



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE  
MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

APLICACIÓN DE RESVERATROL Y 6-BENCILAMINOPURINA PARA  
INCREMENTAR VIDA POSCOSECHA EN CHIRIMOYA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

AARAN AQUILINO MORALES PÉREZ

COMITÉ DE TUTORES

DR. OMAR FRANCO MORA. Tutor Académico.

DR. EDGAR JESÚS MORALES ROSALES. Tutor Adjunto.

DR. ALVARO VILDÓZOLA CASTAÑEDA. Tutor Adjunto.

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Junio 2015.

## Resumen

### **APLICACIÓN DE RESVERATROL Y 6-BENCILAMINOPURINA PARA INCREMENTAR VIDA POSCOSECHA EN CHIRIMOYA**

Aaran Aquilino Morales Pérez. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México.

Comité de Tutores: Ph D. Omar Franco Mora; Tutor Académico; Dr. Edgar Jesús Morales Rosales; Tutor Adjunto y Dr. Alvaro Castañeda Vildózola; Tutor Adjunto.

Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Universitario “El Cerrillo”, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. C.P. 50200. Tel (722) 2965529. E-mail: ofranco@uamex.mx

Una vez cosechada, la chirimoya madura para su consumo en 3 a 7 d; siendo una fruta climatérica, su vida poscosecha se acorta. El fruto se ablanda, y su cáscara se broncea, se daña con el manejo poscosecha y transportación. El resveratrol (RVS) y la 6-bencilamainopurina (BAP), polifenol y citoquinina respectivamente, han mostrado ser eficaces en alargar y mejorar la vida poscosecha de frutos y hortalizas. Para preservar la calidad en poscosecha de chirimoya y minimizar los daños por manejo y transportación, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación independiente y simultanea de RVS y BAP; de manera inicial, se aplicó 0 o 1.6 mM de RVS en chirimoya ‘Fino de Jete’ a los 8 o 15 d antes de la cosecha (DAC); Se simuló transporte y posteriormente los frutos se almacenaron a temperatura ambiente (TA) entre 15 y 20 °C. A 15 d de almacenamiento, los frutos tratados con 1.6 mM RVS 15 DAC presentaron menor ( $p < 0.05$ ) deshidratación (7.4 %). A 8 DAC la misma dosis no generó diferencia. Con una dosis de 1.6 mM de RVS se redujo ( $p < 0.05$ ) la pérdida de firmeza del fruto (7.5 y 5.7 %) y cáscara (9 y 3 %) en ambas fechas de aplicación en relación al control. Por

otra parte, cuando se aplicó BAP a ‘Fino de Jete’ ya sea a 1.0 mM o 0 mM, y permaneciendo los frutos en el árbol 8 y 15 DAC, los frutos tratados con 1 mM BAP, almacenados a TA, 15 días después de cosecha, conservaron el color L\* de la cáscara más del 35 % en relación al control. Finalmente se aplicó simultáneamente 1.6 mM de RVS y 1.0 mM de BAP en frutos de ‘Ruth’ y ‘Fino de Jete’ y como control 0.0 mM de ambos cultivos; esto a 8 y 15 DAC. Quince días después de cosecha y en frutos almacenados a TA, la aplicación de 1.6 mM de RVS-1.0 mM BAP redujo la pérdida de peso 5.5 % para ‘Ruth’ y 9.9 % para ‘Fino de Jete’; el color L\*, oscurecimiento de cáscara, se redujo en 32.1 % para ‘Ruth’ y 27.7 % para ‘Fino de Jete’. Esta combinación redujo el ablandamiento del fruto en 7.2 % para ‘Ruth’ y 10.3 % para ‘Fino de Jete’; la cáscara del fruto fue más resistente en 5.2 % para ‘Ruth’ y 10.9 % para ‘Fino de Jete’. Se comprobó que la actividad enzimática de pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG) se relacionan íntimamente con el ablandamiento de chirimoya. La actividad máxima de PG fue mostrada a 7 DDC en frutos tratados con 1.6 mM RVS- 1.0 mM BAP en comparación a 5 DDC en frutos testigo tanto para ‘Fino de Jete’ y ‘Ruth’. **Palabras clave:** Anona, calidad del fruto, citocinina, estilbeno, vida de anaquel

## **Abstract**

### **APPLICATION OF RESVERATROL AND 6-BENZYLAMINOPURINE TO INCREASE POSTHARVEST LIFE IN CHERIMOYA FRUIT**

Aaran Aqulino Morales Pérez. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México.

Ph D. Omar Franco Mora, Advisor; Dr. Edgar Jesús Morales Rosales, Member of the academic committee and; Dr. Alvaro Castañeda Vildózola, Member of the academic committee.

Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Universitario “El Cerrillo”, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. C.P. 50200. Tel (722) 2965529. E-mail: ofranco@uamex.mx

After harvested, the cherimoya ripens for consumption in 3 to 7 days, due to its climacteric characteristic its postharvest short. The fruit softens, and his peel becomes browning, the entire fruit is damaged with the postharvest handling and transportation. Resveratrol (RVS) and the 6-benzyaminopurine (BAP), polyphenol and cytokinin respectively, have been shown to be effective in increasing postharvest life of fruits and vegetables. To preserve the postharvest quality of cherimoya and minimize the damage due to handling and transportation, the aim of this study was to evaluate the effect of the preharvest implementation independent or simultaneous of RVS and BAP. RVS was applied at 0 or 1.6 mM in cherimoya 'Fino de Jete' at 8 or 15 d before harvest (DBH). Then, simulation postharvest transportation was performed and the fruits were stored at ambient temperature (RT), that is between 15 and 20 °C. Then at 15 d of storage, the fruits treated with 1.6 mM RVS 15 DBH had lower ( $p < 0.05$ ) dehydration (7.4 %). Application at 8

DBH of the same dose did not generate effect. With a dose of 1.6 mM of RVS the rate of loss of firmness of the fruit (7.5 and 5.7 %) and peel (9 and 3 %) was reduced in both dates of application that is 15 and 8 DBH, in relation control, respectively. On the other hand, when BAP was applied 'Fino de Jete' either to 1.0 mM or 0 mM, and fruits remained in the tree 8 and 15 after application DBH. The fruits treated with 1 mM BAP, stored at RT, 15 days after harvest, it preserved the peel color L\* more than 35 % in relation to control. A simultaneous application RVS 1.6 mM and 1.0 mM of BAP in fruits of 'Ruth' and 'Fino de Jete' and having as control the spray of 0.0 mM of both; this to 8 and 15 DBH, and fruit stored at RT, the application of 1.6 mM of RVS-1.0 mM BAP reduced the weight loss of 5.5 % for 'Ruth' and 9.9 % for 'Fino de Jete'; the color L\*, that is darkening of peel, was reduced by 32.1 % for 'Ruth' and 27.7 % of 'Fino de Jete'; also the softening of the fruit was reduced at 7.2 % for 'Ruth' and 10.3 % for 'Fino de Jete'; the peel of the fruit was more resistant, 5.2 % for 'Ruth' and 10.9 % for 'Fino de Jete'. It was found that the enzyme activity of pectinmethylesterase (PME) and polygalacturonase (PG) are closely related with the softening of cherimoya fruit. The maximum activity of PG was shown to 7 days after harvest (ADH) in fruit treated with SVR 1.6 mM - 1.0 mM BAP in comparison to 5 ADH in fruits to witness both of 'Fino de Jete' and 'Ruth'.

**Key words:** Anona, fruit quality, cytokinin, stilbene, shelf life

## Contenido

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	v
I.Introducción.....	1
II. Revisión Bibliográfica.....	4
2.1. Generalidades.....	4
2.2. Características botánicas y morfológicas.....	5
2.3. Origen y distribución.....	6
2.4. Cultivares de interés comercial.....	7
2.4.1. ‘Fino de Jete’.....	7
2.4.2. ‘Bronceada’.....	8
2.4.3. ‘Concha lisa’.....	8
2.4.4. ‘White’.....	8
2.4.5. ‘Burtons favorite’.....	9
2.4.6. ‘Campas’.....	9
2.4.7. ‘Selección Selene’.....	9
2.4.8. ‘Selección Ruth’.....	10
2.5. Áreas de producción.....	10
2.5.1. Producción mundial y tendencias del mercado.....	10
2.5.2. Producción en México.....	11

2.6. Factores de producción .....	11
2.6.1. Temperatura .....	12
2.6.2. Humedad ambiental .....	12
2.6.3. Viento.....	12
2.6.4. Luz .....	13
2.6.5. Nutrición .....	13
2.6.6. Riego.....	14
2.6.7. Polinización manual.....	14
2.7. Plagas comunes que afectan la calidad del fruto .....	16
2.8. Enfermedades comunes que afectan la calidad del fruto .....	17
2.9. Desarrollo del fruto, madurez de cosecha y de consumo .....	19
2.9.1. Crecimiento.....	19
2.9.2. Madurez de cosecha y de consumo.....	20
2.10. Componentes del fruto.....	21
2.10.1. Azúcares.....	21
2.10.2. Ácidos orgánicos.....	22
2.10.3. Proteínas.....	23
2.10.4. Polifenoles.....	23
2.10.5. Terpenos y compuestos aromáticos .....	24
2.10.6. Vitaminas .....	24
2.11. Formas de uso .....	24
2.11.1. Consumo en fresco.....	24
2.11.2. Usos industriales .....	25
2.12. Cosecha del fruto .....	25
2.12.1. Índice de cosecha .....	26

2.12.1.1. Color del fruto.....	26
2.12.1.2. Semilla separada de la pulpa.....	26
2.12.1.3. Textura de la cáscara.....	27
2.12.2. Técnicas de cosecha.....	27
2.13. Manejo poscosecha.....	27
2.13.1. Selección y clasificación.....	29
2.13.2. Métodos de empaque.....	30
2.13.3. Materiales de empaque.....	31
2.14. Métodos de almacenamiento.....	32
2.14.1. Uso de atmósferas modificadas.....	33
2.14.2. Uso de recubiertas poliméricas.....	34
2.14.3. Uso de permanganato de potasio.....	34
2.14.4. Uso de ceras.....	35
2.14.5. Uso de refrigeración.....	36
2.14.6. Otras alternativas de conservación.....	37
2.14.6.1. Bencilaminopurina (BAP).....	41
2.14.6.2. Resveratrol (RVS).....	41
2.15. Cambios fisiológicos en poscosecha del fruto.....	43
2.15.1. Etileno y respiración.....	43
2.15.2. Cambios hídricos.....	44
2.15.3. Cambios de azúcar y ácidos orgánicos.....	45
2.15.4. Daños por frío.....	48
2.15.5. Oxidación y oscurecimiento de cáscara y pulpa.....	49
2.15.6. Enzimas que intervienen en la degradación del fruto.....	50



2.15.6.1. Pectinmetilesterasa (PME).....	51
2.15.6.2. Poligalacturonasa (PG).....	52
III Materiales y métodos .....	52
IV. Resultados .....	53
4.1. Efecto del resveratrol en frutos de chirimoya bajo simulación de transporte.	53
4.2. La 6-bencilaminopurina inhibe el bronceado en cáscara de chirimoya ‘Fino de Jete’ .....	63
4.3 Pre-harvest treatments white resveratrol plus benzylaminopurine helps to preserve postharvest quality in chirimoya ( <i>Annona cherimola</i> Mill.).....	84
V. Conclusiones .....	105
VI. Bibliografía .....	106

## **I. Introducción**

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) es uno de los frutos más importantes de la familia Anonacea, es reconocido por algunos botánicos como uno de los mejores frutos del mundo (National Research Council, 1989; Gardiazábal y Rosemberg, 1993; Morton, 1987; Leboeuf *et al.*, 1982). Es una fruta que aporta energéticos, hidratos de carbono, minerales como fósforo y potasio, vitaminas A, C y niacina y metabolitos secundarios para la salud humana como fenólicos simples y flavonoides (Ferrucci, 1997). En madurez fisiológica es una de las frutas más exquisitas del mundo debido a su dulzura, pulpa cremosa y aroma fragante (Pareek *et al.*, 2011).

En el momento de cosecha, la chirimoya presenta textura firme. Sin embargo, una vez madura se vuelve muy blando rápidamente (Cerdas *et al.*, 2007), esto dificulta su transporte y limita su calidad. Los frutos maduros y blandos son susceptibles a daños mecánicos por el manejo poscosecha y la transportación. Debido a lo anterior es un producto de consumo regional (Pinto *et al.*, 2005). Cerdas *et al.* (2000) reportan hasta 39.3 % de daños mecánicos en el manejo y transportación de los frutos de esta especie. El ablandamiento del fruto implica la degradación de sustancias pépticas; constituyéndose como la mayor causa de afectación poscosecha y de pérdidas económicas (Asif y Nath, 2005).

La técnica más común para incrementar la vida poscosecha de esta fruta es la refrigeración (Ramos y Martínez, 1998), pero este tipo de almacenamiento incrementa el potencial de generar enfermedades fungosas (Cerdas *et al.*, 2007), además, el almacenamiento prolongado en refrigeración, provoca el daño por frío, ocasionando oscurecimiento y pulpa arenosa (Reginato y Lizana, 1980; De la Plaza, 1980; Fuster y Prestamo, 1980; Lizana e Irarrazabal, 1984).

El resveratrol (RVS) es un polifenol que promueve la lignificación de la pared celular (Van Buren, 1986), y favorece la protección contra agentes bióticos y abióticos (Anterola y Lewis, 2002). Aplicado en chirimoya ‘Fino de Jete’ y ‘Bronceada’ se redujo la tasa de ablandamiento del fruto sin afectar sus cualidades sensoriales (Morales *et al.*, 2014).

La aplicación de RVS en poscosecha en otros frutos, como manzana (*Malus comunis* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.), tomate (*Solanum lycopersicum*), pimiento (*Capsicum annuum*), fresa (*Fragaria* × *ananasa*) y uva (*Vitis vinifera*) incrementó la calidad sensorial de los frutos de dichas especies, esto referido a la textura y sabor, así como vida de almacenamiento y calidad nutricional (Jiménez *et al.*, 2005).

Por otra parte, el color de la cáscara es un índice de cosecha adecuado en chirimoya, ya que cambia de verde oscuro a verde amarillento en madurez comercial, y sus protuberancias estilares casi desaparecen (González *et al.*, 2010). Después de cortados, los frutos de chirimoya presentan un rápido bronceado en la cáscara (Prieto *et al.*, 2007), un proceso catalizado principalmente por la polifenol oxidasa (PPO) (Amiot *et al.*, 1996; Bray *et al.*, 2000). Esto demerita la calidad y la apariencia del fruto para el consumidor. La 6-bencilaminopurina (BAP) aplicado en flor de brócoli (*Brassica oleracea*) retrazó el amarillamiento, pero en frutos y específicamente en chirimoya, no existe antecedente de aplicación de 6-bencilaminopurina (BAP) en poscosecha.

El presente trabajo, tuvo como objetivo evaluar el efecto de RVS y BAP de forma individual y simultáneamente, para mantener la calidad y prolongar la vida poscosecha de chirimoya (*Annona cherimoya* Mill.), y de manera específica;

a) Una vez cosechada la chirimoya 'Fino de Jete', almacenada a temperatura ambiente y sometido a un simulador de transporte, evaluar si RVS evita o reduce el ablandamiento del fruto.

b) Evaluar la aplicación de 6-bencilaminopurina a frutos de chirimoya Selección 'Ruth' para evitar o reducir el bronceado de la cáscara en poscosecha.

c) Probar la aplicación simultanea de resveratrol y 6-bencilaminopurina, para evitar o reducir el ablandamiento y oscurecimiento del fruto de chirimoya 'Fino de Jete' en poscosecha.

## II. Revisión Bibliográfica

### 2.1. Generalidades

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) es nativa de América; los primeros pobladores de Centro y Sudamérica ya tenían conocimiento de este fruto. Existen evidencias del fruto reproducidas en vasijas de barro y otros artículos utilizados en las culturas prehispánicas del Perú, en los últimos años hay investigadores europeos que ubican su origen en Mesoamérica (desde México hasta Panamá) (Cerdas *et al.*, 2007). La palabra chirimoya es muy probable que provenga de la lengua indígena Quiché (dialecto maya en Guatemala), nombre para la fruta del árbol de *A. cherimola*. De Smet *et al.* (1999) creen que la connotación de ‘chirimoya’ proviene de la combinación de dos palabras: Quichua *chiri* o *ciri* medianamente frío o frío, y *muyú*, medianamente circular o redondo, en términos generales se refiere a un fruto “fresco y redondo”. La chirimoya no se le ha dado muchos nombres debido a su limitada distribución en el mundo, y el nombre común en diferentes países es la transliteración del epíteto de especie latino *cherimola*. Por ejemplo en inglés “cherimoya”, en español “chirimoya”, en francés “cherimolier”, en alemán “cherimoyabaum”, en portugués “cherimolia” y en italiano “cerimonglia”. La chirimoya es considerada una dádiva del Nuevo Mundo, y por sus atributos nutritivos, la pulpa de esta fruta es utilizada en forma natural o para la producción de jugos, batidos, helados. Su mercadeo generalmente es a escala local o regional. Sin embargo a medida que la chirimoya comienza a ser más conocida, es objeto de mayor atención por parte de investigadores, cultivadores y consumidores de un gran número de países (Grossberg, 1997).

## 2.2 Características botánicas y morfológicas

Los aspectos de la especie *Annona cherimola* relacionados con la sistemática vegetal son los siguientes (Popenoe, 1975):

Reino: Vegetal

Subreino: Embriophyta

División: Spermatophyta

Subdivisión: Angiospermae

Clase: Dicotyledonae

Orden: Ranales

Suborden: Magnoliales

Familia: Anonacea

Subfamilia: Annonoideae

Género: *Annona*

Especie: *Annona cherimola* Miller

Los frutos de esta especie son de formas acorazonada, cónica, oval o en muchas ocasiones, de formas irregulares, debido a la polinización irregular del ovario. Los frutos miden desde 7.5 hasta 12.5 cm de longitud y pesan desde 200 hasta 1500 g. La superficie de la cáscara del fruto varía de acuerdo a la especie, en algunas ocasiones son lisos otras son de manera

impresas con protuberancias carpelares; la cáscara de la fruta es delgada y delicada, cuando el fruto ha madurado se torna de un verde oscuro a verde-amarillento (Popenoe, 1975).

Morfológicamente existen cinco genotipos de chirimoya, la diferencia radica en la presencia de protuberancias singulares en la cáscara del fruto, estos son los siguientes: lisa, impresa, tuberculada, mamilada y umbonada (Morton, 1987). La fruta tiene una buena cantidad de semillas (de 21 a 45 semillas por fruto), esta miden desde 1.5 hasta 2 cm de longitud y un aproximado de 1 cm de ancho (Manica, 1997).

### **2.3 Origen y distribución**

Como sucedió con el nombre, también existe controversia respecto a su origen. Popenoe (1975) afirma que el lugar de origen de la chirimoya es de los valles andinos, en donde fluye el río Marañón, entre Perú, Colombia y Bolivia antes de llegar al Ecuador. Las poblaciones nativas en las regiones de Centro y Sudamérica, desde tiempos inmemoriales han hecho uso de las anonáceas por sus aportes medicinales y nutricionales. (Cuevas *et al.*, 2010; ELOSS, 2011)

El número de géneros y especies en la familia de Anonacea es muy debatido. Bayle (1949) afirmó que existen 46 géneros y, entre 500 y 600 especies, mientras que Fries (1959), citado por Geurts (1981), afirmó que hay 119 géneros y más de 2000 especies, Popenoe (1975) describe que la familia Anonacea tiene entre 40 y 50 géneros y más de 500 especies. Un número limitado de especies de este género produce frutos comestibles, incluyendo varios de origen silvestre, y algunos que han sido domesticados (Ochse *et al.*, 1974). Muchas de estas especies se encuentran en zonas tropicales, y solamente pocos géneros en zonas templadas.

De acuerdo con Geurts (1981), existen 119 géneros, 109 son nativos de América tropical y 10 de África tropical. De las especies americanas, todas han sido domesticadas, mientras que de las africanas solamente una está en proceso de domesticación (*A. senegalensis*).

## **2.4. Cultivares de interés comercial**

### 2.4.1. 'Fino de Jete'

Entre los cultivares más destacados de *A. chirimolla* está 'Fino de Jete', que es una selección clonal (multiplicada vía agámica, por injerto) realizada por los agricultores del Valle del Río Verde en Granada España, desde principios del siglo XX, a partir de diversos genotipos obtenidos a partir de semillas, que abundaban en esta zona de cultivo. La selección se realizó por los agricultores teniendo en cuenta el sabor dulce y la cáscara lisa, que facilita su comercialización. Es una selección local de la zona de Jete en la región de Granada España. Comercialmente, ocupa alrededor del 95 % de la superficie cultivada en España. Requiere de polinización manual para resolver su bajo amarre de frutos; cuando se realiza este tipo de polinización se asegura una eficiencia de 90 y 100 % de cosecha. Produce frutos de 350 a 1,300 g, de forma acorazonada y cáscara lisa, cuando alcanzan la madurez fisiológica toman una coloración verde-amarillo brillante. La pulpa es de buen aroma, jugosa, dulce y blanca. Una desventaja que presenta es su alto contenido de semillas, este puede ser un factor que impida la aceptación en el mercado. Sin embargo su resistencia a la sequía es buena, los frutos son precoces y abundan desde septiembre a diciembre. El reto para que el fruto tenga aceptación en el mercado es inducir frutos de baja semilla (Castañeda, 2005).



#### 2.4.2. 'Bronceada'

Es una variedad comercial cuyo material genético originario es de Quillota, Chile y en conjunto con 'Concha lisa' representan 95 % de la superficie cultivada en ese país, tiene un bajo porcentaje de amarre de frutos y es necesario polinizar manualmente para obtener el amarre y asegurar buena producción. La cosecha de esta variedad generalmente se obtiene desde noviembre a enero. Los frutos alcanzan un peso de 300 a 1,350 g, en su cáscara presentan protuberancias carpelares muy gruesas, esto lo hace susceptible a heridas mecánicas por lo cual requiere un manejo muy cuidadoso. Su coloración en madurez fisiológica es verde brillante con ligeros bronceados, a esta característica se le debe su nombre (Castañeda, 2005).

#### 2.4.3. 'Concha lisa'

Este cultivar también es originario de Quillota, Chile; presenta un bajo porcentaje en amarre de frutos, debido a su alto requerimiento de agua durante la floración, aunque se polinice manualmente no se tienen logros favorables. La cosecha se realiza desde noviembre a enero. Los frutos pueden alcanzar de 300 a 1,200 g. En su madurez fisiológica son de color amarillo brillante, sus características organolépticas son muy aceptables debido a sus componentes organolépticos propios (Castañeda, 2005).

#### 2.4.4. 'White'

Este fruto es originario de Estados Unidos de América. En California (USA) es de los más populares, su cosecha se obtiene desde diciembre hasta marzo, lo cual se debe a su prolongado periodo de floración que va desde abril a junio. Con polinización manual, se obtiene un 90 a 95 % de producción, los frutos son de excelente calidad y bien formados

con pesos de 500 a 1,600 g. Debido a las protuberancias notables que se encuentra en su cáscara se requiere de un manejo cuidadoso para su transporte. La pulpa es muy jugosa, de agradable sabor agrídulce y tiene un bajo índice de semillas (Castañeda, 2005).

#### 2.4.5. ‘Burtons favorite’

Originaria de Nueva Zelanda, su floración va desde abril hasta julio, por lo que el periodo de cosecha abarca de noviembre hasta marzo. Requiere de polinización manual para producir frutos de excelente calidad, estos frutos son de forma alargada, su cáscara es de tipo impresa y el peso oscila desde los 400 hasta los 1,200 g. La pulpa es muy jugosa, aromática y dulce. Los frutos alcanzan 25 % de sólidos solubles totales y su cantidad de semillas oscila de 8 a 12 en 100 g de pulpa (Castañeda, 2005).

#### 2.4.6. ‘Campas’

Es un fruto originario de España que con polinización manual se obtiene un amarre del 95 al 100 %, se pueden alcanzar pesos de 500 hasta 1,500 g. Su cosecha se obtiene de octubre a diciembre, su pulpa es aromática y jugosa, el contenido de semilla es de 6 a 8 por 100 g de pulpa. Su cáscara es impresa y favorece al manejo poscosecha (Castañeda, 2005).

