedings. International Congress for Plastics in Agriculture. p. 627-632.
- Fernández-Trujillo, J.P.; M.C. Salmerón y F. Artés. 1997. Effect of intermittent warming

- and modified atmosphere packaging on fungal growth in peaches. *Plant Diseases* 81: 880-884.
- Fernández-Trujillo, J.P.; J.A. Martínez y F. Artés. 1998. Modified atmosphere packaging affects the incidence of cold storage disorders and keeps flat peach quality. *Food Research International* 31: 571-579.
- Fernández-Trujillo, J.P.; J.F. Nock y C.B. Watkins. 1999. Fermentative metabolism and organic acid concentrations of strawberry fruit cultivars with different tolerances to carbon dioxide. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 124: 696-701.
- Forney, C.F. y W.J. Lipton. 1990. Influence of controlled atmospheres and packaging on chilling sensitivity. In: C.Y. Wang (Editor), *Chilling injury of horticultural crops* CRC Press, Boca Ratón FL. p. 257-267.
- Galvis, J.A. y M.S. Hernández. 1993. Comportamiento fisiológico del arazá (*Eugenia stipitata*) bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. *Colombia Amazónica* 6: 123-134.
- Geeson, J.D. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Acta Horticulturae* 258: 143-150
- González, G. E. M. Yahia, M. Hasa. 1991. Empaque de mango en atmósferas modificadas y predicción de la atmósfera dentro del empaque utilizando modelos matemáticos. *Revista Ciencia Alimentaria*. (México) 1(3): 1-5.
- Holcroft, D.M., A.A. Kader. 1999. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology* 17:19-32.
- IDEAM, 2000. Reportes meteorológicos de las estaciones del aeropuerto de la ciudad de Florencia, Caquetá. Últimos diez años. (Ined)
- Kader, A.A. y L.L. Morris. 1977. Relative tolerance of fruit and vegetables to elevated CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> levels. En: D.H. Dewey (eds.). *Controlled atmospheres for storage and transport of horticultural crops*. Michigan State University. p. 260-265.
- Kader A.A.; D. Zagory y E.L. Kerbel. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews of Food Science Nutrition*. vol. 28: 1-30.
- Kader, A.A. 1993. Modified and controlled atmosphere storage of tropical fruits. En: Champ, Highley and Johnson (Eds). *Postharvest handling of tropical fruits*. Department of agriculture of Thailand Asean Food Handling Bureau. p 239-249.
- Kader, A.A. 1995. Regulation of fruit physiology by controlled /modified atmospheres. *Acta Horticulturae* 398: 59-70.
- Ke, I., M. Mateos. J. Siriphanich, C. Li y A. Kader. 1993. Carbon dioxide action on metabolism of organic acids and aminoacids in crisphead lettuce. *Postharvest Biology and Technology*. 3: 235-247.
- Knee, M., y S.G.S. Hadfield. 1981. The metabolism of alcohols by apple fruit tissue. *Journal Science Food Agriculture* 32: 593-600.
- Larsen, M. y C.B. Watkins. 1995. Firmness and concentration of acetaldehyde, ethylacetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. *Postharvest Biology and Technology* 5: 39-50.
- Lee, L. J. Arul, R. Lencki, F. Castaigne. 1996. A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: Physiological basis an