#### 2.4.7. Selección ‘Selene’

Este material fue seleccionado en 1997 en Táncitaro, Michoacán proveniente de un árbol de traspatio. Se llevó a Coatepec Harinas, Estado de México en 1998 con propósitos de conservación para su caracterización. La cosecha se realiza de octubre a noviembre. Los frutos alcanzan peso de 300 a 1500 g, la cáscara es de tipo impreso, la pulpa es jugosa y aromática, el contenido de semillas oscila de 8 a 10 por cada 100 g de pulpa, la limitante

para su comercialización es la fragilidad de su cáscara. Específicamente, cuando alcanza su madurez de consumo, requiere manipulación cuidadosa (Castañeda, 2005).

#### 2.4.8. Selección ‘Ruth’

Material seleccionado en el 2009 en Achichipico, Yecapixtla, Morelos, México. Proveniente de árbol de traspatio con propósitos comerciales. La cosecha se realiza de julio a septiembre. Los frutos alcanzan peso de 300 1200 g, el contenido de semilla es de 6 a 8 por 100 g de pulpa, su cáscara es impresa y ofrece buena resistencia al manejo poscosecha (información del productor).

### **2.5 Áreas de Producción**

#### 2.5.1. Producción mundial y tendencias del mercado

La chirimoya se produce principalmente en España, Perú y Chile. Pequeñas áreas de producción en algunos países de América Central, México, Israel y los Estados Unidos (California). El área de producción mundial de chirimoya se evalúa en 13,500 ha con un rendimiento promedio de 6 t ha<sup>-1</sup> por año. La producción mundial es estimada en 81,000 t (Pinto *et al.*, 2005). Más de 75 % del cultivo es producido en huertos comerciales bien establecidos a lo largo del Mediterráneo, en la costa sur de España, particularmente en las provincias de Granada y Málaga. Perú es el segundo país productor, con un área cultivada de 1,800 ha y un estimado de 15,000 toneladas anuales. Chile es el tercer país productor con 12,000 t en 1,200 ha (EOLSS, 2011).

Algunos países desarrollados, como España y Australia, han producido un cuerpo de conocimientos técnicos sobre producción de chirimoya, que ha contribuido a una mejor comercialización internacional de estos países. Por lo tanto, chirimoya es bien conocida comercialmente, y tiene un buen desempeño de la producción y las exportaciones, por lo

que es más importante en el mercado externo y el consumo mundial que guanábana y anona squamosa (Pinto *et al.*, 2005).

### 2.5.2. Producción en México

La producción, rendimiento y superficie sembrada, aún es muy baja en México. Datos promedios del 2009 al 2013 reportan una superficie cultivada de 114.1 ha en Morelos, Michoacán, Hidalgo y Estado de México, con una producción de 577.5 t y un rendimiento de 6.4 t ha<sup>-1</sup> obteniendo una derrama de 2,436.4 millones de pesos (SIAP-SAGARPA), 2014. La chirimoya tiene un gran potencial en el mercado internacional, México puede poseer grandes ventajas de exportación a Estados Unidos. Por consiguiente, debe promoverse dicho cultivo (Nava-Díaz *et al.*, 2000).

## 2.6. Factores de producción

Los factores idóneos de precosecha proveerán la calidad de los frutos, estos factores son entre otros, podas, temperatura, humedad ambiental, vientos, luz, nutrición y polinización. Esta especie se puede catalogar como caducifolia, puesto que en un lapso de tiempo muy corto, luego de la cosecha, se defolia el árbol e inicia la nueva brotación. Este fenómeno sucede de manera muy rápida; las hojas pierden su coloración verde y se tornan amarillas y caen y de forma inmediata se inicia la brotación, de manera que en el campo es muy raro encontrar una planta totalmente defoliada. La chirimoya puede adaptarse desde 900 a 2500 msnm (Delgado, 2005; Fouqué, 1972). Debido a que se adapta a grandes altitudes, el chirimoyo puede crecer y tener buen rendimiento en los climas subtropicos (Belotto y Manica, 1994).

### 2.6.1. Temperatura

Los cambios sin grandes fluctuaciones de temperatura y humedad son los más propicios para este cultivo. Las condiciones ideales para obtener un buen amarre de frutos son temperaturas entre 25 y 28 °C (Rosell *et al.*, 1997). Belotto y Manica (1994) consideran que la mejor temperatura debe ser entre 18 y 22 °C en el verano y 5 a 18 °C en el invierno. Altas temperaturas durante la etapa de floración son perjudiciales, debido a que se puede presentar resequedad en el líquido estigmático. También si existe mucha lluvia, durante este periodo, ocasiona caída de los granos de polen, que no pueden adherirse al estigma (Delgado, 2005).

### 2.6.2. Humedad ambiental

La humedad relativa para este cultivo debe fluctuar entre 60-70 % durante la época de floración. La humedad relativa alta, mayor del 80 % es perjudicial porque favorece la presencia de enfermedades de tipo fungos y bacteriano que atacan con mayor intensidad en los estados fenológicos de floración y fructificación. En este último caso es especialmente dañina cuando la humedad es alta en la etapa de maduración de la fruta, ya que puede causar pérdidas hasta del 50 % de la cosecha (Delgado, 2005).

### 2.6.3. Viento

Los vientos fuertes son perjudiciales para este cultivo porque debido a que su sistema radicular no es muy profundo, árboles adultos de gran copa, pueden ser derribados. Por ello se recomienda no establecer huertos con propósitos comerciales en zonas ventosas (Delgado, 2005). La alta intensidad de viento es perjudicial para el chirimoyo ya que sus ramas más jóvenes pueden doblarse por acción del mismo, provocando una mala formación del árbol. También, el viento puede tener un efecto negativo sobre los frutos en su etapa de

maduración en el árbol, ya que la cáscara puede verse dañada debido a los roces que se producen con las ramas (Rosell *et al.*, 1997).

#### 2.6.4. Luz

La planta por ser originaria de la zona tropical alta, requiere una cantidad apreciable de horas luz, la cantidad necesaria es de 900 a 1,200 horas año (Delgado, 2005).

#### 2.6.5. Nutrición

El programa de fertilización para el chirimoyo debe realizarse bajo dos etapas, La dosis de fertilizantes y los tiempos de aplicación deben ser ajustados según la edad de los árboles y de las especies. Ibar (1979) describe el programa de fertilización de huertos de chirimoya durante el periodo juvenil (a partir del 1er a 3er año) según la edad de los árboles, pero para la etapa productiva, la calendarización debe ser más precisa. El tamaño, color, forma y sabor del fruto, que son características de la calidad, son afectados por las deficiencias de nutrimentos (Mengel y Kirkby, 1987). Undurraga *et al.* (1995) reportaron que con 4.14 a 6.72 kg de nitrógeno (como urea) aplicados a árboles individuales de chirimoya en ‘Concha lisa’, los frutos presentaron menor cantidad de sólidos solubles, menor firmeza de la fruta y altos valores de acides titulable. Esto sugiere que una aplicación por arriba de 4.4.kg de N en forma de urea, afecta la calidad organoléptica de la chirimoya. De manera general la deficiencia de nitrógeno en anonas, principalmente en guanábana (*A. muricata*), ocurre una incidencia alta de abscisión de fruto, en chirimoya es menos la incidencia (Silva y Silva, 1997).

Los frutos de chirimoya tienen una alta demanda de potasio, su correcta aplicación evitará que se produzca problemas de cantidad y calidad de la fruta, el contenido de potasio en

hojas, debe mantenerse por encima del nivel crítico sugerido de 1.0 % (Torres y Sánchez, 1992; Pinto y Silva, 1996). El cultivo orgánico en chirimoya, es una práctica reciente; estudios concluyentes han determinado que esta práctica es recomendable, por los resultados obtenidos un número cada vez mayor de productores están reduciendo el uso de los agroquímicos, aumentando el uso de productos orgánicos o biológicos, se incrementa la calidad de la fruta en el mercado. Hoy en día, la aplicación foliar de mezcla de microorganismos (denominado comercialmente EM-4 y EM-5), así como una gama de bioactivadores (denominado comercialmente Aminon-25), parecen mejorar las funciones y metabolismo de la planta, tales como la fotosíntesis y la distribución de los carbohidratos y dar buenos resultados en términos de rendimiento y calidad de la fruta de chirimoya cultivados orgánicamente (Bonaventure, 1999).

#### 2.6.6. Riego

Son varios los factores que deben considerarse para establecer las necesidades hídricas del cultivo, entre ellos están: Disponibilidad en calidad y cantidad de agua, grado de infiltración, pendiente del terreno, fenología vegetal y aspectos del clima. En México, la chirimoya se cultiva en tres tipos de clima de acuerdo al sistema de clasificación Köppen, el primer tipo es considerado subtropical, con un alto régimen de lluvias en los meses de verano (un promedio de 1,692 mm al año en el verano y más de 5 % en el invierno); los otros dos tipos son considerados subtropical, pero con menos abundantes precipitaciones (1,047 a 1,182 mm al año en verano y menos del 5 % en invierno) (Andrés, 1997).

#### 2.6.7. Polinización manual

La deficiente producción del chirimoyo se asocia con determinados aspectos del comportamiento de sus flores. Las flores hermafroditas son dicógamas protogineas, esto

quiere decir que primero madura la parte femenina (pistilos) y posteriormente lo hace la parte masculina (estambres). Por lo tanto, generalmente una misma flor no puede polinizarse con su mismo polen. Esta característica, unida a la de ser flores que atraen a pocos insectos que podrían favorecer la polinización cruzada, hacen que sean pocas las flores que se fecundan. Por ello, en la mayoría de las zonas donde se cultiva este árbol se recurre a la polinización manual. La puesta en práctica de esta técnica se debe al Dr. Schroeder, que en 1942 en California demostró las ventajas que aporta. Con la polinización artificial se consigue aumentar considerablemente tanto la producción como el número de frutos bien formados. La técnica es sencilla, se trata en esencia de recoger el polen cuando, una vez maduro, se libera de las anteras y depositarlo, ayudado con un pincel, en los estigmas de las flores que se encuentren en el estado más favorable para que se produzca la fecundación (Higuchi *et al.*, 1998).

Para realizar la polinización manual conviene diferenciar las fases por las que pasan las flores durante la antesis (periodo de tiempo desde que se abren hasta que se desprenden los estambres y los pétalos). La apertura de las flores se produce durante la noche. Las flores por la mañana se encuentran todas en la denominada fase femenina, llamada así por haber completado su desarrollo carpelo. Las flores durante esta fase presentan los ápices de los pétalos ligeramente separados y flexionados hacia fuera, encontrándose la base de los mismos lo suficientemente juntos como para mantener protegidos tanto a los estambres como a los estigmas (extremos de los carpelos). Durante esta fase femenina, la superficie de los estigmas es de color blanco y brillante y segrega un líquido que permite retener los granos de polen al mismo tiempo que facilita su germinación. Las flores en dicha fase permanecen uno o dos días (Guirado *et al.*, 2001). Por la tarde, alrededor de las 16 y 17 h,



las flores pasan a la fase masculina, al alcanzar los granos de polen su total desarrollo y producirse su liberación y dispersión. Se caracteriza por producirse una rápida separación de los pétalos de la flor. Los pétalos en esta posición dejan expuestos tanto los estigmas (que, generalmente, ya no son funcionales) como los estambres soltando el polen, observándose cómo unos y otros cambian el color, hasta ahora blanco, pasando a un tono marrón, al mismo tiempo que se aprecian los estigmas más secos y sin brillo. Tanto los estambres como los pétalos pueden desprenderse esa misma tarde o en días posteriores (Rosell *et al.*, 1997).

## **2.7. Plagas comunes que afectan la calidad del fruto**

Las tres principales plagas que atacan a las chirimoyas y en ocasiones a otras anonáceas en las distintas regiones productoras de América son:

- *Bephratelloides* sp. Conocido comúnmente como perforador de la semilla. El insecto cumple diferentes instares, dentro del fruto: huevo, larva y pupa, alimentándose de la semilla tierna. En el estado de pupa, ya la semilla se encuentra protegida por la testa de consistencia dura, por esta razón el insecto abandona el fruto cuando es adulto. Rompe la semilla y la epidermis del fruto y deja unas perforaciones que facilitan la entrada de otros problemas patológicos, en especial la *moniliasis*. Tienen características estenofagos, *multivoltinos* y se alimentan de semillas de 16 especies de anona (Peña y Bennett, 1995).
- La especie *Cerconota anonella* (perforador del fruto) es una pequeña mariposa que en estado larval perfora los frutos pequeños y cuando completa este estado, se torna color violeta y cae al suelo para convertirse en pupa (Boscan y Godoy, 1989).

- La otra especie *Talponia batesi* Heinrich (Lepidoptera: Tortricidae) representa un problema entomológico grave para el cultivo del chirimoyo en México. Su presencia es predominante y puede dañar hasta 100 % de los frutos en desarrollo. Hasta la fecha no existe un tratamiento efectivo para el control de este grupo de insectos, lo cual hace el problema mayor debido a que las zonas afectadas se convierten en foco de infestación latente para futuras plantaciones (Boscan y Godoy, 1989).

## **2.8. Enfermedades comunes que afectan la calidad del fruto**

- *Monilia frutícola* una de las enfermedades de mayor incidencia, es la momificación de los frutos, causada por *Monilia fruticola*. Esta enfermedad causa la momificación de los frutos que permanecen prendidos a las ramas durante el ciclo anual y posteriormente, cuando se inicia la nueva brotación. El inóculo permanece en los frutos momificados y ataca las flores, nuevas hojas y al final los frutos en maduración. Los frutos en crecimiento solamente pueden ser atacados por heridas, causadas por insectos u otro agente externo. Cuando las condiciones de humedad, lluvias, aumentan durante la época de cosecha, la enfermedad se vuelve muy agresiva, En zonas productivas de España se han reportado pérdidas de por lo menos 60 % (Delgado, 2005).
- *Botrytis cinérea* el hongo penetra en forma directa en el fruto, causando una pudrición blanda. Se puede presentar en los frutos, cuando se encuentran totalmente formados o inician el periodo de maduración. También se reporta como una enfermedad de poscosecha. Es uno de los patógenos más agresivos en el cultivo de chirimoya (Delgado, 2005).

- *Penicillium expansum* el hongo *Penicillium* penetra en los frutos a través de lesiones causadas por insectos y daños mecánicos; así causa pudrición blanda y descomposición de la pulpa de la fruta. En ocasiones se puede observar a simple vista sobre la epidermis del fruto de un color negro. En épocas de lluvia la enfermedad es más agresiva (Delgado, 2005).
- *Rhizopus stolonifer* también como *Penicillium*, penetra en el fruto a través de heridas de la epidermis, causando una pudrición blanda, esta enfermedad se presenta cuando los frutos han madurado, en época de la cosecha (Delgado, 2005).
- *Colletotrichum gloeosporioides* (Antracnosis) los frutos presentan pequeñas manchas, de color marrón oscuro que pueden unirse. Sobre las lesiones se pueden observar puntos negros formando círculos concéntricos. Cuando hay exceso de humedad se forman masas de color rosado que corresponden a las esporas del hongo. Un fruto con avanzado estado de antracnosis presenta rajaduras que penetran la pulpa, y favorece la entrada de otros hongos afectando por lo tanto la calidad de la misma. Cuando hay un ataque de un insecto antes de la entrada de antracnosis, generalmente el fruto queda momificado en el árbol. La diseminación de la enfermedad se favorece con la alta humedad, causada ya sea por los excesos de lluvias o de rocío. El causante es un hongo que sobrevive en tejidos afectados, como hojas, ramas, ramitas, frutos momificados, por lo que es necesario hacer podas sanitarias para eliminar los tejidos enfermos de los árboles (Cerdas *et al.*, 2007).
- *Phomopsis anonacerum* (Mancha gris) las lesiones se desarrollan tanto en las hojas como en el fruto. En el caso de las hojas las lesiones se observan principalmente en el envés, son redondeadas, inicialmente tienen una coloración café grisácea, bordes

difusos y pueden llegar a cubrir gran parte o toda la superficie. En el fruto la lesión es firme, posteriormente los tejidos afectados se endurecen, pero pocas veces la mancha profundiza. Si la lesión se desarrolla cerca del pedúnculo, esta puede penetrar y causar la pudrición del eje o receptáculo. El causante de la enfermedad es un hongo que sobrevive en residuos del cultivo enfermos, se disemina por el salpique del agua y por semillas infectadas. El desarrollo de la enfermedad se ve favorecido por el clima húmedo, lluvioso y por temperaturas comprendidas entre los 20 y los 28 °C, así también por heridas ocasionadas por ácaros o insectos.

Las recomendaciones para manejo integrado de las enfermedades ya mencionadas, entre otras se debe realizar; poda de saneamiento y eliminar los residuos, y para el tratamiento al follaje y fruto con fungicidas preventivos (Cerdas *et al.*, 2007).

## **2.9. Desarrollo del fruto, madurez de cosecha y de consumo**

### **2.9.1 Crecimiento**

La brotación, tanto vegetativa y floral se inicia entre los meses de marzo y mayo, siendo su duración de 2 a 3 meses, El inicio del periodo de floración (flores abiertas) ocurre en mayo y junio, la duración es entre 3 y 4 meses. El periodo de máxima presencia de flores es de 1 mes. El amarre de frutos comienza en junio y julio, alcanzando su madurez fisiológica en 4 a 6 meses (Rosell *et al.*, 1997). Los patrones del crecimiento de la fruta, tanto para temperaturas frescas y calurosas fueron determinados en 1995 como doble sigmoideal (Higuchi *et al.*, 1998). La curva del crecimiento puede ser dividido en tres fases: Con un periodo lento de crecimiento (etapa 2) durante el cual el crecimiento del fruto es casi constante y dos periodos de crecimiento rápido (etapas 1 y 3) observadas antes y después

de la etapa 2. En la etapa 2 se encontró que a temperaturas cálidas fue más prolongado y las tasas de crecimiento en las etapas 1 y 3 fueron más bajas (Higuchi *et al.*, 1998).

El fruto recién amarrado presenta residuos de pétalos y sépalos, presencia de estigma, escamas carpelares forma convexa y la epidermis del fruto es color verde con tonos blanquecinos que tornan a bronceados. En frutos de chirimoya, después de la polinización se observan, aunque poco evidentes, 4 estados morfológicos significativos: Estado 1, identificado como fruto recién “amarrado o cuajado”, este estado ocurre en las primeras 3 semanas cuando el fruto apenas ha alcanzado 30 mm de longitud; estado 2, “fruto verde”, ocurre a las 8 semanas, el fruto llega a medir 60 mm de longitud; estado 3, “envero”, sucede a las 15 semanas, el fruto en esta etapa mide 70 mm de longitud y, estado 4 “maduro” ocurre después de las 18 semanas, en esta etapa el fruto llega a medir 100 mm o más de longitud (González *et al.*, 2010).

#### 2.9.2. Madurez de cosecha y de consumo

El fruto se recolecta con textura altamente firme, después de desprenderse del árbol el fruto se va ablandando hasta que es apto para su consumo, esto ocurre después de 3 a 5 días de cosechados. No coincide madurez de cosecha y madurez de consumo. La madurez hortícola, comercial o de recolección, es el momento óptimo de cosecha, en este estado el fruto ha alcanzado la madurez fisiológica, entonces el fruto desde un estado desfavorable de sabor, textura, y color, cambio a un estado favorable para su consumo (González *et al.*, 2010). Durante el proceso de maduración a temperatura promedio de 20 °C el pH de la pulpa incrementó de 2.2 a 5.5, su acidez titulable fue menor de 0.36 a 0.28 g ácido cítrico

por cada 100 g de pulpa, su contenido de almidón disminuyó de 41.5 a 20.7 mg 100 g<sup>-1</sup> de peso y los grados Brix aumento de 11.5 a 18.7 ° (González *et al.*, 2010).

Las temperaturas tienen un efecto primordial sobre la maduración de la fruta, con bajas temperaturas, la maduración del fruto es lento; por el contrario, altas temperaturas conlleva a una rápida maduración, incluso hasta provocar fermentación en el fruto y la caída de esta del árbol (Nakasone y Paull, 1998).

## **2.10. Componentes del fruto**

### **2.10.1. Azúcares**

Los azúcares, en forma libre o combinados con otros constituyentes, son de importancia para que el fruto alcance un sabor agradable; esto mediante un equilibrio en la proporción acidez-azúcar y textura, de aceptable palatabilidad (si están combinados en forma apropiada con polisacáridos estructurales). A medida que el fruto madura, ocurren transformaciones metabólicas tanto cuantitativas como cualitativas (Alique y Oliveira, 1994). En el proceso de la maduración de la chirimoya, Gutiérrez *et al.* (1994) reportaron que el almidón era hidrolizado formando sacarosa. Lamúa (2000) reportó, además, un incremento gradual en sacarosa, glucosa y fructosa con el avance de maduración. Modi y Reddy (1997) reportaron un incremento de 5 veces el contenido total de pentosas y observaron que la síntesis de la fructosa era 1.5 veces mayor que la de glucosa. Además del almidón, la mayoría de los otros carbohidratos solubles son metabolizados por completo a medida que el fruto madura. Aún los compuestos de 7 carbonos, D-mano-heptulosa, sufren una hidrólisis completa en el estado de madurez plena (Davenport y Ellis, 1959). Sin embargo los carbohidratos estructurales solo registran un ligero descenso.

Aunque investigaciones no publicadas de Chhatpar *et al.* (1971) mostraron que el contenido de celulosa disminuyó de 4.9 a 1.12 g por cada 100 g de peso fresco. Las sustancias pectínicas y las celulosas constituyen reservas lábiles de carbohidratos que pueden servir también como fuentes potenciales de ácidos, azúcares y otras sustancias respiratorias durante la maduración (Sánchez *et al.*, 1998)

Como es bien sabido, los azúcares promocionan las síntesis vitales al mantener niveles energéticos adecuados, por otra parte, otra de las funciones de la glucosa es mantener la actividad de algunas enzimas. Tres de ellas, que participan en la biosíntesis de sacarosa: la sintetasa, la sacarosa p-sintetasa y la glucosa-b-p-isomerasa. La actividad de estas tres enzimas durante la maduración total del fruto será siempre alta; pero sin glucosa, la actividad enzimática disminuye al parecer por que la síntesis proteica se reduce drásticamente (Sánchez *et al.*, 1998).

#### 2.10.2. Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos no volátiles se encuentran entre los principales constituyentes celulares que sufren cambio durante la maduración de los frutos; los principales ácidos que se han identificado en la mayoría de los frutos incluyendo la chirimoya son: el cítrico, el málico y el ascórbico (Modi y Reddy, 1997). Ha quedado bien establecido que durante la maduración de los frutos hay una considerable disminución de la acidez, cambiando el pH de 2.2 hasta 5.5. En estudios de los autores arriba mencionados, se ha reportado que los contenidos de ácido cítrico, málico y ascórbico disminuyeron en 10, 40 y 2.5 tantos respectivamente. Se encontró que el primero en desaparecer era el ácido málico seguido por el ácido cítrico, sugiriendo con ello el posible catabolismo del citrato vía malato. Los ácidos totales y la proporción de ácido málico a ácido cítrico decrecen durante la maduración del

fruto. De nuevo, aquí se encuentra implícita la conversión de malato a citrato (Muñoz *et al.*, 2001).

### 2.10.3. Proteínas

Atendiendo a las propiedades de las proteínas presentes en la pulpa de frutos y semillas de anonáceas, predominan los aminoácidos citrulina y  $\gamma$ -aminobutírico. Se tiene la presencia de grandes cantidades de citrulina libre, ornitidina y arginina que parecen ser de interés metabólico. Aminoácidos como asparagina, histidina, alanina, tirosina y lisina se han aislado de frutos de anonáceas, mientras que en semillas, se han detectado 16 aminoácidos. Finalmente, la albúmina y globulina se encuentran contenidos en semillas de 14 especies de anonáceas (Leboeuf *et al.*, 1982).

### 2.10.4. Polifenoles

Los principales ácidos fenólicos encontrados en frutos son: ácido cafeico, ácido  $p$ -coumárico y ácido  $p$ -hidrobenzoico, también en algunas hojas de anonáceas se han encontrado ácido vanílico. Se han encontrado otros derivados polifenólicos tales como catequina, epicatequina, procianidina y prodelfinidina, estos específicamente se han identificado en chirimoya (Gibs, 2004). Los flavonoides, son otros constituyentes de las anonáceas, entre las más abundantes se encuentran quercetina, rutin, nicotiflorina, paquipodol, 5, 6, 7-trimetoxiflavona, algunos de estos flavonoides queda confirmado que poseen características citotóxicas, antitumorales y antimicrobiales (Zhang y Morris, 2003).



### 2.10.5. Terpenos y compuestos aromáticos

Los terpenos presentes en las anonáceas, de acuerdo a su clasificación, monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos y triterpenos, se localizan en diferentes órganos de las anonáceas. A continuación se describen algunos ejemplos.

Monoterpenos (10 carbonos) como alcanfor y borneol se encuentran en raíces, corteza y cáscara de frutos.

Sesquiterpenos (15 carbonos) como lactona se encontró en fruto de chirimoya.

Diterpenos (20 carbonos), el más relevante entre las anonáceas es kaurane y el ácido xilopico, ambos tienen propiedades antimicrobiales. (Sasaki *et al.*, 2002).

Otros componentes aromáticos derivados de propenilbenceno y vinilbenceno se han encontrado en frutos de *Anona cherimola* (Lyew, 2007).

### 2.10.6. Vitaminas

En la pulpa de frutos de chirimoya se ha encontrado: vitamina B1, B2 y Vitamina C (Leboeuf *et al.*, 1982).

## **2.11. Formas de uso**

### 2.11.1. Consumo en fresco

La chirimoya es comúnmente consumida en fresco como postre, generalmente es enfriada y se come acompañado con sal y limón. La pulpa de la fruta también se mezcla con vino, leche (para malteadas) y yogurt (Lizana y Reginato, 1990).

### 2.11.2. Usos industriales

La pulpa congelada presenta el problema del pardeamiento u oxidación, que en anona solo se puede reducir con productos químicos porque con el uso de altas temperaturas se desarrollan sabores extraños. Utilizar envases impermeables al oxígeno puede ayudar a reducir la oxidación. La pulpa congelada en países como Chile, se utiliza principalmente para abastecer las fábricas de helados. El producto congelado: permite mantener propiedades importantes como sabor, aroma y color característicos; se puede obtener rodajas congeladas, rodajas con jugo de naranja la conservación mediante la incorporación de altas concentraciones de azúcar y si se adicionan agentes gelificantes se pueden lograr "gomitas o confitados de fruta" (Díaz, 1981).

La chirimoya es ampliamente consumida de manera procesada, El proceso industrial depende de las técnicas de refrigeración para preservar la pulpa. En un simple congelador, la chirimoya congelada puede ser preservada por 120 días. Para congelarse, la fruta debe pelarse preferentemente de manera mecánica o pelada con sosa caustica al 20 %, la pulpa debe ser colocado en bolsa de polietileno y si se desea agregar azúcar (Lizana y Reginato, 1990), se puede utilizar como aditivo conservador; EDTA, ácido ascórbico y ácido cítrico para prevenir la oxidación, posteriormente se procesará como yogurt, en la producción de nieves y pasteles (Leal, 1990)

### **2.12. Cosecha del fruto**

La decisión sobre el momento de recolección del fruto es difícil, la falta de un índice de cosecha, conlleva a recolecciones fuera de tiempo, donde puede mermar las cualidades gustativas y finalmente el rechazo del consumidor.

### 2.12.1. Índice de cosecha

De acuerdo al estado de madurez del fruto, existen dos formas que puedan definir el tiempo de cosecha. Sin embargo la cosecha no puede estar definida en el tiempo de antesis, porque la floración puede ocurrir durante varios meses. De otra manera, la época de polinización manual puede alterar el tiempo de la cosecha (Pinto *et al.*, 2005). En este sentido, identificar, seleccionar y caracterizar los estados fenológicos del desarrollo y de la maduración del fruto, puede determinar el momento óptimo de recolección y parámetros que mejor estiman dicho momento en campo (Cerdas *et al.*, 2007).

#### 2.12.1.1. Color del fruto

El color de la cáscara puede ser una guía para la cosecha, sin embargo, el lugar de comercialización debe tomarse en cuenta. Para mercados locales los frutos deben cosecharse cuando la cáscara presente entre 20 y 40 % de color verde-amarillo; estos frutos cosechados maduraran en 4 a 6 días; para mercados distantes, de 10 a 20 %, estos frutos madurarán más tardíamente, sin problemas de calidad sensorial. Cuando la fruta se cosecha con más del 75 % de color verde-amarillo la fruta madurará de 1 a 3 días, mientras que las frutas cosechadas con menos del 5 % de color verde- amarillo, no madurarán satisfactoriamente, y se afectara su calidad sensorial (George *et al.*, 1987). Esta característica es una de las más usadas por el productor (Cerdas *et al.*, 2007). En algunos cultivares de chirimoya, el cambio de color no es muy notorio (Accorsi y Manica, 1994).

#### 2.12.1.2. Semilla separada de la pulpa

La separación de la semilla de la pulpa madura, aún con textura firme, ayuda para definir el tiempo adecuado de cosecha. Esta prueba se realiza sacudiendo el fruto cerca del oído y se escuchará un ligero sonido de la separación de la semilla de la pulpa madura (Farré, 2004).

#### 2.12.1.3. Textura de la cáscara

Otra característica presentada en frutos maduros de chirimoya es la textura de la cáscara, los carpelos muy pronunciados cuando inmaduros, estos se vuelven menos pronunciados, en cultivares como Fino de Jete las formas impresas de los carpelos casi desaparecen (Torres y Sánchez, 1992).

#### 2.12.2. Técnicas de cosecha

Los frutos de chirimoya deben ser cosechados y acolchados en cajas o cestas a fin de evitar daños mecánicos o magulladuras (Nakasone y Paull, 1998). Las cajas deben permanecer en la sombra y protegerse de la lluvia, el viento y el polvo (Accorsi y Manica, 1994).

Los frutos se pueden cosechar con tijeras de poda, dejando 0.5 a 1 cm del pedúnculo para evitar la pérdida de peso y enfermedades fungosas (Accorsi y Manica, 1994; Alves *et al.*, 1997). Si los frutos son cosechados jalando de las ramas, las ramas pueden dañarse, esto reducirá la producción de la próxima cosecha, las lesiones en frutos cosechados de manera brusca, pueden convertirse en puntos de entrada de podredumbre por patógenos (Calzavara y Müller, 1987; Torres y Sánchez, 1992; Mosca *et al.*, 1997).

La forma más común de cosecha es con la mano sin la utilización de tijeras, pero se recomienda no colocar la fruta en el suelo, tampoco se recomienda utilizar sacos para transportar la fruta cosechada, lo mejor es usar la caja plástica (Cerdas *et al.*, 2007).

### **2.13. Manejo poscosecha**

Desde la cosecha y después de esta, la chirimoya es muy susceptible a daños mecánicos, estos daños implican lesiones y cortaduras, magulladuras y la fricción entre cáscara provoca ennegrecimiento por heridas, para evitar estos daños, se requieren apropiadas

técnicas de manipulación poscosecha. Los frutos son muy delicadas, por lo que se recomienda una capa de frutas por caja para el almacenamiento y envío, Si tiene 2 o 3 capas entonces los frutos deben ser protegidos individualmente con materiales que amortigüen los golpes, estos materiales pueden ser papel o poliestireno (Calzavara y Müller, 1987). Una sola capa en cajas de 6 y 8 kg de frutos es lo más recomendado (George *et al.*, 1987; Accorsi y Manica, 1994). En la medida en que el fruto permanezca firme, es posible transportar a mercados distantes (Salunkhe y Desai, 1984; Coronel, 1994; Lucas, 1994). Un tratamiento de pre-enfriamiento antes de la transportación al mercado distante ayuda a la vida poscosecha de la chirimoya (George, 1984). También es muy importante realizar las técnicas de tratamientos asépticos de herramientas y contenedores, esto ayuda a prevenir a la poscosecha de chirimoya para evitar infecciones fungosas, plagas y otras enfermedades. Estas rutinas incluyen la inmersión de las tijeras de poda solución fungicida (benomil 1 g i.a. /l) después de cada fruta cosechada, para evitar la transmisión de enfermedades por hongos, principalmente *Lasiodiplodia theobromae* (Alves *et al.*, 1997; Mororó *et al.*, 1997). Investigadores como George *et al.* (1987) sugieren realizar una solución benomilo (0,5 g L<sup>-1</sup>) o guazatina solución (0,5 g L<sup>-1</sup>) de 50 a 52 °C durante 5 minutos. Procloraz solución (0,125 g i.a. /L) durante 1 minuto a 25 °C también proporciona un buen control de podredumbres fúngicas. Tratamientos inmersión más de 5 minutos pueden inducir lesiones en la cáscara, debido a las concentraciones químicas e interacciones. Aparentemente, la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporoides minor*), *Phomopsis annonacearum* y *Rhizopus stolonifer* también se evitan con tratamiento fungicida, pero más estudios con estas enfermedades son necesarias (George *et al.*, 1987).

Cuando el transporte se hace por caminos difíciles (con mucha pendiente, con huecos y otras irregularidades), es necesario que se giren instrucciones a quienes manejen los camiones para que lo hagan en forma lenta para evitar que las frutas se golpeen entre ellas y contra las paredes de las cajas, además de reducir un poco el impacto de las vibraciones (Cerdas *et al.*, 2007). Para el transporte a mercados distantes, Babu *et al.* (1990) sugiere la inmersión del fruto en 500 ppm de bevestin y colocarlos en bolsas de polietileno que contengan potasio permanganato potásico. Sin embargo, se debe señalar que ningún tratamiento químico puede ser una recomendación general, en la medida en que cada país tiene sus propias reglas acerca de las sustancias químicas permitidas para cada especie frutal.

La chirimoya tiene un alto contenido de una enzima llamada polifenoloxidasa, por lo que cuando la fruta sufre daños mecánicos como roces, desprendimiento de partes de la cáscara, magulladuras, rajaduras, etc., las células quedan en contacto con el aire y por acción de la enzima mencionada, se dan reacciones de oxidación que hacen que el tejido de la cáscara y la pulpa se oscurezca, afectando la apariencia (Cerdas *et al.*, 2007).

#### 2.13.1. Selección y clasificación

Tanto la selección como la clasificación se debe hacer con mucho cuidado, si se realiza sobre mesas de madera, estas deben estar limpias e higiénicas (se deben lavar con agua con cloro comercial en una solución de 3 ml de cloro por litro de agua) y colocar la fruta sobre estas con mucho cuidado. Se debe recordar que la cáscara de la fruta es muy delicada y cualquier manejo brusco va a repercutir en desprendimientos de partes de la cáscara y en

oscurecimiento de las lesiones que se causen. La anona debe ser seleccionada con el fin de eliminar la fruta que no cumple con los requerimientos del consumidor como puede ser:

- Muy pequeña o muy grande
- Fruta deforme
- Fruta con golpes, magulladuras • verde o muy madura
- Fruta con perforaciones de insectos
- Fruta con manchas negras
- Fruta con pudriciones

#### 2.13.2. Métodos de empaque

Una vez que se hayan realizado los tratamientos poscosecha que la fruta requiere, para alargar su período de vida útil, se procede a empacarla, nuevamente se enfatiza hacerlo cuidadosamente, porque la cáscara es sensible a los roces y a sufrir daño mecánico, aún más si tiene protuberancias en su cáscara, las cuales pueden variar según el tipo de anona.

Al respecto se pueden citar:

- Lisa, que no presentan protuberancias (relieves carpelares) o son poco aparentes.
- Impresa cuyas protuberancias o depresiones son suaves.
- Mammillata cuya cáscara es fuertemente reticulada con protuberancias muy sobresalientes, las cuales desaparecen en casi toda la fruta a la madurez.

- Tuberculata es un tipo de anona con la cáscara fuertemente reticulada y con marcadas protuberancias que se hacen más acentuadas al madurar.

- Umbonata que tienen la piel gruesa, con protuberancias pequeñas y puntiagudas.

### 2.13.3. Materiales de empaque

Se pueden usar varios tipos de empaques que presentan ventajas y desventajas, entre ellas pueden ser:

Cajas de plástico; Las cajas de plástico, son las que más comúnmente se usan presentan la ventaja de que si se manejan con cuidado duran mucho tiempo y se pueden reutilizar. Las más recomendables son las más bajas porque en ellas se coloca solo una capa de fruta y en las de mayor altura se colocan más capas lo que las puede afectar. Hay que tener cuidado de no sobrellenar las cajas para evitar que las que se coloquen encima dañen las anonas de la caja inferior. Estas cajas siempre tienen que estar limpias (Paull y Jung, 2000).

Cajas de cartón; estas cajas favorecen la presentación de la anona en el mercado pero tienen el inconveniente de que solo se pueden usar una vez. El número de frutas que se coloquen depende del tamaño de las mismas. Internacionalmente no existen estándares para los tamaños de las cajas que se utilicen, pero en las de cartón se coloca una capa de fruta y cada anona se rodea de papel encerado para evitar el roce de unas con otras. Hay cajas para 4 y 8 kg con 12 o 24 frutas respectivamente con pesos entre 250 a 600 g cada una (Paull y Jung, 2000).



## 2.14. Métodos de almacenamiento

Como los frutos de anona son muy perecederos y tienen una corta vida poscosecha, requieren técnicas de almacenamiento eficiente (Coronel, 1994). Las condiciones óptimas de almacenamiento para este género es de 15 y 16 °C con alta humedad relativa (HR) y su almacenamiento no debe exceder dos semanas (George *et al.*, 1987). Algunos cultivares de chirimoya pueden almacenarse de 7 a 10 días a 17 °C, sin embargo la maduración normal para estos frutos se produce generalmente entre 15 y 30 °C. Palma *et al.* (1993) sugieren 10 °C y 85 % de humedad relativa como las mejores condiciones de almacenamiento para los cultivares Campas y Fino de Jete, y el tiempo de almacenamiento óptimo varía de 15 a 21 días. Los frutos de chirimoya almacenados a 20 °C presentaron una disminución rápida en la fruta firmeza (Palma *et al.*, 1993; Lahoz *et al.*, 1993).

Debido a la diferencia de sensibilidad a la temperatura entre cultivares, una recomendación general para el almacenamiento de chirimoya sin riesgo de daño por frío es a 10 °C. El uso de bolsas de plástico o envoltura de plástico reduce pérdida de agua debido al mejor control individual de humedad relativa, y el uso del permanganato potásico impregnado en la bolsita de plástico o en interior del paquete retrasa el ablandamiento.

Los frutos maduros de chirimoya se pueden almacenar durante 5 días a 5 °C; y se pueden mantener 5 a 6 semanas en 4,4 °C, bajo estas condiciones, la pulpa permanece en buen estado, pero la cáscara se vuelve marrón y poco atractiva (Accorsi y Manica, 1994). Los frutos maduros podrán mantenerse a temperatura ambiente sólo por un día (Salunkhe y Desai, 1984; Coronel, 1994), mientras que frutos inmaduros si se almacenan a una

temperatura inferior a 15 °C desarrollan daños por el frío, lo que se traduce en un aspecto desagradable (Salunkhe y Desai, 1984; Tsay y Wu, 1989).

#### 2.14.1. Uso de atmosferas modificadas

En pruebas realizadas en frutas de chirimoya cv. Fino de Jete, con uso de atmosfera del 20 % de CO<sub>2</sub> a 20 °C durante 3 días, y al evaluar el efecto del tratamiento de CO<sub>2</sub>, el contenido de polifenoles se mantuvo constante, pero el contenido de lignina disminuyó rápidamente cuando las chirimoyas se colocaron en atmosfera normal. También se pudo observar que en el segundo día de almacenamiento, presentó un gran aumento de actividad de fenilalanina amonio-liasa (PAL). La máxima producción de etileno se observó 2 días más tarde. Estos datos sugieren que el tratamiento atmosfera controlada con CO<sub>2</sub>, inhibió la producción de etileno y que la actividad de PAL fue similar en comparación a un almacenamiento de atmosfera normal, entonces la actividad de PAL a 20 °C no se ve afectada por una atmosfera controlada con CO<sub>2</sub>.

El tratamiento con CO<sub>2</sub> inhibió el ablandamiento de la pulpa y mantuvo la lignina a los niveles que se dan en frutas recién cosechadas. La exposición a 20 % de CO<sub>2</sub> también inhibe el oscurecimiento de la pulpa provocado por la presencia de taninos que son parte de los polifenoles presentes (Muñoz *et al.*, 2001).

En otros estudios realizado en chirimoya ‘Fino de Jete’ con atmosferas modificadas de 20 % de CO<sub>2</sub> y 20 % de O<sub>2</sub>, con la finalidad de comprender el mecanismo enzimático de las propiedades reguladoras de Fosfoenol piruvato carboxilasa (PEPC) sobre pulpa y fotosintético en cáscara de fruta almacenada en ambientes de atmosfera sin modificación. Los resultados revelaron características especiales de alta velocidad cinética enzimática de

mesocarpio por la alta tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> por una respiración ceto-acida, con respecto a las frutas, almacenadas en atmosferas sin modificación. Estos valores cinéticos mostraron el incremento en la afinidad de la enzima hacia uno de su substrato, fosfoenol piruvato, por una elevada concentración de CO<sub>2</sub> externo, señalando al mismo tiempo un sistema de regulación enzimática mediante CO<sub>2</sub> (Muñoz *et al.*, 2001).

#### 2.14. 2. Uso de cubiertas poliméricas

En frutos de chirimoya, cuando a la fruta se aplicó un recubrimiento con poliowax, fue más resistente al daño por frío y redujo la respiración, la producción de etileno, e incrementó la vida poscosecha por 5 días más, evitó pérdida de peso y bronceado de la cáscara (Yonemoto *et al.*, 2002). Por otro lado, Plaza *et al.* (1993) sugirieron el almacenamiento del cultivar Fino de Jete en bolsas de polietileno a 8.5 °C y 98 % HR con 3.5 g KMnO<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> de frutos.

Chirimoyas ‘Fino de Jete’ almacenadas en películas o cubiertas de polietileno coextruido, cubiertas de zeolita (material mineral), a 12 °C y con humedad relativa del 90 a 95 % durante 4 semanas. Mantuvieron su calidad, la cual se perdió en las chirimoyas control desde la 2<sup>a</sup> hasta la 3<sup>a</sup>, (Melo *et al.*, 2001).

#### 2.14.3. Uso de permanganato de potasio

En almacenamiento de chirimoya, el uso de embalaje de plástico film y el permanganato de potasio, que sólo actúa en el exterior inhibiendo el gas etileno expulsados por la fruta durante el proceso de maduración prolonga la vida de la cosecha de frutos climatéricos (Pinto, 1975).

Otra de las ventajas de la solución de permanganato potásico es la posibilidad de disminuir lesiones en la fruta, manteniendo firmeza; además presenta más seguridad para el consumo, en comparación con otros productos utilizados para la conservación en poscosecha, lo cual puede provocar preocupación de los consumidores acerca de problemas alérgicos.

#### 2.14.4. Uso de ceras

El encerado de frutas es realizado para mejorar la apariencia, y en general, aumentar la vida de poscosecha. Lo cual se logra mediante la reducción de la transpiración e intercambio gaseoso y como la cera posee fungicidas en la formulación, permite también reducir el ataque por hongos, e incluso el daño por frío. Aplicaciones de cera a frutos de chirimoya ‘Concha lisa’ produjeron ablandamiento más acelerado que la fruta no encerada, esto en condiciones ambientales (Cerdas *et al.*, 2007). Sin embargo, si la fruta es almacenada previamente por 7 ó 10 días a 0°C, la pérdida de consistencia de la pulpa es anulada. Si la fruta es encerada, baja su resistencia de pulpa de 11.7 lbs a solo 10.6 lbs. La fruta de chirimoya encerada no alteró su contenido de SST con respecto a la no encerada, además la cera no produce respuesta en el pH de la fruta, pero sí en los valores de acidez. La cera permite aumentar la acidez en la fruta expuesta a temperatura ambiente y almacenada por tres días a 0°C, pero este efecto es anulado cuando la fruta es almacenada por 7 a 10 días a 0°C. Cuando la fruta encerada se deja a temperatura ambiente alcanza su mejor sabor y aceptabilidad después de cinco días, en cambio la que no fue encerada presenta un máximo sabor y aceptabilidad al tercer día (Videla, 2000).

La cera mejora el sabor y aceptabilidad de ‘Concha Lisa’ y además favorece el efecto del frío permitiendo que la fruta alcance valores más altos en su sabor y aceptación. La cera en la superficie de la fruta forma una cubierta protectora que permite reducir la superficie

dañada desde 40 % a 25 %, además mejora significativamente el aspecto externo durante los cinco días de comercialización. Se ha observado que el color de la semilla de la fruta encerada tiende a ser más oscuro que el de no encerada.

También se ha detectado que la pulpa no se deteriora fácilmente en cuanto a su color siempre y cuando sea sometida a periodos fríos. El color de la cáscara se incrementa a un tono amarillento, en relación a la fruta no encerada. Otra ventaja de las frutas enceradas es que no se deshidratan al grado de las no enceradas obteniéndose valores de 1.3 % y de 3.5 % de deshidratación respectivamente (Lizana e Irrázabal, 1984).

#### 2.14.5. Uso de refrigeración

En cuanto a los frutos de chirimoya no existen antecedentes claros en cuanto a temperaturas óptimas de almacenaje refrigerado. Así, se mencionan temperaturas de: 9, 12, 14, y 18°C. Para la variedad Bronceada se ha determinado una duración máxima de 28 días a 11 °C. La duración en almacenaje está limitada por la susceptibilidad a temperaturas más bajas que induce a alteraciones fisiológicas; las temperaturas óptimas encontradas reducen en algo la senescencia natural, pero hay proliferación de hongos. Es posible que de acuerdo al cultivar existe una respuesta distinta de susceptibilidad a almacenaje a bajas temperaturas (Alique y Oliveira, 1994). Esto podría determinar una selección de aquellas variedades que pueden resistir en mejor forma temperaturas más bajas de almacenaje por las ventajas que esto ofrece. También se han realizado estudios de refrigeración en variedad Concha lisa, puede almacenarse hasta 35 días a 7 °C y 85 a 90 % de humedad relativa con 2 días de pos-almacenaje para poder comercializarla. También puede mantenerse por 21 días en almacenaje a 7 °C o a 11 °C, con lo que se puede tener fruta con 6 y 3 días,

respectivamente, para comercializarla. Sin embargo el problema de formación de hongos está presente. Por la parte de la variedad Fino de Jete, no se encuentran temperaturas recomendadas para su almacenaje (Reginato y Lizana, 1980).

#### 2.14.6. Otras alternativas de conservación en poscosecha

Además de los sistemas antes mencionados, se ha buscado otras alternativas para el incremento de la vida poscosecha, entre ellos se mencionan las aplicaciones de hormonas, reguladoras de crecimiento y antioxidantes.

Las aplicaciones de citoquininas, bencil adenina y kitocinina se habían realizado principalmente a tejidos de hoja y secciones de tallo (Yahia e Higuera, 1992), después se demostró que estas sustancias retardaban la degradación de la clorofila y la senescencia de hortalizas (aplicación asperjada de los tres productos en concentración de 10 ppm). El efecto conjunto consiste en una retardación del amarillamiento por mantener un nivel elevado de proteína en el tejido en que se aplicó. Recientemente se ha estado utilizando como una alternativa para prolongar vida poscosecha en algunos frutos y hortalizas tales como lechuga (*Lactuca sativa*), limón (*Citrus limon*) y cerezas (*Prunus avium*), (Thimann y Laloraya, 2006). Es probable que la aplicación de estas hormonas en chirimoya pueda mantener el color verde y evitar el bronceado obscuro en la maduración final del fruto.