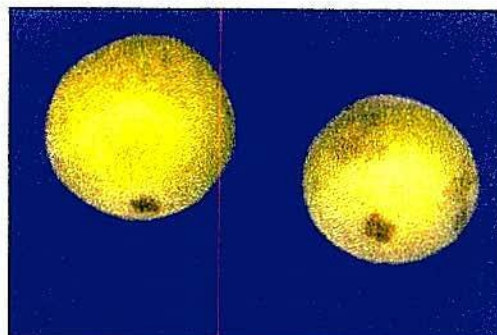
- practical aspects. *Packaging technology and science* 9: 1-17.
- Lee, A.A Kader 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20: 207-220.
- Mathooko, F. M. 1996. Regulation of respiratory metabolism in fruit and vegetables by carbon dioxide. *Postharvest Biology and Technology* 9: 247-264.
- Mc Glasson, W.B. y R.B.H. Wills. 1972. Effects of oxygen and carbon dioxide on respiration storage life and organic acids of green bananas. *Australian Journal of Biological Science* 25: 35-42.
- Mejía, A. y N. Moreno. 1999. Influencia de la temperatura y la atmósfera modificada, generada dentro de empaques plásticos en el tiempo de conservación de mango fresco (*Manguifera indica* L.) variedad llamarada. p 39. (Inéd)
- Mercado-Silva, E. P. Benito-Bautista, M.A. Garcia-Velasco. 1998. Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central Mexico. *Postharvest Biology and Technology* 13: 143-150.
- Mohamed, S.; B. Taufik y M.N.A. Karim. 1996. Effects of Modified Packaging on the Physicochemical Characteristics of Ciku (*Achras sapota* L.) at Various Storage Temperatures. *Journal of Science Food and Agriculture* (70): 231-240.
- Prusky, D., Plumbley, R.A. e I. Kobilier. 1991. Modulation of natural resistance of avocado fruits to *Colletotrichum gloeosporioides* by CO<sub>2</sub> treatment. *Physiology and Molecular Plant Pathology* 39: 325-334.
- Silva, C.T.C. y J.S. Andrade. 1997. Postharvest modifications in camu-camu fruit (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh) in response to stage of maturation and modified atmosphere. *Acta Horticulturae* 452: 23-26.
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie. 1985. Análisis de Varianaza IV: Parcelas divididas Bioestadística, Principios y Procedimientos, segunda edición (primera en Español). Mc Graw-Hill. p. 368-386.
- Wang, CY. 1990. Physiological and biochemical effects of controlled atmospheres on fruit and vegetables. In: Calderon, M. y R. Barkai-Golan (Eds) *Food preservation by modified atmospheres*. C.R.C. Press. Boca Ratón, FL. p. 197-223.
- Wang, C.Y y L.Qi. 1997. Modified atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumbers. *Postharvest Biology and Technology* 10: 195-200.
- Wankier, B.N., D.K. Salunkhe y WF. Campbell. 1970. Effect of controlled atmosphere storage on biochemical changes in apricot and peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 95: 604-609.
- Watkins, C.B. y J Zhang. 1998. Metabolic responses of fruit to carbon dioxide. *Acta Horticulturae* 464: 345-350.
- Watkins, C.B. y J.P. Fernández-Trujillo. 1999. Metabolic Responses of Horticultural Products to Carbon Dioxide and Oxygen. En: *Storage and Distribution of Agricultural Commodities and Their Engineering Approach*. Yeungnam University Taegu, Korea. p 59-77.
- Weichman, J. 1986. The effect of controlled atmosphere storage on the sensory and nutritional quality of fruits and vegetables. *Horticultural Review* 8: 101-127.
- Wills, R.; B. Mc Glasson; D. Graham y D. Joyce. 1998. *Postharvest: An Introduction to the Physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. CABI publishing. p. 97-112.

- Yahia, E. M. 1998. Modified and Controlled Atmospheres for Tropical Fruits. Horticultural Reviews 22: 123-183.
- Yahia, E.M.y G. González-Aguilar. 1998. Use of passive and semi-active atmospheres to prolong the postharvest life of avocado fruit. Lebensm.-Wiss u Technol 31: 602-606.
- Yahia, E.M. y M. Rivera-Dominguez. 1992. Modified atmosphere packaging of muskmelon. Lebensm. Wiss. u Technol. 25: 38-42.
- Yang, Y.; H. Maruyama y T. Fukushima. 1998. Activation of glioxilate cycle enzymes in cucumber fruits exposed to CO<sub>2</sub>. Plant Cell Physiology 39: 533-539.

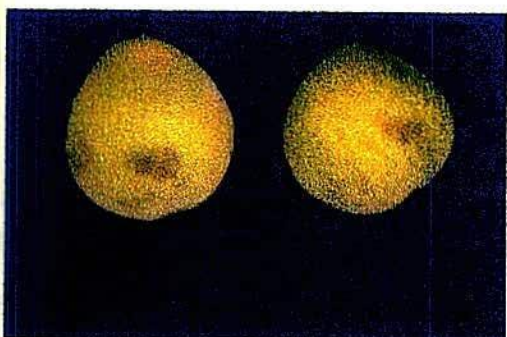
## FOTOS DEL ALMACENAMIENTO DEL FRUTO DE ARAZA EN ATMOSFERA MODIFICADA



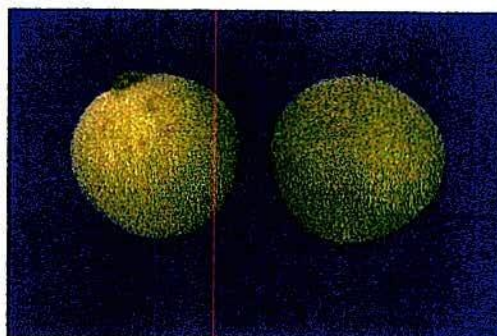
**Foto 7.1.** Frutos de Araza almacenados en polietileno LDPE-3 con modificación activa de atmósfera 5%O<sub>2</sub>;5CO<sub>2</sub> después de 2 semanas de almacenamiento y 3 días de maduración complementaria a 20°C