Los tratamientos de posrecolección con ácido giberélico (AG) retardan en forma marcada la maduración en tomates (*Solanum lycopersicum*), guayabas (*Psidium guajava*) y bananos (*Musa sapientum*), al reducir su tasa de respiración, con ello retardan el periodo climatérico y demoran el cambio de color. Sin embargo, en frutos de pera (*Pyrus comminis* L.) no se observó efecto alguno. Actualmente en los Estados Unidos, en el estado de California, se utiliza en limones y naranjas de la variedad 'Navel', ya que estos frutos se dejan en los

árboles más allá de su madurez normal. En los limones, retrasa la desaparición de la clorofila e incrementa la firmeza de la corteza. En la naranja (*Citrus aurantium L.*) demora la acumulación de carotenoides, también se observó el incremento de los SST y el contenido de ácido ascórbico en limones de la variedad Lesbon (Fidelibus *et al.*, 2002). Cuando se aplicó AG a naranjas ‘Valencia’ y a toronjas (*Citrus sp.*), no tuvo ningún efecto, investigaciones posteriores demostraron que el AG actúa cuando existe menor cationes monovalentes que divalentes y un contenido mayor de fósforo en su estructura (Monselise y Goren, 1987). Se observó incremento en las actividades de la peroxidasa y la catalasa en el flavedo de naranjas, tratadas con AG; esto generó un resultado de disminución de la hesperidina, y de azúcares reductores (Agustí *et al.*, 2008).

Las auxinas CIPA y ANA, a 25 ppm aplicadas foliarmente antes de la recolección en mandarinas (*Citrus unshiu*), retardaron su deterioro en almacenamiento; el efecto implicó menor deshidratación, y la conservación del contenido de vitamina C. Se aplicó también a ejotes (*Phaseolus vulgaris*) 4 días antes de la cosecha en una concentración de 50 ppm, en forma asperjada y se observó menor deshidratación ya que los no tratados se arrugaron (Rodrigues y Subramanyam, 2006)

Se ha probado retardadores de crecimiento, tales como hidrazina maleica (HM),  $\rho$ -quinona, la semicarbacida, 2-tiouracilo, fenilhidrazina y la hidracina del ácido isonicotínico. La HM se recomienda aplicado de 10 a 14 días antes de la cosecha en una concentración de 2,500 ppm hasta hoy se ha aplicado en productos como papa (*Solanum tuberosum*), cebolla (*Allium cepa L.*), rábanos (*Raphanus sativus*), e inhibe brotación de estos, además los azúcares reductores que contienen estos son retenidos. En fruta de zapote (*Diospyros*

*digyna*), aceleró el proceso de maduración, aumentó la tasa respiratoria e indujo a una tasa elevada de transpiración (Caldiz *et al.*, 1997).

Otros inhibidores metabólicos como cicloheximidina y actinomicina-D han impedido la maduración de las peras cuando se administra en la etapa inmadura, se ha reportado que con cicloheximidina se inhibió en forma severa el ablandamiento de la pulpa, la degradación de la clorofila y la síntesis del etileno (Gambetta, 2009).

El ácido málico en acetato de amilo retarda la maduración en algunos frutos, sin embargo esto es transitorio por que recientemente se ha detectado que el acetato de amilo tenía un efecto perjudicial sobre la cáscara de las frutas, conduciendo a infecciones fungosas por lo tanto no se recomienda usar este producto (Salunkhe *et al.*, 1974).

Las poliaminas son moléculas policatiónicas presentes en la planta, que actúan como fitohormonas, y regulan el desarrollo de estas. Las poliaminas predominantes en las plantas son diamina putrescina, la triaminaespermidina y la tetraminaespermina. Debido a su naturaleza policatiónica, puede unirse y estabilizar a polímeros ricos en cargas negativas como es el ADN, pero también a fosfolípidos y proteínas que están presentes en los frutos (Carbonell *et al.*, 2000).

Los jasmonatos representados por el ácido jasmónico y su esteroisómero, el ácido 7-isojasmónico y sus ésteres metílicos llamados metil jasmonatos (MeJA), están presentes en todas las plantas; con mayor actividad en tejidos en crecimiento como frutos inmaduros y extremos de raíces. Derivan del ácido linolénico (un ácido graso no saturado) liberado desde los fosfolípidos de membrana por acción de lipasas. El ácido linolénico, por una serie de pasos que incluyen lipoxidación, ciclización y  $\beta$ -oxidación se transforma en el (+) ácido



7-isojasmónico, que en condiciones naturales se isomeriza y transforma en ácido jasmónico. Los jasmonatos en general, en frutos maduros, promueven la biosíntesis del etileno y la degradación de la clorofila; aumentan la resistencia de los frutos a la infección de patógenos, activan la expresión de genes que codifican para la biosíntesis de inhibidores de proteinasas, las lipogenasas como la fenilalanina-amonio-liasa (PAL) y chalcona sintetasa. Estas proteínas intervienen en la defensa de vegetales contra patógeno, herbívoro y estrés físico y químico. Las plantas al ser atacadas por herbívoros liberan un polipéptido, la sistemina, que es transportada por el floema a las hojas distales donde activa una lipasa en las células receptoras de membrana, esta lipasa genera un incremento del ácido linolénico, precursor del ácido jasmónico, que induce a los genes productores de proteínas de defensa (Soberón *et al.*, 2006).

Existen otras alternativas poscosecha en el uso de antioxidantes químicos obtenidos por síntesis orgánica y otros naturales, que se han estado probando recientemente para protección de la oxidación de la membrana celular; entre los cuales se encuentran: (BHT) butil hidroxitolueno, (BHA) butil hidroxianisol, (TBHQ) terbutil hidroxiquinona, y (PG) propil galato. Sobre estos son pocos los trabajos realizados, el más probado en frutos maduros es el BHT, donde se reporta que inhibe la decoloración de los frutos. Otros antioxidantes naturales, como ácido ascórbico, antocianinas, epicatequina, procianidina y resveratrol, han mostrado ser excelentes antioxidantes presente en ciertas frutas. La epicatequina y la procianidina, no solamente tienen las propiedades de ser excelentes antioxidantes, además tienen la cualidad de ser secuestrantes de los radicales libres que promueven la oxidación (Sun *et al.*, 2010).

#### 2.14.6.1 Bencilaminopurina (BAP)

La 6-BAP es un regulador de crecimiento de las plantas de la clase de citoquininas, su solubilidad en agua es  $60 \text{ mg k}^{-1}$ . Es absorbido a través de las semillas germinadas, raíces, hojas y frutos; Promueve la división celular, el crecimiento y elongación de las células, la germinación de semillas, induce el crecimiento nuevos brotes en dormancia e inhibe el proceso de envejecimiento de las hojas. Las citocininas están involucrados en el control y regulación de la maduración de los frutos (Giovannoni, 2001). La 6-Bencilaminopurina reduce la senescencia vegetal en hojas de tabaco transgénico (*Nicotiana tabacum*) (Wingler *et al.*, 1998); además, limita la degradación de pigmentos y proteínas fotosintéticas, y mantiene el equilibrio hídrico de los tejidos en trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) (Costa *et al.*, 2005; Zavaleta-Mancera *et al.*, 2007).

La aplicación de BAP en poscosecha de brócoli (*Brassica oleracea*) disminuyó la tasa de respiración en relación al control (Rushing, 1990), y retrasó el amarillamiento de la flor (Zhu *et al.*, 2004; Zaicovski *et al.*, 2008). En plátano (*Musa paradisiaca*) una dosis de 1 mM BAP retuvo la clorofila y la deshidratación en la cáscara durante la maduración (Aghofack y Manka'abiengwa, 2012).

#### 2.14.6.2. Resveratrol (RVS)

El resveratrol es un compuesto fenólico cuya fórmula estructural presenta dos formas isoméricas, cis y trans. El trans-resveratrol fue encontrado en el vino por primera vez en el año 1992 por Siemmany Creasy, y en el año 1993 se describió la presencia de su isómero cis (Jeandet *et al.*, 1993, Gonzalo *et al.*, 1995). El resveratrol es una fitoalexina y constituye una de los 300 salvestroles de las plantas. Su apariencia es de un polvo blanco en un leve

tono amarillo, masa molecular:  $225.25 \text{ g mol}^{-1}$ , punto de fusión:  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , solubilidad:  $0.03 \text{ g l}^{-1}$  de agua. En plantas, el resveratrol es un componente que se encuentra fundamentalmente en la cáscara y en la semilla de la uva negra y pasa a los vinos durante la fermentación (Bujanda *et al.*, 2006). Su consumo se ha asociado a reducir infertilidad masculina y/o la sub-fertilidad masculina en mamíferos (Jeandet, 1993).

Este polifenol se ha empleado en la agricultura. La aplicación externa de resveratrol en concentración  $1.6 \times 10^{-4} \text{ M}$ , a frutos de manzana (*Malus comunis* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.), tomates (*Solanum lycopersicum*), pimiento (*Capsicum annuum*), fresa (*Fragaria vesca*) y uva (*Vitis vinifera*) incrementó la calidad sensorial, vida de almacenamiento y calidad nutricional. Cherukuri *et al.* (2007) aplicaron resveratrol más un fungicida disueltos en agua potable a frutos de mandarina (*Citrus unshiu*) y, después que los frutos fueron almacenados durante 12 semanas a  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $95 \%$  de humedad relativa, observaron que el color de la cáscara fue retenido cuando se aplicó resveratrol a una concentración de  $1.6 \times 10^{-5} \text{ M}$ . Se explicó que el contenido total de carotenos de los frutos fue significativamente afectado por el RVS. Estos resultados mostraron que el resveratrol afecta positivamente en el tratamiento poscosecha incrementando la vida de almacén, calidad nutricional del fruto de mandarina. Por otro lado, la aplicación de  $1.6 \text{ mM}$  de RVS aplicado a 8 y 15 días antes de la cosecha a frutos de chirimoya ‘Fino de Jete’ y ‘Bronceada’, redujo la tasa de ablandamiento en  $54$  y  $78 \%$  respectivamente después de 15 días de almacenamiento (Morales *et al.*, 20014).

## 2.15. Cambios fisiológicos en poscosecha del fruto

### 2.15.1. Etileno y respiración

A medida que los tejidos vegetales envejecen existe un decremento en la tasa de respiración; sin embargo, en algunas frutas muestran en el tiempo un súbito incremento en la actividad metabólica y en la tasa de respiración, este fenómeno recibe el nombre de climaterio. Los frutos de chirimoya son clasificados como climatéricos y presentan aumento de la actividad respiratoria y de la producción de etileno durante la maduración (Alves *et al.*, 1997). Su producción de etileno se considera alta en función que es mayor a  $100 \mu\text{l kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ , similar a muy alta ( $>100.0$ ) en este rango se encuentra la chirimoya, mamey, níspero y zapote.

En chirimoya, la producción de etileno es un evento tardío, la maduración está asociada con ablandamiento del fruto, incremento de sólidos solubles y acidez titulable. Es un fruto con alta producción de etileno, y a la vez es muy sensible al etileno producido por otras frutas de la misma u otras especies; por consiguiente no se debe almacenar con frutas muy maduras si se requiere que la maduración sea más lenta. La tasa de producción de etileno en chirimoya va de 100 a  $300 \mu\text{l kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  (Cerdas *et al.*, 2007). Entretanto, al contrario de la mayoría de los frutos de la familia anonacea, la chirimoya y atemoya presenta dos máximas de actividad respiratoria (Brown *et al.*, 1988; Lizana y Reginato, 1990; Martinez *et al.*, 1993; Palma *et al.*, 1993).

Como las anonas presentan frutos compuestos, constituidos por el desarrollo agregado de múltiples carpelos, se ha pensado inicialmente que los dos máximos de respiración puede ser atribuido a diferencias en las edades fisiológicas de los tejidos de los diferentes carpelos en

desarrollo (Biale y Barcus, 1970; Paull, 1982). Pero, estudios realizados por Bruinsma y Paull (1983) han indicado que el aumento respiratorio inicial se debía al aumento en la respiración mitocondrial promovido de un incremento en el suministro de sustratos carboxilados, inducido, probablemente por el acto de la cosecha.

Además, producción de etileno generalmente sólo empieza a ser detectada cuando ya ocurrió el primer pico de CO<sub>2</sub> (Paull, 1982; Bruinsma y Paull, 1983; Worrel *et al.*, 1994; Lima *et al.*, 2003). En frutos climatéricos, en general, el máximo respiratorio es precedido, o coincide con el máximo de etileno (Alves *et al.*, 1997).

El proceso de maduración se produce durante la respiración climatérica, con algunas modificaciones en la composición química de notables cambios en el sabor y la disminución en la firmeza de la pulpa (Mosca *et al.*, 1997). La chirimoya presenta climaterio 5 días después de la cosecha, y un segundo después de 10 días, en este periodo, los frutos alcanzan su máxima expresión sensorial (Kosiyachinda y Young, 1975). En el cultivar Fino de Jete, Martínez *et al.* (1993) demostraron una coincidencia temporal entre producción de etileno y alteraciones fisicoquímicas. La alta producción de etileno se observó en temperaturas de 15 a 20 °C y fue disminuido en 30 a 35 °C; el número de días requerido para la maduración del fruto en temperaturas de 15 a 20 °C fue de 9 a 11 días, la óptima temperatura de maduración fue de 15 a 20 °C.

#### 2.15.2. Cambios hídricos.

El agua juega un papel muy importante en la maduración y senescencia de la chirimoya. De acuerdo a Nagarajan *et al.* (1993), el tiempo de ablandamiento longitudinal es el mejor indicador del estado de agua, ya que proporciona información sobre los contenidos y la

disponibilidad. El valor del tiempo de ablandamiento transversal generalmente no determina para inferir el contenido de agua, pero se ha observado que existe una buena correlación entre el tiempo de ablandamiento longitudinal y el contenido de agua libre (McFall *et al.*, 1990). La forma de medir el contenido y dinamismo de la interacción del agua en fruta de chirimoya durante la maduración es mediante imagen de resonancia magnética y escaneo de diferencial calorimétrica. Por consiguiente, la determinación del estado de agua en los tejidos de la fruta deberían ser excelentemente aprovechados para un análisis integral de los cambios bioquímicos y metabólicos que ocurren en el curso de maduración (Goñi *et al.*, 2009).

### 2.15.3. Cambio de azúcares y ácidos orgánicos.

En la mayoría de las plantas, el almidón es el principal carbohidrato de reserva (Jenner, 1982). En los frutos u órganos de almacenamiento, el almidón se acumula en los amiloplastos, en los cuales se forma después de la translocación de sacarosa u otro carbohidrato proveniente de las hojas (Salisbury y Ross, 1994).

En la mayoría de los frutos climatéricos, como la chirimoya, el carbono se almacena durante el desarrollo del fruto en forma de almidón para ser hidrolizado después de la cosecha, produciendo sacarosa y posteriormente convertido a glucosa y fructosa por acción de la invertasa (Sola *et al.*, 1994). Durante la maduración de chirimoya ‘Fino de Jete’, las paredes celulares se degradan y al mismo tiempo ocurre hidrólisis masiva de almidón. Un análisis de microscopía de barrido revela que las células del mesocarpio están completamente ocupadas con almidón inmediatamente después de la cosecha, pero conforme avanza la maduración los gránulos de almidón se van reduciendo por completo al

término de seis días. La concentración en el tejido se redujo desde  $120 \text{ mg g}^{-1}$  al momento de cosecha hasta cero al día cuarto después de la cosecha (Sola *et al.*, 1994). En otro estudio realizado también en ‘Fino de Jete’ por Martínez *et al.* (1993), el contenido de almidón también declinó drásticamente desde  $40.9$  a  $20.7 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  al primer y segundo día de la cosecha. Después la degradación se mostró más lenta alcanzando concentraciones de  $4.9 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  al quinto día después de la cosecha, al mismo tiempo se observó incremento en la concentración de azúcares indicando la hidrólisis de almidón en azúcares durante la maduración.

Los principales azúcares presentes en frutos son sacarosa, glucosa y fructosa, siendo de manera general los productos tropicales y subtropicales los que contienen mayor cantidad de azúcares que los templados (Willis *et al.*, 1998). La glucosa y fructosa están distribuidas en todo el fruto, mientras que la sacarosa solo está presente en aproximadamente dos tercios de éste. La chirimoya difiere de algunos otros frutos en la proporción de azúcares solubles, después del incremento pasajero de sacarosa, ésta se hidroliza por acción de la invertasa produciendo glucosa y fructosa (Gutiérrez *et al.*, 1994).

En estudios realizados en ‘Fino de Jete’ y ‘Bronceada’ por Morales *et al.* (2014), cuando a los frutos se les aplicó resveratrol 8 y 15 días antes de la cosecha en dosis; 0, 0.016, 0.16 y 1.6 mM, existieron diferencias en los contenidos de azúcares reductores por las particularidades intrínsecas de cada cultivar. Los frutos de ‘Fino de Jete’ al primer día después de cosecha, presentaron mayor contenido de azúcares reductores que los frutos de ‘Bronceada’. En ambos cultivares, al séptimo día después de cosecha, los azúcares reductores se incrementaron al doble en relación al primer día de cosechados; y, a los 15 de cosechados, este incremento continuó en menor cantidad, hasta alcanzar valores promedios

de 16.5 y 15.5  $\mu$  del peso fresco, respectivamente, para 'Fino de Jete' y 'Bronceada', respectivamente.

Con la aplicación de 1.6 mM de resveratrol 8 días antes de la cosecha, en los frutos de 'Fino de Jete' a los 15 de cosechados se observó la única diferencia estadística, con menor cantidad de este metabolito en relación, exclusivamente, al control (0 mM de resveratrol). Esta diferencia fue del 2 %, lo cual implica una menor dulzura por la aplicación de 1.6 mM de resveratrol y posiblemente sea explicada por un efecto inhibitor o retardante del proceso de maduración de este estilbeno sobre las chirimoyas. En 'Bronceada' fue menor la cantidad de azúcares reductores en los frutos tratados con 1.6 y 0.16 mM de resveratrol en relación a los otros dos tratamientos, solamente en el primer día después de cosechados y en los frutos tratados 8 días antes de la cosecha. Posiblemente las diferencias genéticas de los cultivares explique que resveratrol afectó ligeramente la calidad de pulpa solo en 'Fino de Jete'.

En chirimoya, en la cual se observó un incremento de la acidez titulable durante la maduración (Palma *et al.*, 1993; Merodio y De la Plaza, 1997) el ácido málico es el que contribuye en mayor proporción al incremento de acidez (Paull *et al.*, 1983; Wills *et al.*, 1984; Merodio y De la Plaza, 1997). Estudios histológicos indican la presencia de grandes vacuolas en tejido de chirimoya que puede actuar como reservorio temporal del ácido málico sintetizado. En chirimoya 'Fino de Jete' se encontraron incrementos considerables en el contenido de ácidos orgánicos al tercer día después de cosechados, proporcionando características sensoriales ácidas del fruto y contribuyendo al descenso del pH. En estudios más específicos de acidez, se reportó que la chirimoya 'Fino de Jete' muestra un metabolismo activo de malato conectado con alta acidez titulable y bajo valor de pH



citoplasmático inmediatamente después de la cosecha, y al primer día se observó ligera caída de acidez titulable asociado a la reducción de síntesis de ácido málico y alcalinización del pH citoplasmático (Merodio y De la Plaza, 1997).

En estudios realizados en cultivar 'Fino de Jete', al momento de ser cosechados se obtuvieron valores de 293.8 mg kg<sup>-1</sup> de ácido ascórbico y 15 días después de cosechados disminuyó a 141.4 mg kg<sup>-1</sup>. De la misma manera la disminución de ácido ascórbico fue de 294.8 a 165.2 mg kg<sup>-1</sup> en chirimoya 'Bronceada'. Los resultados obtenidos en estos estudios se observó un decremento de hasta 52 y 56 % de ácido ascórbico para 'Fino de Jete' y 'Bronceada' respectivamente desde el primer día después de cosechados hasta 15 días de almacenamiento (Morales *et al.*, 2014).

#### 2.15.4. Daños por frío.

El daño por frío, es un daño fisiológico permanente e irreversible a los tejidos vegetales, órganos o células. Los daños por frío en el almacenamiento de frutas, se pueden clasificar en dos grandes grupos: los daños por frío al someter el producto a temperaturas cercanas pero superiores a su punto de congelación, y daños por congelación. Normalmente, los frutos traen un microempaque natural constituido por el pericarpio, la cual les sirve de protección y regula factores tan importantes como el intercambio de gases metabólicos, transpiración de humedad, volatilización de compuestos aromáticos y resistencia los daños por frío (Barreiro y Sandoval, 2006). La tolerancia al daño por frío viene determinada principalmente por la capacidad para evitar alteraciones en la estructura y conformación de las membranas celulares mediante cambios en la composición de las biomembranas y acumulación en el citosol de moléculas osmoprotectoras y crioprotectoras que actúan manteniendo el turgor y protegiendo las macromoléculas y estructuras celulares. En

chirimoya, el tratamiento con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> por 3 días incrementa la tolerancia al daño por frío durante la conservación a bajas temperaturas retrasan los daños por frío causados en este fruto por la conservación a bajas temperatura (Merodio y De la Plaza, 1997; Maldonado *et al.*, 2002). Aunque numerosos cambios bioquímicos han sido correlacionados con el aumento en la tolerancia al daño por frío aún no se ha establecido cuál de ellos son adaptaciones a las bajas temperaturas y cuales desempeñan un papel funcional en la resistencia a la conservación a bajas temperaturas.

#### 2.15.5. Oxidación y oscurecimiento de cáscara y pulpa

El oscurecimiento enzimático tiene lugar en muchos tejidos vegetales, cuando el tejido vegetal es cortado, golpeado o aplastado, existe una disrupción a nivel celular y una exposición de los sustratos de tipo fenólico al oxígeno del aire, siendo convertidos por vía enzimática a melaninas, que son compuestos oscuros de color marrón y caracterizan a este tipo de oscurecimiento. Existen diversos tipos de compuestos fenólicos en la frutas que pueden actuar como sustrato para la reacción de oscurecimiento enzimático, entre los cuales se pueden citar; L-tirosina, catecol, ácido cafeico, ácido clorogénico, 3-4, dihidroxifenilalanina, ácido gálico, floroglucinol, hidroquinonas, antocianinas, flavonoides, ácido protocatecuico, guayacol y ácido felúrico, entre otros (Artés y Artés-Hernández, 2003). La reacción de oscurecimiento se desarrolla con la conversión de un compuesto fenólico presente en el tejido vegetal en una quinona. Este tipo de oscurecimiento se suele dar en epicarpio, pulpa, jugos, concentrados y vegetales deshidratados. Las fenolasas se conocen con diversos nombres, tales como polifenol oxidasa, fenolasas, polihenolasas y polifenolasas (Barreiro y Sandoval, 2006).

El oscurecimiento en frutos se puede controlar o reducir empleando cualquiera de las técnicas para inactivar enzimas o para reducir su actividad; tratamiento térmico o escaldado, aplicación de compuestos azufrados, remoción de oxígeno como empacado al vacío, aplicación de ácidos y reducción del pH, reducción de temperatura y uso de boratos como ácido bórico (Barreiro y Sandoval, 2006).

La chirimoya es una fruta atractiva para ser usado en alimentos procesados, sin embargo una vez cosechada y almacenada a temperatura ambiente, se oscurece rápidamente. El proceso del oscurecimiento por proceso enzimático dificulta el almacenamiento y la industrialización de esta fruta. La principal enzima responsable del bronceado, es la polifenol oxidasa (PPO). La PPO inicialmente cataliza la hidroxilación de monofenoles a o-difenoles a través de la actividad cresolasa-monofelasa y la subsiguiente oxidación de aquellos o-difenoles para los correspondientes o-quinones por la actividad de catecolasa-difenolasa. Las quinonas formadas parecen interactuar con compuestos similares formando pigmentos negro, marrón y rojos, este fenómeno puede ser interpretado como una respuesta de estrés de los tejidos vegetales. Se han realizado estudios de aislamiento y caracterización de bronceado enzimático en chirimoya de origen español, encontrándose que precisamente la monofelasa y difenolasa son los sitios del desencadenamiento del bronceado de la chirimoya. Estas investigaciones han permitido definir el destino del uso de estos frutos (Prieto *et al.*, 2007)

#### 2.15.6. Enzimas que intervienen en la degradación del fruto

La progresiva pérdida de firmeza en los frutos es consecuencia de la maduración normal, desde el preclimaterio hasta el posclimaterio, esta pérdida está relacionada con; liberación del agua ligada y desintegración del tejido, la cual está estrechamente relacionada con la

alteración enzimática de la laminilla media y pared celular compuestos por polisacáridos como almidón, pectinas, celulosa y hemicelulosa debido a acciones enzimáticas (Proctor y Miesle, 1991; Salisbury y Ross, 1994) y también en cambios en la permeabilidad de la membrana y la cantidad de espacios intercelulares. El principal fenómeno relacionado con el ablandamiento es la solubilización progresiva y despolimerización de las sustancias pécticas de la pared celular. Las pectinas solubles son modificadas y despolimerizadas bajo la acción de algunas enzimas pectinolíticas como: pectinesterasa (PE), pectatoliasas (PEL), poligacturonasa (PG) y la actividad celulolítica (CEL) (Shaw *et al.*, 1998).

#### 2.15.6.1. Pectinmetilesterasa (PME)

PME ha sido consecuentemente relacionada con la degradación de las sustancias pécticas de la laminilla medianera de la célula, componente de la pared celular que actúa como agente cementante o ligando entre las células y puede también controlar los movimientos de materiales solubles (Carpita y Mc Cann, 2000).

En análisis de la actividad enzimática relacionados con el ablandamiento del fruto en saramuyo (*A. squamosa* L.), reveló que la actividad de PME disminuyó durante la maduración, siendo significativamente mayor en el primer día después de la cosecha (183.6 mg metoxilos g<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>). Estos resultados permiten sugerir que los cambios en textura de los frutos de saramuyo están controlados inicialmente por una elevada actividad de PME que favorece la desesterificación de las pectinas y prepara el sustrato para la hidrólisis que posteriormente efectuará la enzima poligalacturonasa (Bolívar-Fernández *et al.*, 2009).

#### 2.15.6.2. Poligalacturonasa (PG)

La PG es otra enzima involucrada con la degradación de las sustancias pécticas y como se ha descrito anteriormente en PME, que en los frutos en maduración la PME prepara la pared para la hidrólisis a ser ocasionada por el efecto de la PG, la cual ataca los residuos pécticos desmetilados (Gray *et al.*, 1994). Carrington *et al.* (1993) mencionan que la principal responsable de la solubilización total de las pectinas insolubles es la PG conllevando de esta manera al ablandamiento del fruto por cambios en la estructura de la pared. Se ha encontrado que la enzima PME incrementa su actividad en el estado preclimaterio observado en diversos frutos; la PG no es detectada en este estado pero sí en el climaterio (maduro), disminuyendo después de éste. La actividad de la celulasa se incrementa en forma gradual y al mismo tiempo que la PME (Paull y Chen, 1983).

En estudios realizados en frutos de saramuyo la actividad de PG aumentó con la maduración, al cuarto día después de la cosecha, con una actividad de  $0.55 \mu\text{M ml}^{-1} \text{ min}^{-1}$  (Bolívar-Fernández *et al.*, 2009).

### **III MATERIALES Y METODOS**

El presente trabajo se dividió en 3 secciones y se presentan de esta manera en la sección de resultados y discusión.

4.1 Efecto de resveratrol en frutos de chirimoya bajo simulación de transporte.

4.2 La 6-bencilaminopurina inhibe el bronceado en cáscara de chirimoya 'Fino de Jete'.

4.3 Pre-harvest treatments white resveratrol plus benzylaminopurine helps to preserve postharvest quality in chirimoya (*Annona cherimola* Mill.).

## IV. RESULTADOS.

### 4.1 Efecto de resveratrol en frutos de chirimoya bajo simulación de transporte.



Texcoco, Estado de México, 07 de abril de 2015  
Ref.: 765-15

**DR. OMAR FRANCO MORA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**  
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**PRESENTE:**

Por medio de la presente se hace constar que el manuscrito titulado: **“Efecto del resveratrol en frutos de chirimoya bajo simulación de transporte”** del cual son autores(as): **Aaran Aquilino Morales Pérez, Omar Franco-Mora, Álvaro Castañeda-Vildólzola y Edgar Jesús Morales-Rosales**, fue aceptado para ser publicado en el Vol. 7 Núm. 1 01 de enero-14 de febrero de 2016 en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

Atentamente

**DRA. DORA MA. SANGERMAN-JARQUÍN**  
**EDITORA EN JEFA DE LA REVISTA**  
**MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

c.c.p. \* Archivo  
DMSJ/mdpg

Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México, C. P. 56250  
E-mail: revista\_atm@yahoo.com.mx. Tel. y Fax: 01 595 9212681

# **EFFECTO DEL RESVERATROL EN FRUTOS DE CHIRIMOYA BAJO SIMULACIÓN DE TRANSPORTE**

## **EFFECT OF RESVERATROL IN CHERIMOYA FRUIT UNDER SIMULATION TRANSPORT**

**Aaran Aquilino Morales Pérez<sup>1</sup>, Omar Franco-Mora<sup>2\*</sup>, Álvaro Castañeda-Vildólzola<sup>2</sup>, Edgar Jesús Morales-Rosales<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Programa doctoral en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario “El Cerrillo” Piedras Blancas. C. P. 50000, Toluca, Estado de México. <sup>2</sup>Laboratorio de horticultura, Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas. Tel.y/o fax: (01) 7222965518 Ext.148. (aram\_morper@yahoo.com.mx; acastanedav@uaemex.mx; ejmoralesr@uaemex.mx;). \*Autor para correspondencia: francom@uaemex.mx.

### **RESUMEN**

Una vez cosechada, la chirimoya madura para consumo en 3 a 7 d, en ese periodo se ablanda y se daña con el manejo poscosecha y la transportación. El resveratrol (RVS) ha demostrado reducir la tasa de ablandamiento de chirimoya. En este trabajo, para minimizar los daños por manejo poscosecha y transportación, se aplicó 0 o 1.6 mM de RVS en chirimoya ‘Fino de Jete’ a los 8 o 15 d antes de la cosecha (DAC). Se simuló manejo poscosecha y transportación y los frutos se almacenaron a temperatura ambiente (TA) entre 15 y 20 ° C. Después de 15 d de almacenamiento, los frutos tratados con 1.6 mM RVS 15 DAC presentaron menor ( $p < 0.05$ ) deshidratación (7.4 %); la cinética del peso fresco no fue diferente cuando se aplicó 0 o 1.6 mM RVS a 8 DAC. Con una dosis de 1.6 mM de RVS se redujo ( $p < 0.05$ ) la pérdida de firmeza del fruto (7.5 y 5.7 %) y cáscara (9 y 3 %) en ambas fechas de aplicación en relación al control.



**Palabras clave:** *Annona cherimola* Mill., climatérico, daños mecánicos, manejo poscosecha, transportación.

## **ABSTRACT**

A harvested mature cherimoya fruit becomes ripe in three to seven days, it softens and might be damaged during the postharvest handling and transport. Resveratrol (RVS) has reduced the cherimoya fruit softening rate. This work was performed aiming to minimize the damage due to handling and transport; it was applied 0 or 1.6 mM of resveratrol (RVS) in chirimoya 'Fino de Jete' at 8 or 15 days before harvest (DBH). Then, a simulation of postharvest handling and transportation was performed and fruit were stored in temperatures between 15 and 20 °C (TR). After 15 days of storage at TR, the fruits treated with 1.6 mM RVS 15 DBH had lower ( $p < 0.05$ ) dehydration (7.4 %) than control; but the same dose at 8 DBH did not affect the fresh weight. The fruit treated with 1.6 mM RVS generated lower ( $p < 0.05$ ) firmness lost of the fruit (7.5 and 5.7 %) and peel (9 y 3 %) on both dates, that is 15 and 8 DBH, in relation control, respectively.

**Key Words:** *Annona cherimola* Mill, climacteric, mechanical damage, postharvest handling, transportation.

La chirimoya (*Annona cherimolla* Mill.) cosechada tarda de 3 a 7 d en madurar (González *et al.*, 2010) y se vuelve blanda y delicada para su manejo poscosecha y transportación. Los daños mecánicos son consecuencia de técnicas inapropiadas de cosecha, manejo y transportación y generan severos defectos de calidad (Martínez-Romero *et al.*, 2007), además, su incidencia ocurre en una época de severos cambios fisiológicos y morfológicos intrínsecos del fruto i.e. incremento en la tasa respiratoria y de producción de etileno, reacciones enzimáticas, síntesis de sacarosa, etc. (Chonhechob *et al.*, 2009). Los daños mecánicos principalmente son producto de la abrasión entre frutas y materiales adjuntos (piedras, tallos e insectos), impactos con otros frutos (Ericsson y Tahir, 1996) y prolongadas vibraciones durante la transportación (Armstrong *et al.*, 1995).

Particularmente, en esta especie se reportan pérdidas hasta 39.3 % por efectos de daños mecánicos en el manejo y transporte (Cerdas *et al.*, 2007), los daños pueden o no ser visibles y, ambos, reducen la vida poscosecha (Vergano *et al.*, 1992) y originan pérdidas económicas.

En trabajos previos, se encontró que RVS, que es un polifenol que promueve la lignificación de la pared celular (Van Buren, 1986), y favorece la protección contra agentes bióticos y abióticos (Anterola y Lewis, 2002), disminuyó la tasa de ablandamiento del fruto de chirimoya ‘Fino de Jete’ y ‘Bronceada’, sin afectar su calidad en color de cáscara y pulpa, olor, sabor, contenido de azúcares reductores y ácido ascórbico (Morales *et al.*, 2104). Con este antecedente, el objetivo del presente trabajo fue confirmar el efecto benéfico del RVS al disminuir la tasa de ablandamiento en chirimoya ‘Fino de Jete’ ahora bajo condiciones simulados de manejo poscosecha y transporte.

Las chirimoyas ‘Fino de Jete’ del ciclo de cultivo 2011 fueron cosechados de árboles de 13 años, en el Centro de Investigación Científico y Tecnológico del Estado de México (CICTAMEX) Fundación Salvador Sánchez Colín, ubicado en Coatepec Harinas, México a 18° 46’ 38” N, 99° 46’ 38” O y a 2240 msnm. Los frutos de la parte basal y media de seis arboles fueron tratados con RVS, esto con un pincel aplicando la solución directamente al fruto (Morales *et al.*, 2014). Así, en cada árbol se tuvieron 4 tratamientos, a saber, frutos con 0 o 1.6 mM de RVS, aplicado a 8 o 15 días antes de la cosecha (DAC). Una vez que los frutos se cosecharon, los mismos se envolvieron en papel kraft y se transportaron al laboratorio de Horticultura de la Universidad Autónoma del Estado de México.

El equipo simulador de transporte se diseñó con plataforma de 0.48 x 0.40 m con capacidad de carga de 30 kg, equipado con motor Daycon Modelo 3M137B de 1/10 HP, adecuado con movimiento oscilatorio y trepidatorio, con ciclos repetitivos de 27 movimientos por min y vibraciones de 0.8 hertz. Los frutos, colocados a granel en caja plástica, fueron sometidos a simulación de transporte por 2 h. Después, cada tercer día, desde 1 d después de la cosecha (DDC) hasta 15 DDC, se determinó pérdida de peso y firmeza del fruto y de la cáscara de las chirimoyas

(Morales *et al.*, 2014), variables biofísicas que pudieran verse afectadas por los daños mecánicos de manejo poscosecha y transporte. Para la determinación de estas variables se emplearon 10 frutos por día, uno por repetición, en cada tratamiento. El análisis de datos fue en un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) usando el software SPSS versión 19.

La aplicación 15 DAC de 1.6 mM RVS redujo ( $p < 0.05$ ) la tasa de pérdida de peso, solo a los días 5, 13 y 15 de almacenamiento (Cuadro 1), al compararlo con 0 mM RVS. Mientras que la aplicación a 8 DAC de 1.6 mM RVS no generó diferencia en relación a su control por fecha. Estos datos no son consistentes para proponer a RVS como un reductor de la tasa de pérdida de peso en chirimoya, lo cual coincide con lo reportado en chirimoya ‘Fino de Jete’ y ‘Bronceada’ (Morales *et al.*, 2014). Es decir, no se observó un efecto reductor de la transpiración y deshidratación en frutos de esta especie.

A la cosecha, los frutos tratados 8 DAC fueron menos firmes que aquellos tratados a 15 DAC, independientemente de la dosis de RVS. Podría sugerirse que a mayor tiempo de exposición a RVS, la firmeza del fruto en la cosecha fue mayor. Posteriormente, los frutos tratados con 1.6 mM de RVS fueron más firmes que su respectivo control para cada fecha de aplicación (Cuadro 2), esto de manera consistente a partir de 7 y 5 DDC, para la aplicación a 8 DAC y 15 DAC, respectivamente. Al final del almacenamiento, 1.6 mM de RVS evitó el ablandamiento por daño de simulación de manejo y transporte en 7.5 y 5.7 % para 15 y 8 DAC, respectivamente. En chirimoya ‘Fino de Jete’ y ‘Bronceada’ sin simulación de transporte, cuando se aplicó 1.6 mM a 15 DAC se redujo el ablandamiento hasta 78 y 54 % al final de 15 días de almacenamiento (Morales *et al.*, 2014). En este trabajo, no se observó esta magnitud de reducción de ablandamiento del fruto con 1.6 mM RVS; este menor porcentaje de reducción en la tasa de ablandamiento probablemente fue efecto de la simulación de transporte. Se sabe, que el manejo y la transportación generan pérdidas cercanas al

40 % de la producción (Cerdas *et al.*, 2007). Los presentes resultados confirman lo reportado por Jiménez *et al.* (2005), al observar que la aplicación de RVS mantuvo la firmeza en frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.), manzana (*Malus comunis* L) y pimiento (*Capsicum annuum*), aunque la razón esgrimida por dicho autor, i.e. la menor deshidratación, no fue observada en chirimoya 'Fino de Jete'.

La firmeza de la cáscara, cuando el fruto fue tratado con 1.6 mM de RVS a 15 DAC, fue mayor ( $p < 0.05$ ) en relación al testigo; de manera constante desde 7 DDC hasta el final del almacenamiento. A los 15 DDC, la cáscara fue más firme en 9.0 % con relación al control. Por otro lado, con 1.6 mM de RVS 8 DAC, los efectos fueron similares solo en el día 15 DDC, la cáscara fue más firme en 3.1 % (Cuadro 3). Las vibraciones en transportación de frutos son considerados como un tipo de estrés (Chonhenchob *et al.*, 2009), 1.6 mM RVS a 15 DAC mantuvo la integridad celular posiblemente lignificando la pared de la misma (Van Buren, 1986). Así, evitó que la cáscara del fruto se ablandara, favoreciendo la resistencia del fruto a pesar de la simulación de transporte y durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

Concluyendo, con 1.6 mM de RVS 15 DAC los frutos de chirimoya 'Fino de Jete' almacenados a temperatura ambiente, y sometidos a simulación de transporte, redujeron ligeramente su tasa de deshidratación, y principalmente, existió reducción en la tasa de ablandamiento de fruto y de la cáscara. Este trabajo confirma la idea de que resveratrol pueda ayudar en aumentar la vida poscosecha de chirimoya (Morales *et al.*, 2104), en este caso, aún bajo condiciones simuladas de manipulación y vibración de transporte.

## LITERATURA CITADA

- Anterola, A. M. and Lewis, N. G. 2002. Trends in lignin modification: a comprehensive analysis of the effects of genetic manipulations mutations on lignification and vascular integrity. *Phytochemistry* 61(3): 221-294.
- Armstrong, P.R.; Brown, G. K. and Timm, E. J. 1995. Cushioning choices can avoid produce bruising during handling. In: *Harvest and postharvest technologies for fresh fruits and vegetables*. Kushwada, L., R. Serwatowski, R. Brook. (ed). ASAE. Guanajuato, México. pp:183-190.
- Cerdas, M.; Umaña. G. y Castro, J. 2007. Manual de manejo de poscosecha de anona (*Annona cherimola* Mill.). Ministerio de Agricultura y Ganadería. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 16 p.
- Chonhenchob, V.; Sittipod, S.; Swasdee, D.; Rachtanapun, P.; Singh, S.P. and Singh, J. 2009. Effect of truck vibration during transport on damage to fresh produce shipments in Thailand. *J. Appl. Packag. Res.* 3(1): 27-38.
- Ericsson, N. A. and Tahir, I. I. 1996. Studies on apple bruising. I. Estimation of incidence and susceptibility differences in the bruising of three apple cultivars. *Acta Agr. Scand.* 46(4): 214-217.
- González, M.; Peinado, S.; Pinillos, V.; Hueso, J. y Alonso, F. 2010. Fenología de la maduración del fruto en chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Determinación de un índice de recolección. Fundación Cajamar. Almeria, España. 16 p.
- Jiménez, J.B.; Orea, J. M.; Montero, C.; González-Ureña, A.; Navas, E.; Slowing, K.; Gómez-Serranillos, M. P.; Carretero, E. and De Martinis, D. 2005. Resveratrol treatment controls

microbial flora, prolongs shelf life, and preserves nutritional quality of fruit. *J. Agr. Food Chem.* 53 (5): 1523-1530.

Martínez-Romero, D.; Bailen, G.; Serrano, M.; Guillen, F.; Valverde, J.M.; Zapata, P.; Castillo, S. and Valero, D. 2007. Tools to maintain postharvest fruit and vegetable quality through the inhibition of ethylene action: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 47(6):543–560.

Morales, P.A.; Franco-Mora, O.; Castañeda-Vildózola, A. y Morales-Rosales, E. 2014. El efecto antisenescente del resveratrol reduce la tasa de ablandamiento poscosecha de chirimoya. *Sci. Agr.* 5(1): 35-44.

Van Buren, J. P. 1986. Softening of cooked snap beans and other vegetables in relation to pectins and salts. *ACS Sym. Ser.* 310: 190-199.

Vergano, P. J.; Testin, R. F.; Choudhari, A. C. and Newall, W. C. 1992. Peach vibration bruising: effect of paper and plastic films between peaches. *J. Food Quality* 15(2): 183–197.

**Cuadro 1. Pérdida de peso en chirimoya cv. Fino de Jete, con aplicación de RVS a 8 y 15 días antes de cosecha sometido a simulación de transporte y almacenado a temperatura ambiente.**

Días antes de cosecha	Resveratrol mM	Pérdida de peso (%) en poscosecha (Días después de cosecha)						
		3	5	7	9	11	13	15
8	0	95.2a	92.7b	90.5a	87.5b	85.3a	83.0ab	80.5ab
	0.16	96.4a	93.9ab	92.2a	90.0ab	88.4a	87.3a	85.7a
15	0	95.4a	93.0b	90.6a	88.0ab	85.8a	82.0b	78.0b
	0.16	96.8a	95.8a	92.9a	91.0a	89.0a	87.4a	85.8a

Medias con diferente letra en la columna y para cada fecha son estadísticamente diferentes Tukey

( $p < 0.05$ ). Media de 10 frutos  $\pm$  EE.

**Cuadro 2. Firmeza de fruto en chirimoya cv. Fino de Jete, con aplicación de RVS a 8 y 15 días antes de cosecha sometido a simulación de transporte y almacenado a temperatura ambiente.**

Días antes de cosecha	Resveratrol mM	Firmeza de Fruto (N) en poscosecha (Días después de cosecha)								
		1	3	5	7	9	11	13	15	
8	0	528.0 b	510.6 b	412.7 c	224.8 c	98.2 c	65.0 b	42.8 b	18.4 b	
	0.16	523.9 b	510.3 b	420.3 bc	237.8 b	114.6 b	86.3 a	67.1 a	48.2 a	
15	0	540.8 a	519.9 ab	428.2 b	242.2 b	116.9 b	62.7 b	33.1 b	11.9 c	
	0.16	541.1 a	523.3 a	435.1 a	283.5 a	180.7 a	86.4 a	65.6 a	53.0 a	

Medias con diferente letra en la columna y para cada fecha son estadísticamente diferentes Tukey ( $p$

$< 0.05$ ). Media de 10 frutos  $\pm$  EE.

**Cuadro 3. Firmeza de cáscara en chirimoya cv. Fino de Jete, con aplicación de RVS a 8 y 15 días antes de cosecha sometido a simulación de transporte y almacenado a temperatura ambiente.**

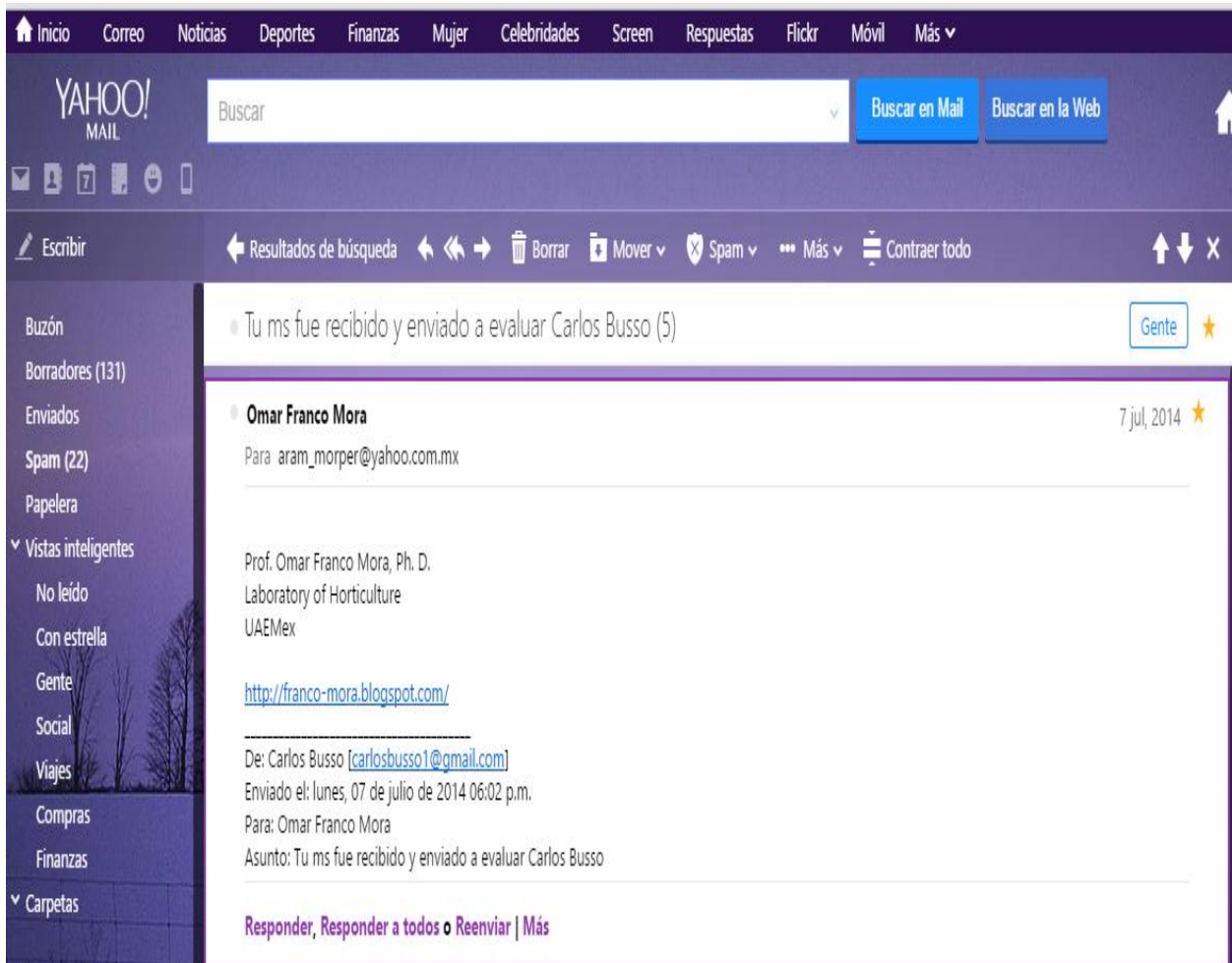
Días antes de cosecha	Resveratrol mM	Firmeza de Cáscara (N) en poscosecha (Días después de cosecha)								
		1	3	5	7	9	11	13	15	
8	0	166.7 b	157.7 a	142.3 b	110.5 b	75.0 b	43.9 B	24.8 b	6.7 c	
	0.16	170.9 a	162.6 a	147.3 a	111.7 b	77.3 b	45.2 B	27.6 b	10.3 b	
15	0	168.6 ab	162.0 a	147.1 a	108.1 b	73.6 b	43.6 B	25.9 b	6.1 c	
	0.16	170.7 ab	163.8 a	149.7 a	118.4 a	87.2 a	58.9 A	44.2 a	12.3 a	

Medias con diferente letra en la columna y para cada fecha son estadísticamente diferentes Tukey ( $p$

$< 0.05$ ). Media de 10 frutos  $\pm$  EE.