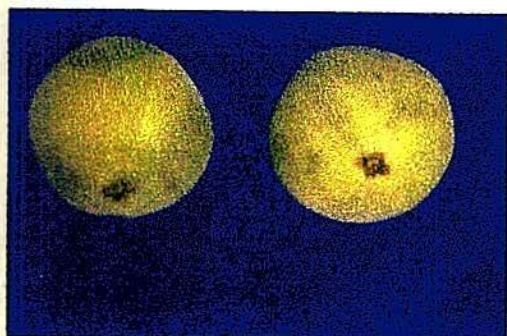
**Foto 7.2.** Frutos de Araza almacenados en polietileno LDPE-2 con modificación activa de atmósfera 5%O<sub>2</sub>;5CO<sub>2</sub> después de 2 semanas de almacenamiento+3 días de maduración complementaria a 20°C



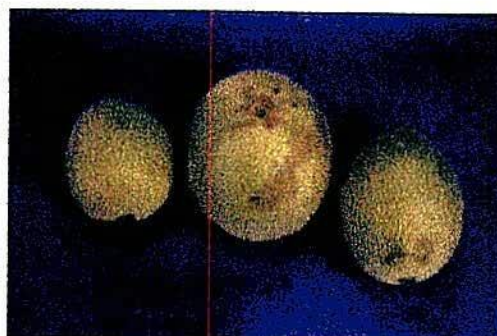
**Foto 7.3.** Frutos de araza empacados en polietileno LDPE 2 macroperforado(MPF) al final del almacenamiento y tras 3 días de maduración complementaria a 20°C



**Foto 7.4.** Frutos de arazá empacados en polietileno LDPE-3 y atmósfera pasiva después de 2 semanas de almacenamiento y 3 días de maduración complementaria a 20°C



**Foto 7.5.** Frutos de arazá empacados en polietileno LDPE-2 y modificación activa de 5%CO<sub>2</sub>;8%O<sub>2</sub> al final de 2 semanas de almacenamiento y 3 días de maduración



**Foto 7.6.** Frutos de arazá empacados en polietileno LDPE-3 y modificación activa de la atmósfera 5%CO<sub>2</sub>;5%O<sub>2</sub> al final de 2 semanas de almacenamiento y 3 días de maduración complementaria a 20°C.

El fruto de arazá alcanza su madurez de recolección  $55 \pm 5$  días después de la antesis. Los frutos presentan un patrón de crecimiento de tipo sigmoide simple en el cual se distinguen 3 etapas: la primera que va hasta los 21 días o preparatoria, la segunda desde los 21 hasta los 42 días de máximo crecimiento y una tercera etapa hasta los 60 días en el cual el crecimiento cesa y tiene lugar la maduración.

Del estudio anatómico del fruto de arazá se deduce la falta de tejido de sostén que contribuye en gran medida al ablandamiento durante la maduración. Dicha condición unida a una alta actividad respiratoria ( $> 300 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) reducen la conservación del fruto durante la poscosecha.

La presencia de estomas en el fruto de arazá, aún durante la maduración, podría ser determinante en su transpiración. Su distribución, aunque aleatoria, presenta una cierta predominancia en la zona ecuatorial del fruto. Su apertura, un poco mayor en frutos maduros aumenta el riesgo de deshidratación y podría facilitar el desarrollo de infecciones.

Los principales cambios ocurridos durante la maduración en el fruto de arazá incluyen cambio de color de verde mate a amarillo, disminución de ácidos orgánicos y de acidez titulable, ablandamiento y moderado aumento de sólidos solubles porque el fruto de arazá posee un contenido bajo de sacarosa, glucosa y fructosa.

El patrón respiratorio del fruto es de tipo climatérico con un pico de  $1000 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  que se presenta entre los 50 y los 56 días a  $20^\circ\text{C}$ , con patrón que coincide con otras especies de la familia *Myrtaceae*.

Los frutos de arazá podrían ser cosechados en estado verde maduro (color verde mate) y después del quinto día el fruto alcanza cambio de color al amarillo característico. El

aumento de sólidos solubles, actividad respiratoria y el color resultan los índices de recolección más apropiados para el fruto.