## 4.2 La 6-bencilaminopurina inhibe el bronceado en cáscara de chirimoya ‘Fino de Jete’.



The image shows a screenshot of a Yahoo! Mail inbox. The interface is in Spanish. At the top, there is a navigation bar with links for Inicio, Correo, Noticias, Deportes, Finanzas, Mujer, Celebridades, Screen, Respuestas, Flickr, Móvil, and Más. Below this is the Yahoo! Mail logo and a search bar with the text 'Buscar'. To the right of the search bar are buttons for 'Buscar en Mail' and 'Buscar en la Web'. The main area of the inbox shows a search result for 'Tu ms fue recibido y enviado a evaluar Carlos Busso (5)'. The email is from 'Omar Franco Mora' and is dated '7 jul, 2014'. The sender's email address is 'aram\_morper@yahoo.com.mx'. The email content includes the name 'Prof. Omar Franco Mora, Ph. D.', the affiliation 'Laboratory of Horticulture UAEMex', and a link to a blogspot page: 'http://franco-mora.blogspot.com/'. The email header shows it was sent by 'Carlos Busso [carlosbusso1@gmail.com]' on 'lunes, 07 de julio de 2014 06:02 p.m.' to 'Omar Franco Mora'. The subject line is 'Asunto: Tu ms fue recibido y enviado a evaluar Carlos Busso'. At the bottom of the email, there are options to 'Responder', 'Responder a todos', 'Reenviar', and 'Más'.

## **La 6-bencilaminopurina inhibe el bronceado en cáscara de chirimoya ‘Fino de Jete’**

Morales-Pérez AA<sup>1</sup>

Franco-Mora O<sup>1\*</sup>

Castañeda-Vildózola A<sup>1</sup>

Morales-Rosales EJ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Horticultura; Facultad de Ciencias Agrícolas; Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario “El Cerrillo”, Toluca, México. C. P. 50200. Tel/Fax. 017222965518.

\*Autor de correspondencia: Campus Universitario El Cerrillo, Toluca, México, C.P. 50200. Tel: +52 722 2965518 ext.153. E-mail: ofrancom@uaemex.mx

**Título corto: Reducción de bronceado de cáscara en chirimoya**

6 Figuras

Sistema operativo Microsoft Windows; procesador de texto Word.

## **La 6-bencilaminopurina inhibe bronceado en cáscara de chirimoya ‘Fino de Jete’.**

The 6-benzylaminopurine inhibits peel browning in cherimoya fruit ‘Fino de Jete’.

### **Resumen**

La fruta de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) es climatérica, su vida poscosecha se acorta por el bronceado de cáscara y ablandamiento del fruto. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de 6-bencilaminopurina (BAP) en la poscosecha de frutos de chirimoya ‘Fino de Jete’. Los frutos se seleccionaron aleatoriamente de la parte media y basal de la copa de seis árboles y se les aplicó BAP, ya sea a 1.0 mM o 0 mM. Los frutos permanecieron en el árbol 8 y 15 días después de la aplicación y al cosecharse; se transportaron y se almacenaron en refrigeración (TR) (6 °C) o a temperatura ambiente (TA) (14-18 °C). Cada tercer día se analizó pérdida de peso, color L, a\* y b\*, firmeza y deformación de fruto, desde el día 1 hasta 15 días después de cosecha (DDC). Después de 15 días de almacenamiento a TA, los frutos tratados con 1 mM BAP, en cualquier fecha, conservaron el color L\* de la cáscara más de 35 % en relación al control ( $\rho \leq 0.05$ ). Además, los frutos control pasaron de valores negativos a positivos de a\* aproximadamente de -9 a 2; mientras que los frutos tratados con 1 mM BAP mostraron valores menores a -6. La aplicación 15 DAC redujo ( $\rho \leq 0.05$ ) la deshidratación 5.6 % en relación al control. Por otro lado, a TR, la aplicación de BAP 1 mM a 8 y 15 DAC no generó diferencia significativa ( $\rho \leq 0.05$ ). En el almacenamiento a TR no se observó diferencia ( $\rho \leq 0.05$ ) en ninguna edición de manera permanente. Estos resultados indican que 1.0 mM BAP aplicado a 8 o 15 DAC es eficaz en reducir el oscurecimiento poscosecha

de la cáscara del fruto de chirimoya 'Fino de Jete' cuando se almacena a temperatura ambiente.

**Palabras clave:** almacenamiento, climatérico, color, hormona vegetal, oscurecimiento de cáscara.

### **Abstract**

The cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit is climacteric and it has a very short postharvest life; the symptoms of senescence include peel browning and fruit softening. The objective of this research was to evaluate the effect of application of 6-benzylaminopurine (BAP) in the postharvest life of cherimoya fruit 'Fino de Jete'. Fruits were randomly selected from the middle and basal part of six trees. BAP was applied at 1.0 mM or 0 mM in every of two dates, that is 8 or 15 days before harvest (DAC). After harvest, fruits were transported and stored in two different temperatures, refrigerated (TR) (6 °C) or room temperature (TA) (14-18 °C). Every third day, from 1 to 15 day after harvest (DDC), they were analyzed in relation to weight loss, color L, a\* and b\*, and fruit firmness and softening. In TA, the fruits treated with 1 mM BAP in both, 8 or 15 DAC retained peel color L\* over 35 % ( $\rho \leq 0.05$ ); moreover, control fruit moved their a\* values from negative to positive i. e. -9 to 2. BAP application at 15 DAC, reduced ( $\rho \leq 0.05$ ) fruit dehydration 5.6 % in relation to control. In RT, the implementation of BAP 1 mM in both dates, 8 or 15 DAC did not generate significant difference ( $\rho \leq 0.05$ ) in any of the studied variables. These results show that 1.0 mM BAP applied at booth, 8 or 15, DAC is effective in reducing the peel darkening of cherimoya fruit 'Fino de Jete' stored at room temperature.

**Keywords:** Climacteric, color, peel darkening, plant hormone, storage.

## INTRODUCCIÓN

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill), junto a la guanábana (*A. muricata* L.) son las especies comercialmente más apreciadas de la familia anonácea (Morton, 1987). La chirimoya es rica en hidratos de carbono, vitaminas A y C, niacina, riboflavina, ácido fólico, potasio y fósforo (Leboeuf *et al.*, 1982). Además, provee metabolitos secundarios benéficos para la salud humana, como los fenólicos simples y flavonoides (Pinto *et al.*, 2005). En esta especie hay poca información sobre los índices de madurez, y el manejo poscosecha. Por ejemplo, aunque la firmeza es un índice de madurez muy importante en frutas, no se usa en chirimoya porque el cambio en la firmeza del fruto no se produce en el árbol. Después del corte, la chirimoya se ablanda muy rápidamente, por ejemplo, en chirimoya ‘Fino de Jete’ se observó un ablandamiento de 300 Newtons (N) a 21 y 4 N, durante su almacenamiento a 7 y 15 días a temperatura ambiente. Este factor es altamente limitante para la venta de este producto a grandes distancias de su zona de producción (Morales *et al.*, 2014).

Se ha propuesto que el color de la cáscara de chirimoya es un índice de cosecha, ya que cambia de verde oscuro a verde amarillento (González *et al.*, 2010). Después de cortada, la chirimoya presenta rápido bronceado en la cáscara (Prieto *et al.*, 2007), un proceso catalizado principalmente por la polifenol oxidasa (PPO) (Amiot *et al.*, 1996; Bray *et al.*, 2000). Esto demerita la calidad y la apariencia del fruto para el consumidor. En la senescencia de tejidos vegetales hay pérdida de clorofila y disminución de la actividad fotosintética, además reducción de proteínas y estrés oxidativo con la producción de especies reactivas de oxígeno (Prochazkova *et al.*, 2001). Se sabe, que el proceso de senescencia en vegetales y frutos es regulado por las fitohormonas i.e. etileno, citocininas,

giberelinas, auxinas y ácido abscísico. En ese sentido, se ha observado que la 6-Bencilaminopurina (BAP), una citocinina, reduce la senescencia vegetal en hojas de tabaco transgénico (*Nicotiana tabacum*) (Wingler *et al.*, 1998); además, limita la degradación de pigmentos y proteínas fotosintéticas, y mantiene el equilibrio hídrico de los tejidos en trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) (Costa *et al.*, 2005; Zavaleta-Mancera *et al.*, 2007). La aplicación poscosecha de BAP en brócoli (*Brassica oleracea*) evitó su oscurecimiento oxidativo (Costa *et al.*, 2005), disminuyó la tasa de respiración (Rushing, 1990), y retrasó el amarillamiento de la flor (Zhu *et al.*, 2004; Zaicovski *et al.*, 2008). Por otro lado, en plátano (*Musa paradisiaca*) una dosis de 1 mM BAP retuvo la clorofila y la deshidratación en la cáscara durante la maduración (Aghofack y Manka'abiengwa, 2012).

Debido a que no hay información acerca de aplicación exógena de citocininas a frutos del género *Annona*, específicamente a chirimoya, el objetivo del presente estudio fue conservar la calidad y alargar la vida poscosecha de chirimoya 'Fino de Jete', al aplicar 1.0 mM de BAP en precosecha.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Material vegetal.** Frutos de chirimoya 'Fino de Jete' obtenidos de polinización manual, fueron cosechados de árboles de 11 años cultivados en un huerto experimental del Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Estado de México (CICTAMEX) Fundación Salvador Sánchez Colín, en el ciclo de cultivo 2011. El huerto está ubicado en Coatepec Harinas, Estado de México, 18° 46' 38" N, 99° 46' 38" O y 2240 m de altitud. Los frutos de seis árboles se seleccionaron en base a su sanidad y mismo estadio fenológico de la parte

media y basal de la copa del árbol, regiones en donde fue posible polinizar manualmente con mayor facilidad y menor fuerza laboral (Morales *et al.*, 2014).

La aplicación de la solución de 6-Bencilaminopurina (BAP) (Sigma Aldrich) en agua destilada, a dosis de 1 o 0 mM, se realizó en el mes de noviembre. La solución de la citocinina se aplicó con un pincel, se marcaron las frutas y las mismas permanecieron en el árbol 8 y 15 días (d) antes de ser cosechados. La fruta cosechada se empacó y transportó al laboratorio de Horticultura de la Universidad Autónoma del Estado de México. Se formaron dos lotes de cada dosis de BAP y cada uno de ellos se almacenó ya sea en refrigeración (6 °C) o a temperatura ambiente (TA) (14 y 18 °C). Posteriormente, cada tercer día, a partir del día 1 después de cosecha (DDC) hasta 15 DDC se evaluaron algunas cinéticas poscosecha.

**Evaluación poscosecha.** Las evaluaciones poscosecha se realizaron como lo indica Morales et al. (2014). Brevemente, para obtener la cinética del peso fresco, los frutos se pesaron cada día de evaluación en una balanza semianalítica (ELB3000, Shimadzu) y la pérdida de peso (PP) se expresó como porcentaje en relación al peso inicial (peso 1 DDC). El color de la cáscara se midió con un fotocolorímetro Chroma CR-400 (Konica Minolta, Japón). La lente del colorímetro se colocó directamente sobre la cáscara del fruto, y aleatoriamente se realizaron dos mediciones en diferentes partes del fruto, dos valores por repetición. Debido a que los factores  $L^*$  y  $a^*$  presentaron resultados de mayor interés comercial para esta especie, en este documento se omite la presentación de los factores  $b^*$ , croma y matiz (hue).

Por otro lado, se empleó un texturómetro (Shimadzu Scientific Instruments, DC, USA) con una celda de carga de 50 kg para evaluar la firmeza y deformación de la fruta. La firmeza de la cáscara (prueba de penetración) (Sánchez *et al.*, 1998), se determinó con un cono de 50 mm de diámetro y ángulo de 60° avanzando a una velocidad de 50 mm min<sup>-1</sup>, el resultado se reportó en Newtons. Posteriormente, la fuerza de deformación fueron los Newtons necesarios para deformar la fruta entera en 5 mm. La velocidad de deformación se fijó a 50 mm min<sup>-1</sup> con un embolo de superficie plana de 50 mm de diámetro. En ambos casos, el fruto fue colocado en la plataforma del texturómetro, y la lectura se realizó en el plano ecuatorial del fruto; después de la primera lectura, se rotó el fruto 180° para obtener el segundo resultado.

**Diseño experimental y análisis estadístico.** El diseño experimental fue completamente al azar con tres factores fijos, dosis, fecha de aplicación y temperatura de almacenamiento. Sin embargo, para una mejor explicación de los resultados, en cada ambiente de almacenamiento se explican las dosis y las fechas de aplicación; esto porque el efecto de la temperatura implica menor metabolismo en los frutos y los resultados se observan ampliamente en la separación de gráficas por temperatura de almacenamiento. Hubo nueve repeticiones, un fruto por repetición, cada fruto con dos mediciones, para todos los análisis, excepto para pérdida de peso, en cuyo caso, se tuvo un fruto por repetición. Los resultados se analizaron con ANDEVA y las medias se compararon, cuando fue necesario, con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), usando SPSS.19.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Pérdida de peso.** En los frutos almacenados a TR, la aplicación de BAP tanto a 8 como a 15 DAC no manifestó diferencia significativa ( $\rho \leq 0.05$ ) en relación a frutos control. Sin embargo, se observó que el periodo que transcurrió entre la aplicación de BAP y la cosecha del fruto afectó ( $\rho \leq 0.05$ ) la cinética del peso fresco. Los frutos con mayor tiempo en el árbol, i.e. aplicación de 1 y 0 mM BAP a 15 DAC, perdieron 2 % más peso que las chirimoyas tratadas a 8 DAC. Se sabe que la pérdida de peso de los frutos es debido principalmente al proceso de transpiración (Díaz-Pérez *et al.*, 2007); esto indica que aquellas chirimoyas tratadas 8 DAC transpiraron menos que las tratadas a 15 DAC.

Por otro lado, en las chirimoyas almacenadas a TA y tratadas con 1.0 mM BAP 15 DAC se presentaron diferencias significativas ( $\rho \leq 0.05$ ) desde 3 DDC hasta el final del almacenamiento con relación a su control. Al final del almacenamiento, 1.0 mM BAP 15 DAC redujo 5.6 % de deshidratación (Figura 1). Según Lim *et al.* (2007), la aplicación foliar de BAP prolongó el almacenamiento poscosecha en algunos forrajes de gramíneas y aumentó la tolerancia al estrés hídrico. Los resultados del presente estudio indican que en los frutos almacenados a TA, la aplicación de la citocinina 1.0 mM a 15 DAC, posiblemente genera que BAP intervenga en los procesos fisiológicos de respiración, transpiración y ajustes osmóticos, factores responsables de la pérdida poscosecha de agua de frutos de chirimoya (Goñi *et al.*, 2008).

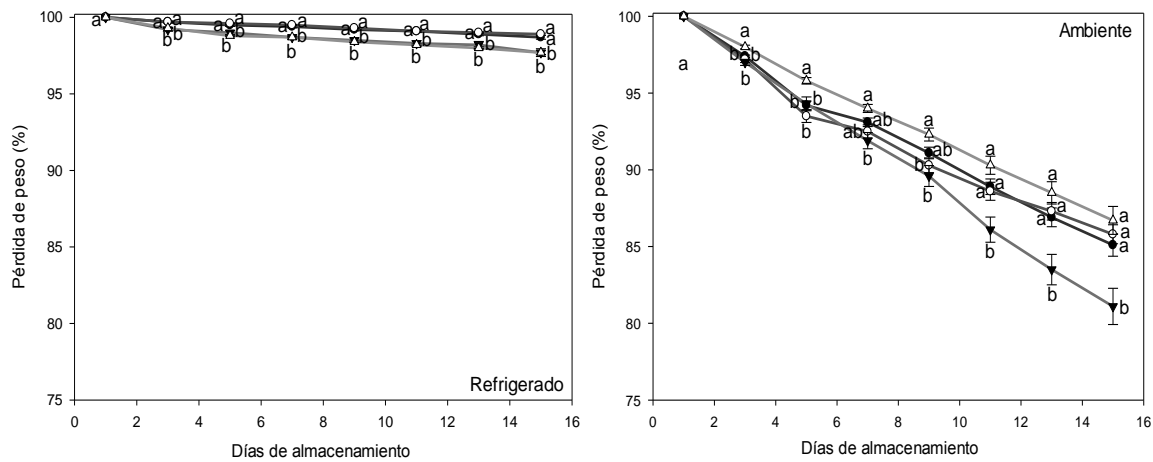


Figura 1. Cinética del peso fresco en chirimoya ‘Fino de Jete’ tratadas con 1.0 mM BAP 8 (○) y 15 (△) días antes de cosecha comparado con 0 mM BAP 8(●) y 15(▼) días antes de cosecha. Literales diferentes implican diferencia estadística en relación a tratamientos. Los datos son la media de 9 frutos  $\pm$  EE.

**Color de cáscara (L\*y a\*).** Los frutos refrigerados presentaron, desde la cosecha y hasta 7 DDC, diferencias ( $p \leq 0.05$ ) por efecto de la fecha de aplicación (Figura 2). Aquellos tratados 8 DAC promediaron 41 unidades L, mientras que los tratados 15 DAC promediaron 39 unidades L. Sin embargo esta situación no se observó en el lote almacenado a TA, donde el promedio fue 40 unidades L (Figura 2). En los frutos refrigerados, sólo a los 9 y 11 DDC la aplicación 15 DAC de 1 mM BAP inhibió el bronceado del fruto lo cual no se observó con la aplicación 8 DAC. Debido a que al final del tiempo almacenado no hubo diferencia respecto al control, los resultados no son satisfactorios para proponerse en un almacenamiento en refrigeración.

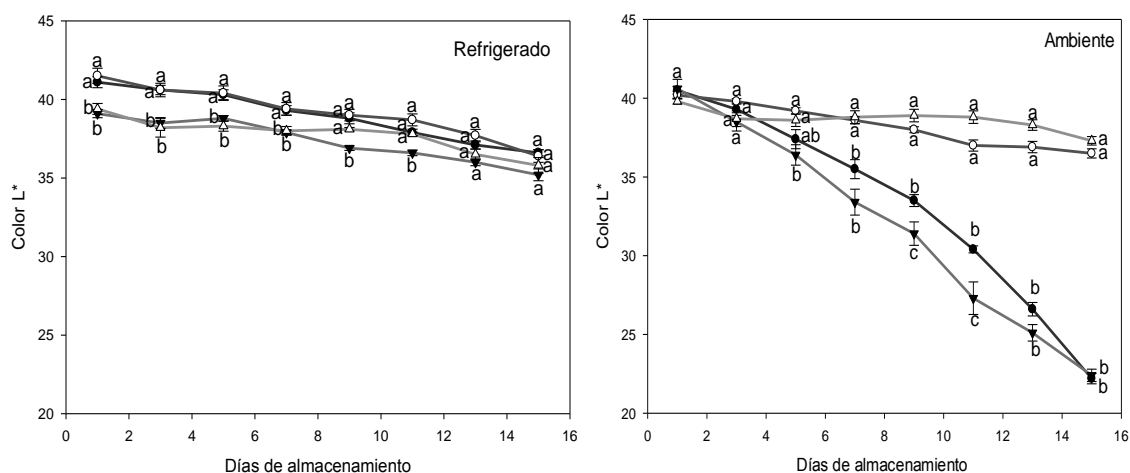


Figura 2. Color L\* en chirimoya selección ‘Fino de Jete’, con aplicación de 1.0 mM BAP 8 (○) y 15 (△) días antes de cosecha comparado con 0 mM BAP 8(●) y 15(▼) días antes de cosecha. Literales diferentes implican diferencia estadística en relación a tratamientos. Los datos son la media de 9 frutos ± EE.

El mejor efecto de BAP fue mantener el factor L\* del color de los frutos almacenados a TA (Figura 2). La aplicación de 1 mM BAP causó diferencias ( $\rho \leq 0.05$ ) desde los 5 y 7 DDC, hasta 15 DDC, para 15 y 8 DAC, respectivamente. Al final de 15 d de almacenamiento, en los frutos tratados con 1.0 mM BAP 8 y 15 DAC se evitó ( $\rho \leq 0.05$ ) 36 y 38 % del oscurecimiento de la cáscara en relación al respectivo testigo. La reducción en el valor de L\* implica pérdida de luminosidad de la clorofila, y este idea es confirmada por el cambio de valores negativos a positivos en el factor a\* del color de los frutos control al almacenarse en las condiciones indicadas (Figura 3). Esto ha sido confirmado por Gwanpua et al. (2014) quienes encontraron una relación de 0.93 entre el contenido de clorofila y el

factor a\* del color en manzanas ‘Jonagold’, indicando que a valores negativos de a\*, mayor contenido de clorofila.

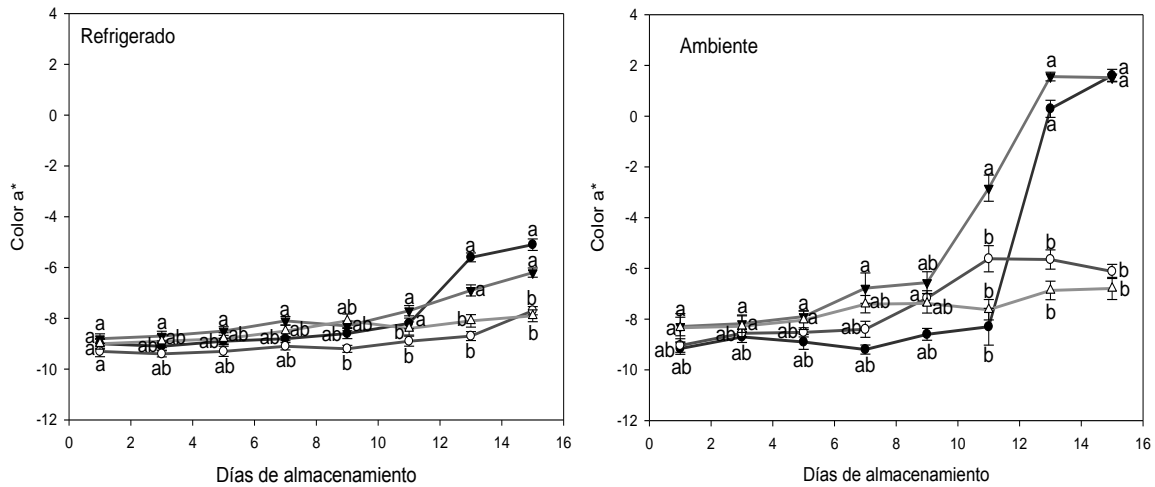


Figura 3. Color a\* en chirimoya selección ‘Fino de Jete’, con aplicación de 1.0 mM BAP 8 (○) y 15 (△) días antes de cosecha comparado con 0 mM BAP 8(●) y 15(▼) días antes de cosecha. Literales diferentes implican diferencia estadística en relación a tratamientos. Los datos son la media de 9 frutos ± EE.

Previamente, Hörtensteiner (1999) reportó que BAP previene o retrasa la degradación de clorofila, esto debido al decremento del nivel de las enzimas clorofilasa, Mg-dequelatasa y peroxidasa en plantas superiores. Profundizando en esta explicación, se ha determinado que BAP reduce la expresión de genes relacionados a la degradación de la clorofila (Gómez-Lobato *et al.*, 2012), retrasando la disrupción de los cloroplastos y por ende el amarillamiento de hojas en diversas especies (Ben-Yaakov *et al.*, 2006). En este sentido, los datos del presente documento indican claramente que BAP mantuvo el color verde de la

chirimoya cuando se almacenó a temperatura ambiente (Figura 4), pero no al almacenarse en refrigeración.



Figura 4. Frutos de chirimoya almacenados 15 días a temperatura ambiente; los mismos fueron tratados con 1 mM o 0 mM de 6-bencilaminopurina 15 días antes del corte.

El presente estudio indica que en refrigeración no se observó efecto de BAP para mantener el color verde, lo cual implica que la propia temperatura evita la rápida degradación de la clorofila; esto relacionado al hecho de que en esta temperatura de almacenamiento, los valores de  $a^*$  de la cáscara de los distintos frutos fueron siempre negativos durante 15 DDC. De manera similar, Massolo et al. (2014) observó que 1 mM BAP no evitó la pérdida de color verde en calabacita (*Cucurbita maxima*) almacenada en refrigeración. En este sentido es importante verificar la cadena poscosecha que seguirá el fruto para recomendar la aplicación de BAP en chirimoya.

**Firmeza y deformación del fruto.** En ambas condiciones de almacenamiento, la aplicación de BAP no generó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) ni para la firmeza del fruto ni para la deformación del mismo (Figuras 5 y 6). La firmeza está relacionada con la pérdida de agua, a menor deshidratación los frutos permanecen más turgentes (Jiménez *et al.*, 2005) y por consecuencia presentan más firmeza. En este experimento como ya se indicó, pese a que 1.0 mM BAP aplicado 15 DAC inhibió la deshidratación en frutos almacenados a temperatura ambiente, la firmeza y deformación del fruto no fueron afectados.

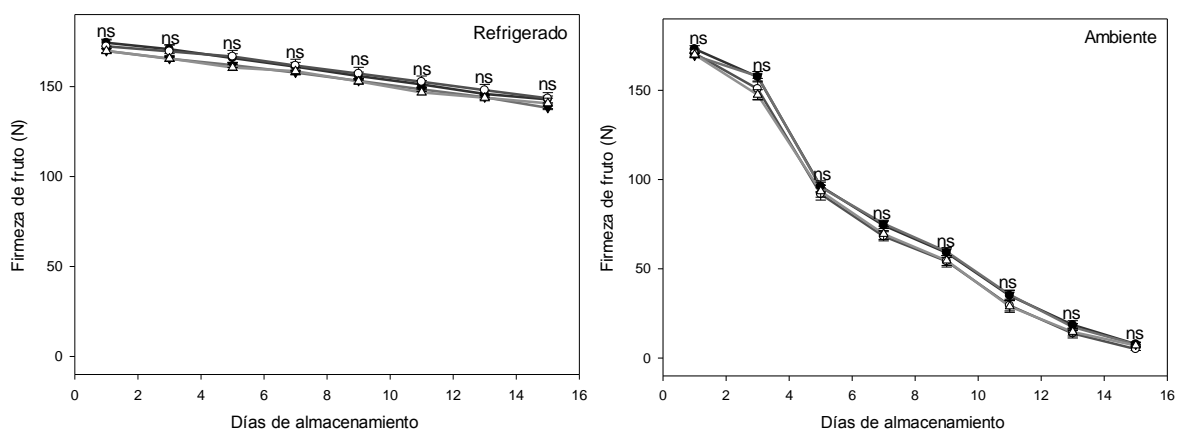


Figura 5. Firmeza de fruto de chirimoya 'Fino de Jete', con aplicación de 1.0 mM BAP 8 (○) y 15 (△) días antes de cosecha comparado con testigo 8(●) y 15(▼) días antes de cosecha. Literales diferentes implican diferencia estadística en relación a tratamientos; ns, no significativo. Los datos son la media de 9 frutos  $\pm$  EE.

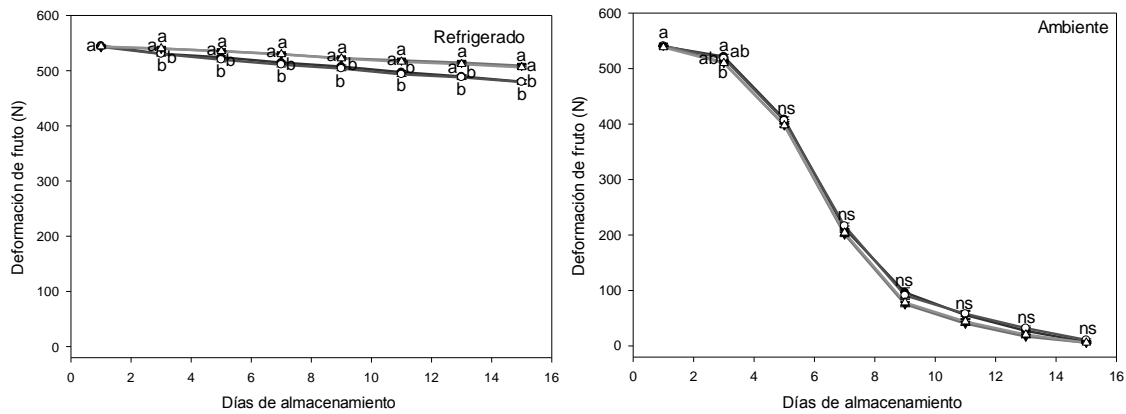


Figura 6. Deformación de fruto de chirimoya ‘Fino de Jete’, con aplicación de 1.0 mM BAP 8 (○) y 15 (△) días antes de cosecha comparado con testigo 8(●) y 15(▼) días antes de cosecha. Literales diferentes implican diferencia estadística en relación a tratamientos; ns, no significativa. Los datos son la media de 9 frutos  $\pm$  EE.

En el almacenamiento refrigerado, se presentó efecto por fecha de aplicación de BAP, es decir fecha de corte. En aquellas chirimoyas tratadas 8 DAC, la tasa de pérdida de firmeza fue mayor (4.8 %) que las tratadas a 15 DAC (Figura 6). En los frutos almacenados a temperatura ambiente no hubo diferencia estadística. El ablandamiento de los frutos es consecuencia, entre otros factores, de la hidrólisis de los polipéptidos presentes en la lámina media y pared celular responsables de la firmeza en los frutos (Seymour y Gross, 1996). Para ambas determinaciones de firmeza, se observa el lógico ablandamiento mayor de los frutos almacenados a temperatura ambiente, en relación a aquellos almacenados a 6 °C, lo cual ha sido reportado por diferentes autores (Shen *et al.*, 2009).

## CONCLUSIONES

La aplicación de 1 mM de 6-bencilaminopurina, tanto 8 o 15 días antes de cosecha, redujo el oscurecimiento poscosecha de la cáscara de chirimoya. Esto fue soportado por valores estables en los factor  $L^*$  y  $a^*$  de color. Los frutos control perdieron valor en  $L^*$  y pasaron de negativos a positivos en  $a^*$ . El factor benéfico de 6-bencilaminopurina en los frutos almacenados a temperatura ambiente, no se manifestó cuando el fruto se almacenó en refrigeración. Al almacenarse a temperatura ambiente, 15 días después del corte, solo los frutos tratados con 1 mM 6-bencilaminopurina 15 días antes de la cosecha, redujeron 5.6 % la deshidratación en relación al control. Para la firmeza y deformación del fruto no se encontró efecto atribuible a la 6-bencilaminopurina.



## VI. LITERATURA CITADA

- Aghofack-Nguemezi, J. y J. Manka'abiengwa (2012). Effects of exogenously applied benzylaminopurine and kinetin on the ripening of banana (*Musa acuminata* Colla var. William) fruits. *American Journal of Plant Physiology* 7: 154-163.
- Amiot, M.J., F. Richard-Forget y P. Goupy (1996). Polyphenol, oxidation and colour: progress in the chemistry of enzymatic and no enzymatic derived products. *Herba Polonica* 42 : 237-247.
- Ben-Yaakov, E., S. Harpaz-Saad, D. Galili, Y. Eyal y E.E Goldschmidt (2006). The relationship between chlorophyllase activity and chlorophyll degradation during the course of leaf senescence in various plant species. *Israel Journal of Plant Sciences* 54: 129-135
- Bray, E.A., J. Bailey-Serres y E. Weretilnyk (2000) Responses to abiotic stresses. In W. Gruissem, B. Buchanan, R. Jones, eds, *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists, Rockville, USA, p. 1158–1249.
- Costa, M.L., P.M. Civello, A.R. Chávez y G.A. Martínez (2005). Effect of ethephon and 6 benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and a peroxidase linked chlorophyll bleaching during postharvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20 °C. *Postharvest Biology and Technology* 35: 191-199.
- Díaz-Pérez, J., M. Muy-Rangel y A. Mascorro (2007). Fruit size and stage of ripeness affect postharvest water loss in bell pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Journal of the Science of Food Agriculture* 87: 68-73.

- Gómez-Lobato, M.E., P.M. Civello y G.A. Martínez (2011). Effects of ethylene, cytokinin and physical treatments on BoPaO gene expression of harvested broccoli. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92:151-158.
- Goñi, O., M.I. Escribano y C. Merodio (2008). Gelatinization and retrogradation of native starch from cherimoya fruit during ripening, using differential scanning calorimetry. *LWT- Food Science and Technology* 41:303–310.
- González, M., S. Peinado, V. Pinillos, J.J. Hueso y F. Alonso (2010). Fenología de la maduración del fruto en chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Determinación de un índice de recolección. Fundación Cajamar. Almeria, España. 27 p.
- Gwanpua, S.G., V. Vicent, B.E. Verlinden, M.L.A.T.M. Hertog y B.M. Nicolai (2014). Managing biological variation in skin background colour along the postharvest chain of ‘Jonagold’ apples. *Postharvest Biology and Technology* 93: 61-71.
- Hörtensteiner, S. (1999). Chlorophyll breakdown in higher plants and algae. *Cellular and Molecular Life Sciences* 56: 330–347.
- Jiménez, J.B., J.M Orea, C. Montero, A. González-Ureña, E. Navas, K. Slowing, M.P. Gómez-Serranillos, E. Carretero y D. de Martinis (2005). Resveratrol treatment controls microbial flora, prolongs shelf life, and preserves nutritional quality of fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 1526-1530.
- Leboeuf, M., A. Cavé, P.K. Bhaaumik, B. Mukherjee y R. Mukherjee (1982). The phytochemistry of the Annonaceae. *Phytochemistry* 21: 2783-2813.


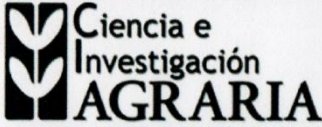
- Lim, P.O., H.J. Kim y H.G. Ham (2007). Leaf senescence. *Annual Review of Plant Biology* 58: 115–136.
- Massolo, J.F., M.L. Lemoine, A.R. Chaves, A. Concellón y A.R. Vicente. 2014. Benzylaminopurine (BAP) treatments delay cell wall degradation and softening, improving quality maintenance of refrigerated summer squash. *Postharvest Biology and Technology* 93: 122-129.
- Morales, P.A., O. Franco-Mora, A. Castañeda-Vildolozola y E. Morales-Rosales (2014). El efecto antisenescente del resveratrol reduce la tasa de ablandamiento poscosecha de chirimoya. *Scientia Agricola* 5: 35-44.
- Morton, J. (1987). *Fruits of Warm Climates*. Curtis F. Dowling Jr, Miami USA. 505 p.
- Pinto, A.C., M.C. Cordeiro, S.R. De Andrade, F.R. Ferreira, H.A. Filgueiras, R.E. Alves y D.I. Kinpara (2005). *Annona Species*. University of Southampton, Southampton, USA. pp. 33-43.
- Prieto, H., D. Utz, A. Castro, C. Aguirre, M. González-Agüero, H. Valdes, N. Cifuentes, B.G. Defilippi, P. Zamora, G. Zuñiga y R. Campos-Vargas (2007). Browning in *Annona cherimola* fruit: role of polyphenol oxidase and characterization of a coding sequence of the enzyme. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 9208-9218.
- Prochazkova, D., R.K. Sairam, G.C. Srivastava y D.V. Singh (2001). Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science* 161: 765-771.

- Rushing, J. (1990). Cytokinins affect respiration, ethylene production, and chlorophyll retention of packaged broccoli florets. *HortScience* 25: 88-90.
- Sánchez, J.A., J.P. Zamorano y R. Alique (1998). Polygalacturonase, cellulase and invertase activities during cherimoya fruit ripening. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73: 87-92.
- Seymour, G.B. y K.C. Gross (1996). Cell wall disassembly and fruit softening. *Postharvest News and Information* 7: 45-52.
- Shen, W.B., C.R. Li, J.Y. Chen, J.H. Xie y W.J. Lu (2009). Expansin gene expression in cherimoya fruit is correlated with flesh firmness during fruit ripening and softening. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 84: 333-339.
- Wingler, A., A. Schaeven, R.C. Leegood, P.J. Lea y W.P. Quick (1998). Regulation of leaf senescence by cytokinin, sugar, and light. Effects on NADH-dependent hydroxypyruvate reductase. *Journal of Plant Physiology* 116: 329–335.
- Zaicovski, C.B., T. Zimmerman, L. Nora, F.R. Nora, J.A. Silva y C.V. Rombaldi (2008). Water stress increases cytokinin biosynthesis and delays postharvest yellowing of broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology* 49 (3): 436-439.
- Zavaleta-Mancera, H., H. López-Delgado, H. Loza-Tavera, M. Mora-Herrera, C. Trevilla-García, M. Vargas-Suárez y H. Ougham (2007). Cytokinin promotes catalase and ascorbate peroxidase activities and preserves the chloroplast integrity during dark-senescence. *Journal of Plant Physiology* 164: 1572–1582.

Zhu, L.H., A. Van de Pappel, X.Y. Li y M. Welander (2004). Changes of leaf water potential and endogenous cytokinins in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought conditions. *Scientia Horticulturae* 99: 133-141.

#### 4.3 Pre-harvest treatments white resveratrol plus benzylaminopurine helps to preserve postharvest quality in chirimoya (*Annona cherimola* Mill.)

15/4/2015 #1399 Summary





Home About User Home Search Archive Current issue

Home > User > Author > Submissions > #1399 > Summary

### #1399 SUMMARY

Summary Review Editing

#### SUBMISSION

Authors	Aaran A. Morales, Omar Franco Mora, Álvaro Castañeda-Vildózola, Edgar Jesús Morales-Rosales	
Title	PRE-HARVEST TREATMENTS WITH RESVERATROL PLUS BENZYLAMINOPURINE HELPS TO PRESERVE POSTHARVEST QUALITY IN CHIRIMOYA ( <i>Annona cherimola</i> Mill.)	
Original file	1399-3371-3-SM.DOCX 2015-01-29	
Supp. files	None	<a href="#">ADD A SUPPLEMENTARY FILE</a>
Submitter	Omar Franco Mora 	
Date submitted	January 29, 2015 - 07:19 AM	
Section	Research Paper	
Editor	Nora Aedo 	

---

#### STATUS


Status	In Review
Initiated	2015-01-29
Last modified	2015-01-29

---

#### SUBMISSION METADATA

EDIT METADATA

#### Authors

Name	Aaran A. Morales 
------	--

USER

You are logged in as...  
omora

- My Profile
- Log Out

LANGUAGE


English ▾

AUTHOR

Submissions

- Active (2)
- Archive (0)
- New Submission

FONT SIZE



<http://rcia.uc.cl/index.php/rcia/author/submission/1399> 1/3

**PRE-HARVEST TREATMENTS WHITE RESVERATROL PLUS  
BENZYLAMINOPURINE HELPS TO PRESERVE POSTHARVEST QUALITY IN  
CHIRIMOYA (*Annona cherimola* Mill.)**

Aaran A. Morales-Pérez<sup>1</sup>, Omar Franco-Mora<sup>1\*</sup>, Álvaro Castañeda-Vildózola<sup>2</sup>, Edgar J. Morales-Rosales<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Horticultura, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

<sup>2</sup> Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

\* Corresponding author Tel./Fax. +52 7222965518. E-mail address: ofrancom@uaemex.mx (O. Franco-Mora).

**Abstract**

**A. Morales-Pérez, O. Franco-Mora, A. Castañeda-Vildózola, E. Morales-Rosales. Pre-harvest treatments white resveratrol plus benzylaminopurine helps to preserve postharvest quality in chirimoya (*Annona cherimola* Mill.). Cien. Inv. Agr.** Chirimoya fruit (*Annona cherimola* Mill.) is climacteric and highly perishable. Between harvest and consumption, its flesh and peel can quickly become quite soft, and the peel can turn brown. Post-harvest handling can additionally cause damage to the peel. To preserve postharvest quality, we treated chirimoya ‘Ruth’ and ‘Fino de Jete’ fruits with a combination of 1.6 mM resveratrol (RVS) and 1.0 mM benzylaminopurine (BAP), and also with 0.0 mM of both as a control. The treatment was applied at 8 or 15 days before harvest (DBH). Fifteen days after harvest (DAH), with storage at room temperature, the treated fruits showed weight losses of 5.5 % for ‘Ruth’ and 9.9 % for ‘Fino de Jete’. The color L \*, indicating the darkening of the fruit peel, was reduced by 32.1 % for ‘Ruth’ and 27.7 % for ‘Fino de Jete’.

Additionally, fruit softening was reduced by 7.2 % for ‘Ruth’ and by 10.3 % for ‘Fino de Jete’, and the firmness of the fruit peel was increased by 5.2 % for ‘Ruth’ and 10.9 % for ‘Fino de Jete’. All percentage changes are relative to the control fruits. We found that the enzymatic activities of pectinmethylesterase (PME) and polygalacturonase (PG) are closely linked to the softening of cherimoya. In particular, maximum PG activity was observed at 7 DAH in fruits treated with 1.6 mM RVS - 1.0 mM BAP, compared to 5 DAH in control fruits.

**Keywords:** fruit softening, enzymatic activity, polyphenol, postharvest quality.

## **Introduction**

The cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit has exceptional nutritional and sensory qualities, and it has high economic value (Vanhove and Van Damme, 2013). However, cherimoya has some limitations that prevent widespread availability. It is climacteric and highly perishable. When it ripens, it becomes quite soft, the peel darkens, and it becomes quite difficult to handle without damaging it. Thus, it does not preserve well for shipping and retail sale (Leal, 1990; Kavati., 1996; Morales *et al.*, 2014). The cherimoya is usually sold in local markets; its short shelf-life and poor post-harvest handling result in significant losses during transportation (Pinto *et al.*, 2005).

In Mexico, commercial cherimoya cultivars, such as ‘Fino de Jete’, were introduced from several regions of the world (Augustín and Hernández, 2011). Due to the work of researchers and producers, there are now approximately 50 cultivars and selections grown in Mexico (Augustín and Hernández, 2011). ‘Ruth’ is a cultivar that is grown in the State of Morelos. It has excellent quality for fresh consumption and has a good yield. Local



producers are interested in selling cherimoya in new and distant markets. Thus, they are seeking alternative methods of transportation and storage. It is clear that any alternatives for maintaining fruit quality must result in fruit that is safe for human consumption.

The RVS has been proposed as a possible alternative for increasing the postharvest life of fruits and vegetables. Jiménez *et al.* (2005) found that the application of RVS in apple (*Malus communis* L.), avocado (*Persea americana* Mill.), tomato (*Solanum lycopersicum*), pepper (*Capsicum annuum*), strawberry (*Fragaria × ananasa*) and grapes (*Vitis vinifera*) has increased its sensory quality, referred to the texture and taste, as well as storage life and nutritional quality. In mandarin ‘Satsuma’ (*Citrus unshiu* Marc.), RVS inhibited the discoloration of the skin; effect attributed to its antioxidant properties (Cherukuri *et al.*, 2007). In addition, Montero *et al.* (2000) indicated that RVS antifungal benefits have been found in the exogenous application on grapes. Morales *et al.* (2014) tested the effectiveness of the stilbene resveratrol (RVS) applied 8 or 15 days before harvest in cherimoya fruits ‘Fino de Jete’ and ‘Bronceada’. This polyphenol reduced the softening rate by 78 % and 54 % for the two varieties, respectively. This evidence confirmed the claims of Van Buren (1986), who suggested that RVS might promote cell-wall lignification and prevent hydrolysis of pectic polymers. This pectic polymers increase the consistency of the fruit, so preserving them helps to maintain postharvest quality.

Another compound, 1.0 mM benzylaminopurine (BAP), was found to reduce the darkening of the fruit peel by 38 % in ‘Fino de Jete’ cherimoya (unpublished data), possibly by decreasing the degradation of photosynthetic proteins (Costa *et al.*, 2005) and retaining the chlorophyll of the peel (Aghofack-Nguemezi and Manka'abiengwa, 2012). In our experiments, we sought to determine the positive contributions of RVS and BAP when

applied simultaneously to the cherimoya fruit to reduce the softening of the fruit and darkening of the peel.

## **Materials and methods**

### *Vegetative material*

The cherimoya fruit 'Ruth' was produced from open-pollination in a commercial orchard, in the growing season of 2012, located in Achichipico, Yecapixtla, Morelos, Mexico (18° 94' 62" N, 98° 82' 75" W and 1944 m elevation). Fruits of the 'Fino de Jete' variety were hand-pollinated in the same season in an experimental orchard at the Centre for Scientific and Technological Research of the State of Mexico (CICTAMEX), Salvador Sánchez Colín Foundation, located in Coatepec de Harinas, Mexico (18° 46' 38" N, 99° 46' 38" W and 2240 m elevation).

### *Use and Handling*

BAP and RVS were applied by brush to randomly selected fruit growing in the middle and basal parts of a tree. Fifteen or 8 days before harvest (DBH), the commercial reagents (Sigma) were dissolved in distilled water. The use of water was with the purpose of show producers the low level of complications in its application. More over, it is known that RVS is concentration was soluble in water till ( $< 0.05 \text{ mg ml}^{-1}$ ) (Gambini *et al.*, 2013), and in present work  $0.000364 \text{ mg ml}^{-1}$ , to yield two doses, 1.6 mM RVS - 1.0 mM BAP and 0.0 mM RVS – 0.0 mM BAP. The total number of fruits treated for each dose was 81. They were growing in 6 trees in each cultivar. The amount of RVS-BAP solution was approximately 3 ml per fruit. Once the fruits were harvested, they were conventionally packaged and transported to the Laboratory of Horticulture, University of the State of Mexico. The fruit was stored at room temperature (RT), i.e., between 14 and 18 °C.

Subsequently, they were analyzed every third day starting one day after harvest and lasting until 15 days after harvest (DAH).

#### *Postharvest Analysis*

Changes in fresh weight, skin color, fruit and peel firmness, and concentrations of reducing sugar and ascorbic acid were recorded as described previously by Morales *et al.* (2014). The activity of pectinmethylesterase (PME) was determined in the peel of the fruit as described by Hagerman and Austin, (1986). Briefly, approximately 5 g of plant tissue was processed in an omnimixer with 15 ml of 1 M NaCl and 10 g l<sup>-1</sup> PVPP. The suspension was stirred for 4 h and then filtered through Whatman No. 42 filter paper. The filtrate was adjusted to pH 7.5 with NaOH, and the extract was used to test the PME activity. All steps in the preparation of extracts were performed at -4 °C. The activity was assayed in a reaction mixture containing 600 µl of pectin 0.5 % p/v, 150 µl of bromothymol blue 0.01 % in phosphate buffer 0.003 M pH 7.5; 100 µl of water pH 7.5 and 100 µl of enzyme extract. We measured the reduction of the optical density at 620 nm at 37 °C. The results were expressed as the change in optical density ( $\Delta OD$ ) in three minutes under the test conditions per gram of peel.

The activity of polygalacturonase (PG) in cherimoya peel was tested using the method of MacDonnell *et al.* (1945). The reaction mixture consisted of 2.5 ml of polygalacturonic acid 0.2 % (w/v) and 0.75 ml of the enzyme extract. This solution was incubated at 30 °C for one hour, filtered with Whatman 1 filter paper, and the loss of viscosity was compared to the control. The activity was expressed as the percent decrease in viscosity after one hour at 30 °C.