Los factores de deterioro más importantes en la conservación del fruto de arazá fueron pérdida de peso, marchitamiento, ablandamiento, daños por frío, pudriciones, disminución del sabor ácido y del contenido de ácido ascórbico

El fruto de arazá, al igual que otros frutos tropicales, presenta sensibilidad temperaturas por debajo de 12°C, con síntomas como incapacidad para madurar, concentración de ácidos orgánicos anormalmente alta y ablandamiento excesivo del mesocarpo, junto con poco desarrollo de aroma y sabor el fruto no madura y se presenta concentración de ácidos orgánicos y ablandamiento del mesocarpo junto con poco desarrollo de aroma y sabor.

Los síntomas de daño por frío en arazá fueron incapacidad para madurar o desarrollo de una maduración anormal, excesiva concentración de ácidos orgánicos, málico y succinico, disminución de ácido ascórbico, anormal aumento de la firmeza de la pulpa (>40 N) o excesivo ablandamiento (<10 N), escaso desarrollo de sabor y aroma y baja concentración de sacarosa y fructosa.

A 12°C, el fruto puede conservarse por 1 o 2 semanas sin requerir la maduración complementaria a 20°C.

El daño por frío en frutos de arazá almacenados a 7°C aparecen sólo entre la primera y la segunda semana de almacenamiento y se intensifican durante la maduración complementaria a 20°C.

Los frutos almacenados a 10°C, el daño por frío podría ser reversible, principalmente, cuando la pérdida de peso y el marchitamiento del fruto no ha superado un 10%.

Los frutos de arazá tratados con soluciones de cloruro de calcio de 0.36 y 0.72 mol·L<sup>-1</sup> a 15°C o a 4°C mantienen mejor la calidad que los frutos no tratados. Puede existir una interacción concentración-temperatura de la solución que retrasa la maduración y mantiene por más tiempo los contenidos de sacarosa y fructosa y de ácidos málico y succínico.

La concentración de 0.72 mol·L<sup>-1</sup> resultó moderadamente fitotóxica para el fruto de arazá inhibiendo el desarrollo uniforme de la coloración y resultaron un poco insípidos respecto al control.

Se recomienda que se lleve a cabo un enjuague posterior al tratamiento antes que el producto sea transferido a la cámara de almacenamiento, ya que de lo contrario puede aumentar el riesgo de la incidencia de antracnosis.

Un ciclo único de calentamiento de 18 horas a 20°C, tras una semana a 10°C alivia las lesiones, evita los picos de excesiva actividad respiratoria de los frutos de arazá, característicos del almacenamiento a 10°C y permite alcanzar la madurez completa tras 14 días a 10°C más 3 días a 20°C. Los frutos tratados con 6 y 12 horas no maduran normalmente ni tras una maduración complementaria

El calentamiento es técnica adecuada para ser combinada con la refrigeración, inocua para el consumidor que mantiene un mejor contenido en ácidos málico y ascórbico y azúcares con un buen potencial para el fruto de arazá, es totalmente inocuo para el consumidor y además mantiene un mayor contenido en ácido ascórbico y azúcares, aunque aumenta ligeramente el ablandamiento.

El almacenamiento de frutos de arazá en atmósfera modificada con polietileno de baja densidad de calibres 38 y 74 µm contribuyó a mantener los niveles de ácidos orgánicos y azúcares y alivió el daño por frío. En especial, el empaque en LDPE-2 disminuyó la pérdida de firmeza permitiendo la maduración del fruto tras su conservación.

La inyección inicial de 5% CO<sub>2</sub>; 5% O<sub>2</sub> se recomienda para un período de 17 días a 10°C. Para períodos inferiores a 7 días, el polietileno macroperforado ofrece garantía de conservación de la calidad del producto.

Los frutos empacados en AM pasiva y activa de 5% de CO<sub>2</sub> y 5% de O<sub>2</sub> presentaron el mayor contenido de azúcares y las menores pérdidas de peso y marchitamiento tras 2 semanas a 10°C más 3 días a 20°C.

La refrigeración y técnicas complementarias como el calentamiento intermitente y la atmósfera modificada ofrecen una alternativa de conservación en fresco del fruto de arazá para el productor, que no encontraba otra línea de comercialización que la del producto procesado.

Aunque el tiempo de vida útil del producto no es superior a 1.5 semanas refrigerado entre 7 y 12°C y alrededor del doble con técnicas adicionales, este período permite la colonización de mercados fuera de los locales y es la base para la consolidación de la comercialización a mayor escala del fruto de arazá.