#### *Statistical Analysis*

The results were analyzed using a completely randomized design. A bivariate analysis with fixed factors for cultivar and application was the primary tool used for the analysis. For each cultivar, the effect of treatment was analyzed in a one-factor design. The monofactorial arrangement was used in SPSS 19 and the bivariate arrangement was used in SAS 9.0. When the F value was significant, a comparison of means with Tukey's test ( $\alpha < .05$ ) was also performed.

## **Results and Discussion**

For all variables but the color factor  $b^*$ , reducing sugar concentration and ascorbic acid concentration, the effect of cultivar was observed (data not shown). This has been previously reported in cherimoya, where there are marked differences even between commercial cultivars (Morales *et al.*, 2014) in several fruit quality characteristics. In this case, 'Fino de Jete' is of Spanish origin, and 'Ruth' is a selection of the State of Morelos, Mexico. Therefore, in this paper, the effect observed for each cultivar is explained separately.

### *Weight loss*

The results show that in both cultivars, there were significant differences ( $\alpha \leq 0.05$ ) between the treatments from 3 to 15 DAH (Figure 1). The application of 1.6-1.0 mM RVS-BAP, on both dates, reduced the rate of weight loss by 5.5 % for 'Ruth' and by 9.9 % for 'Fino de Jete' at the end of the storage time, in relation to control. Goñi *et al.* (1997) mentioned that water loss in harvested fruits is due to the intrinsic physiological processes of respiration, transpiration and osmotic adjustments. Previously, a single application of RVS was not found to reduce the rate of weight loss in cherimoya varieties 'Fino de Jete' and 'Bronceada' (Morales *et al.*, 2014). In other crops, such as grape (*Vitis vinifera*), the individual application of RVS did reduce the rate of dehydration (Jiménez *et al.*, 2005). The

foliar application of BAP in forage grasses was found to reduce weight loss (Lim *et al.*, 2007). For this study, it seems that application of both, RVS and BAP may reduce weight loss in the postharvest of cherimoya fruit.

*Color L\*, a\*, b\*, Chroma and Hue.*

For luminosity (L\*), the results showed significant difference between the application of RVS and BAP ( $\alpha \leq 0.05$ ) compared to control fruits (Figure 2). The control fruits were darker than those treated with RVS-BAP. For 'Ruth', the application at 8 DBH produced 32 % lighter fruits, and in 'Fino de Jete', the fruits treated at 15 DBH were 27.7 % lighter than controls at the end of the storage time. We also observed that the best treatment was 1.6 mM RVS- 1.00 mM BAP applied at 15 DBH, for both 'Ruth' and 'Fino de Jete'.

For color a\*, we also found a significant difference ( $\alpha \leq 0.05$ ). The control fruits were more red (start of tanning) than those treated with RVS-BAP, in both 'Ruth' and 'Fino de Jete'. Those treated with RVS-BAP remained green, although a bit less than when harvested (Figure 3).

For color b\*, there were also significant differences ( $\alpha \leq 0.05$ ) (Figure 4). The control fruits were less yellow, becoming green-blue (start of tanning), than those treated with RVS-BAP, for both 'Ruth' and 'Fino de Jete'. The fruits treated with RVS-BAP maintained a yellow tone, although a little bit less than when the fruit was harvested.

Although the values of Chroma and Hue, were estimated, in the present paper only the results of a\* and b\*, are presented because in these fruits, even in its physiological maturity, they are still green, and not other pigmentations, are observed only the tanning or darkening of the skin (González *et al.*, 2010; Prieto *et al.*, 2007).

In some fruits and vegetables, application of BAP alone maintained the green color of harvest during postharvest (Zhu *et al.*, 2004; Zaicovski *et al.*, 2008; Aghofack-Nguemezi

and Manka'abiengwa, 2012). Additionally, the application of RVS in mandarin (*Citrus unshiu* Marc) inhibited the discoloration of the peel (Cherukuri *et al.*, 2007). In both cases, the effect was attributed to the antioxidant properties of RVS-BAP (Cherukuri *et al.*, 2007). Morales *et al.* (2014) reported that the application of only RVS in 'Fino de Jete' cherimoya did not prevent the development of a tanned peel. It is known that after harvest, the color of the peel becomes darker, a regular process due to enzymatic oxidation by polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) (Prieto *et al.* 2007). Our results indicate that BAP, in this case applied together with RVS, maintains cherimoya fruit color factors L \*, a \* and b \*, thus decreasing tanning of the peel.

#### *Fruit firmness*

From 1 DAH, 'Fino de Jete' had better firmness than 'Ruth'. This might be one of the reasons that 'Fino de Jete' is an international cultivar and 'Ruth' is a local selection. Moreover, in both materials, from 3 DAH to 15 DAH, the combined application of RVS-BAP reduced the rate of fruit softening ( $\alpha \leq 0.05$ ) (Figure 5) relative to control, regardless of the day of application. When RVS-BAP was applied at 8 DBH, the softening rate was reduced by 6.5 % and 7.2 %, respectively, for 'Ruth' and 'Fino de Jete'. When treatment occurred at 15 DBH, the rate was reduced by 3.1 % and 10.3 %. Morales *et al.* (2014) decreased the rate of fruit softening by 78 % and 54 % for 'Fino de Jete' and 'Bronceada', respectively, by applying RVS at 8 or 15 DBH. Jiménez *et al.* (2005) suggested that fruit firmness is closely related to dehydration; as the latter is avoided, the fruits remain turgid and stay strong. Thus, the results confirm a close relationship between fruit firmness and dehydration; the simultaneous application of RVS-BAP decreased both rates.

Van Buren (1986) explained that because RVS is a polyphenol, it promotes cell-wall lignification, preventing hydrolysis of the pectic polymers. Tentatively, the application of

RVS-BAP delayed hydrolysis of the pectin chains, thus maintaining cell-wall integrity and preventing softening.

#### *Peel firmness*

A similar effect on fruit firmness was observed. The application of both vegetative bio-regulators reduced the rate of softening of the peel (Figure 6). In ‘Ruth’, this difference was consistent during the 15 days of storage; especially from 5 DAH to the end of the storage period. Moreover, when RVS – BAP was treated with 15 DBH, the prevention of softening was greater (5.2 %) ( $\alpha \leq 0.05$ ) than those results presented for 8 DBH application (Figure 6). For ‘Fino de Jete’, application at 15 DBH generated 10.9 % less softening relative to control. Other studies have found that strengthening the firmness of the peel promotes cherimoya fruit resistance to handling and transportation (Morales *et al.*, 2014).

#### *Pectinmethylesterase.*

PME activity in both ‘Ruth’ and ‘Fino de Jete’ increases immediately after harvest (5 DAH). The activity decreases gradually and consistently with maturity and ripeness at 15 DAH (Figure 7). For ‘Ruth’, at 1, 5 and 7 DAH, PME activity was higher in fruits treated with RVS-BAP 15 DBH. In ‘Fino de Jete’, the activity of PME after application at both dates was higher than controls at only 1 and 3 DAH; application at 8 DBH always exceeded the control. This paper confirms the idea of Brady *et al.* (1987) because most PME activity occurred in the initial days of storage. The PME activity was related to the softening of the fruit, particularly in ‘Fino de Jete.’ Lower firmness corresponded to higher enzyme activity (Table 1).

#### *Polygalacturonase*

PG activity increased during the ripening process for both ‘Ruth’ and ‘Fino de Jete’ (Figure 8). Maximum activity occurred in the early days after harvest in control fruits, and it

increased from 7 DAH in fruit treated with RVS-BAP, for both the ‘Ruth’ and ‘Fino de Jete’ varieties. Hadfield and Bennett (1998) found that the activity of PG contributes to the softening of the fruit, which is supported by the correlation between PG activity and fruit firmness at 3, 5 and 7 days of storage (Table 1). Our results support the idea of the effectiveness of RVS reducing the rate of softening in cherimoya (Morales *et al.*, 2014) and show that this effect is not lost when RVS is applied in combination with BAP.

#### *Reducing sugars*

For ‘Ruth’, we found a significant difference between treatments ( $\alpha \leq 0.05$ ), but it was not continuous during the storage period. At 1, 3 and 13 DAH, the application of 1.6 mM RVS-1.0 mM BAP at 15 DBH resulted in higher reducing sugar contents relative to control. Additionally, at 13 DAH, the application of the RVS-BAP at both dates generated higher sugar content than control treatment. In ‘Fino de Jete’, from day 7 of storage, the control fruits always had lower values than those observed with the application of RVS-BAP. This result is opposite to that reported by Morales *et al.* (2014) in ‘Fino de Jete’ treated with 1.6 mM RVS at 8 DBH; in that case, a reduction in sugar content was observed. This effect was explained by suggesting that RVS reduced senescence, which may in turn reduce the rate of synthesis of reducing sugars. The inconsistency in the results may be due to the effect of BAP or a possible effect of the environment, such as different growing conditions for each year. However, this reaffirms that RVS has no adverse effects by inhibiting senescence in cherimoya (Morales *et al.*, 2014).

#### *Ascorbic acid*

For this variable, we did not observe any significant differences between treatments ( $\alpha \leq 0.05$ ). A decrease in ascorbic acid content (data not shown) was observed in both cultivars from harvest to ripening, as reported previously (Morales *et al.*, 2014).



## **Conclusions**

The use of 1.6 mM resveratrol and 1.0 mM benzylaminopurine may improve the handling and transportation of cherimoya. Application of these compounds, 8 days before harvest was best for 'Ruth' and 15 days for cherimoya 'Fino de Jete' by reducing the symptoms of fruit senescence. Changes in peel color, fruit and peel softening and fruit weight loss were reduced by treatment with resveratrol-benzylaminopurine. No detrimental effects were observed during the 15 days of storage at room temperature after application of these compounds.

## **Acknowledgment**

Aaran A. Morales P. had a fellowship of CONACYT Mexico. Mr. Pedro Mijares Oviedo allowed us the chance to work in the cherimoya field research.

## **Resumen**

**A. Morales-Pérez, O. Franco-Mora, A. Castañeda-Vildózola, E. Morales-Rosales. La sinergia de resveratrol y bencilaminopurina preservan la calidad postcosecha en chirimoya (*Annona cherimola* Mill.). Cien. Inv. Agr.** El fruto de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) es climatérico y altamente perecedero. De cosecha a consumo, se vuelve muy blando y su cáscara se ennegrece, esto dificulta su manejo en poscosecha sin sufrir daño. Con el propósito de preservar la calidad en poscosecha, se aplicó en frutos de 'Ruth' y 'Fino de Jete' simultáneamente 1.6 mM de resveratrol (RVS) y 1.0 mM de bencilaminopurina (BAP) y como control 0.0 mM de RVS-BAP; esto a los 8 y 15 días antes de la cosecha (DAC). Quince días después de cosecha (DDC) almacenados a temperatura ambiente, la aplicación de 1.6 mM de RVS-1.0 mM BAP redujo la pérdida de

peso 5.5 % para 'Ruth' y 9.9 % para 'Fino de Jete'; el color L\*, oscurecimiento de cáscara de fruto fue reducido en 32.1 % para 'Ruth' y 27.7 % para 'Fino de Jete'; redujo el ablandamiento del fruto en 7.2 % para 'Ruth' y 10.3 % para 'Fino de Jete'; la firmeza de la cáscara del fruto fue más resistente en 5.2 % para 'Ruth' y 10.9 % para 'Fino de Jete'. Se comprobó que la actividad enzimática de pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG) se relacionan íntimamente con el ablandamiento de chirimoya. La actividad máxima de PG fue mostrada a 7 DDC en frutos tratados con 1.6 mM RVS- 1.0 mMBAP en comparación a 5DDC en frutos testigo tanto para 'Finos de Jete' y 'Ruth'.

**Palabras clave:** ablandamiento del fruto, actividad enzimática, polifenol, calidad poscosecha.

## 6. References

Aghofack-Nguemezi, J., and J. Manka'abiengwa. 2012. Effects of exogenously applied benzylaminopurine and kinetin on the ripening of banana (*Musa acuminata* Colla var. William) fruits. *American Journal of Plant Physiology* 7:154-163.

Agustín, J.A., and L.H. Hernández. 2011. *Biología, diversidad, conservación y uso sostenible de los recursos genéticos de Annonaceae en México*. Universidad Autónoma Chapingo Centro Regional Universitario Centro Occidente. Chapingo México.

Brady, C. J. 1987. Fruit ripening. *Annual Review of Plant Physiology* 38:155-178.

Cherukuri, K., F. Woods, W. Dozier, R. Ebel, and D. White. 2007. Effect of transresveratrol treatment on color retention of satsuma mandarin fruit. *Journal of Horticultural Sciences* 42: 919-1022.

Costa, M.L., P.M. Civello, A.R. Chávez y G.A. Martínez. 2005. Effect of ethephon and 6 benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and a peroxidase linked chlorophyll bleaching during postharvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20 °C. *Postharvest Biology and Technology* 35: 191-199.

Gambini, J., R. López-Grueso, G. Olaso-González, M. Inglés, K. Abdelazid, M. El Alami, V. Bonet-Costa, C. Borrás, and J. Viña. 2013. Resveratrol: distribución, propiedades y perspectivas. *Revista Española de Geriatria y Gerontología* 48: 79-88.

González, M., S. Peinado, V. Pinillos, J.J. Hueso, F. Alonso. 2010. Fenología de la maduración del fruto en chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Determinación de un índice de recolección. Fundación Cajamar. Almería, España. 27 p.

Goñi, I., A. García-Alonso, and F. Saura-Calixto. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research* 17:427-437.

Hadfield, K.A., and A. Bennett. 1998. Polygalacturonases: Many genes in search of a function. *Plant Physiology* 117:337-343.

Hagerman, A. E., and P.J. Austin. 1986. Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 34:440-444.

Jiménez, J.B., J.M. Orea, C. Montero, A. González-Urena, E. Navas, K. Slowing, M.P. Gomez- Serranillos, E. Carretero, and D. De Martinis. 2005. Resveratrol treatment controls microbial flora, prolongs shelf life, and preserves nutritional quality of fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 1526-1530.

Kavati, R. 1997. Embalagem e comercialização. In: São José, A.R.; Souza, I.V.B.; Morais, O.M.; Rebouças, T. N. H. Anonáceas: Produção e mercado. Vitória da Conquista: UESB/DFZ.

Leal, F. 1990. Sugar Apple. In: Nagy, S., P. E. Shaw, and W. F. Wardowski (eds). Fruits of Tropical and Subtropical Origin Composition, Properties and Uses. Florida Science Source, Inc., Lake Alfred, Florida.

Lim, P.O., H.J. Kim, and H.G. Nam. 2007. Leaf senescence. *Annual Review of Plant Biology* 58:115–136.

MacDonnell, L.R., E. Jansen, and H. Lineweaver. 1945. The properties of orange pectinesterase. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 6:627-632.

Miller, A. R. 1992. Physiology, biochemistry and detection of bruising (mechanical stress) in fruits and vegetables. *Postharvest News and Information* 3: 53-58.

Montero, C., J.M. Orea, M.S. Muñoz, R.F. Lobo, A. González Ureña. 2000. Non-volatile analysis in fruits by laser resonant ionization spectrometry: application to resveratrol in grapes. *Journal of Applied Physiology* 71:601–605.

Morales, P.A., O. Franco-Mora, A. Castañeda-Vildolsola, and E. Morales-Rosales. 2014. El efecto antisenescente del resveratrol reduce la tasa de ablandamiento poscosecha de chirimoya. *Scientia Agricola* 5: 35-44.

Pinto, A., M. Cordeiro, S. De Andrade, F. Ferreira, H. Filgueiras, R. Alves, and D. Kinpara. 2005. *Annona* species. International Centre for Underutilized Crops, University of Southampton, Southampton, UK.

Prieto, H., D. Utz, A. Castro, C. Aguirre, M. González-Agüero, H. Valdés, N. Cifuentes, B.G. Defilippi, P. Zamora, G. Zúñiga, R. Campos-Vargas. 2007. Browning in *Annona cherimola* fruit: role of polyphenol oxidase and characterization of a coding sequence of the enzyme. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 9208-9218.

Vanhove, W., and P. Van Damme. 2013. Value chains of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) in a centre of diversity and its on-farm conservation implications. *Tropical Conservation Science* 6:158-180.

Van Buren, J.P. 1986. Softening of cooked snap beans and other vegetables in relation to pectins and salts. *Chemistry and function of pectins. ACS Symposium Series* 310: 190-199.

Zaicovski, C. B., T. Zimmerman, L. Nora, F.R. Nora, J.A. Silva, and C.V. Rombaldi. 2008. Water stress increases cytokinin biosynthesis and delays postharvest yellowing of broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology* 49: 436-439.

Zhu, L. H., A. Van de Pappel, X.Y. Li, and M. Welander. 2004. Changes of leaf water potential and endogenous cytokinins in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought conditions. *Scientia Horticulturae* 99: 133-141.

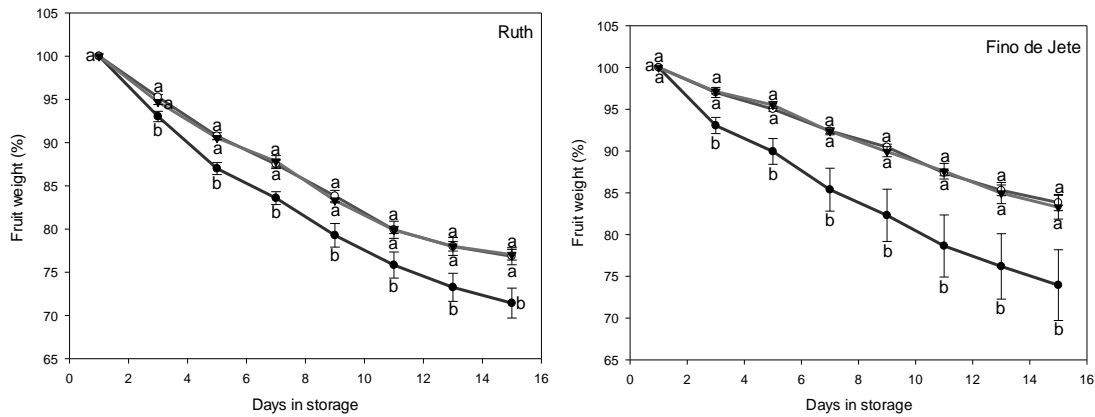


Figure 1 - Weight loss in 'Ruth' and 'Fino de Jete' cherimoya fruits stored at room temperature and previously treated with 1.6 mM RVS - 1.0 mM BAP, at 8 DBH (○) or 15 (▼) DBH and control (●). Different letters indicate significant differences related to treatment. Data are the average of 9 fruits  $\pm$  EE.

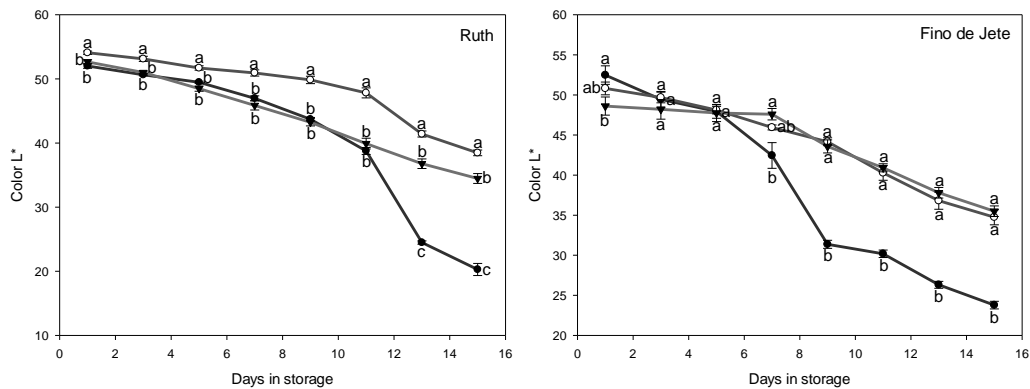


Figure 2. Color L\* in 'Ruth' and 'Fino de Jete' cherimoya fruits stored at room temperature and previously treated with 1.6 mM RVS - 1.0 mM BAP, at 8 DBH (○) or 15 (▼) DBH and control (●). Different letters indicate significant differences related to treatment. Data are the average of 9 fruits  $\pm$  EE.

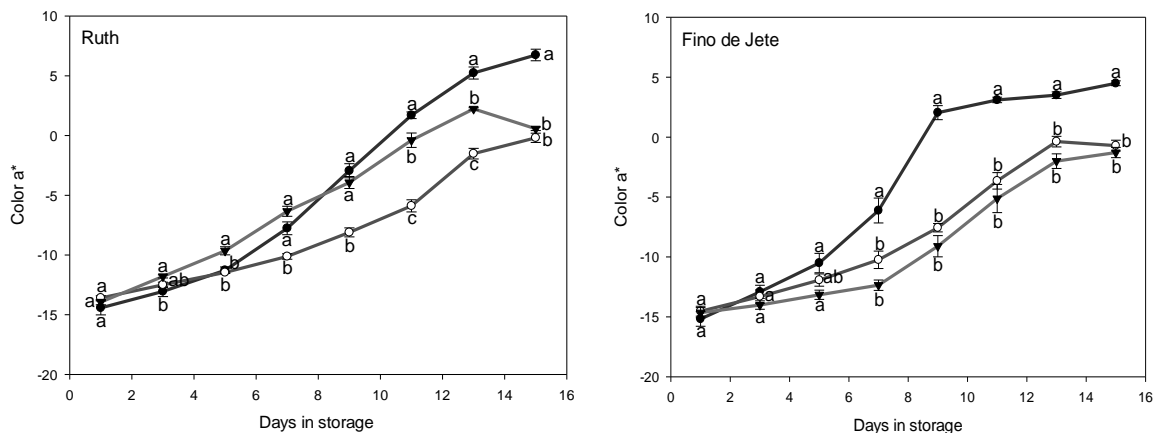


Figure 3. Color a\* in 'Ruth' and 'Fino de Jete' cherimoya fruits stored at room temperature and previously treated with 1.6 mM RVS - 1.0 mM BAP, at 8 DBH (O) or 15 (▼) DBH and control (●). Different letters indicate significant differences related to treatment. Data are the average of 9 fruits  $\pm$  EE.

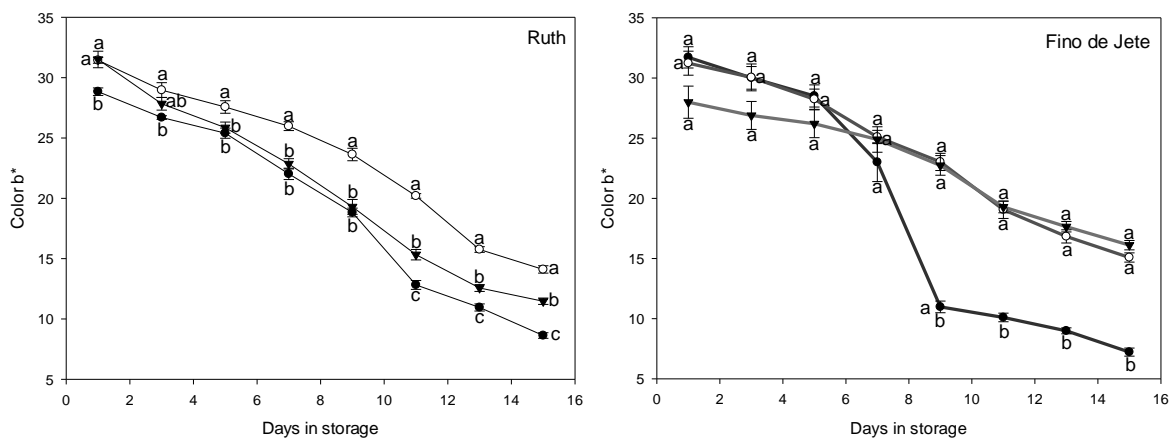


Figure 4. Color b\* in 'Ruth' and 'Fino de Jete' cherimoya fruits stored at room temperature and previously treated with 1.6 mM RVS - 1.0 mM BAP, at 8 DBH (O) or 15 (▼) DBH and control (●). Different letters indicate significant differences related to treatment. Data are the average of 9 fruits  $\pm$  EE.

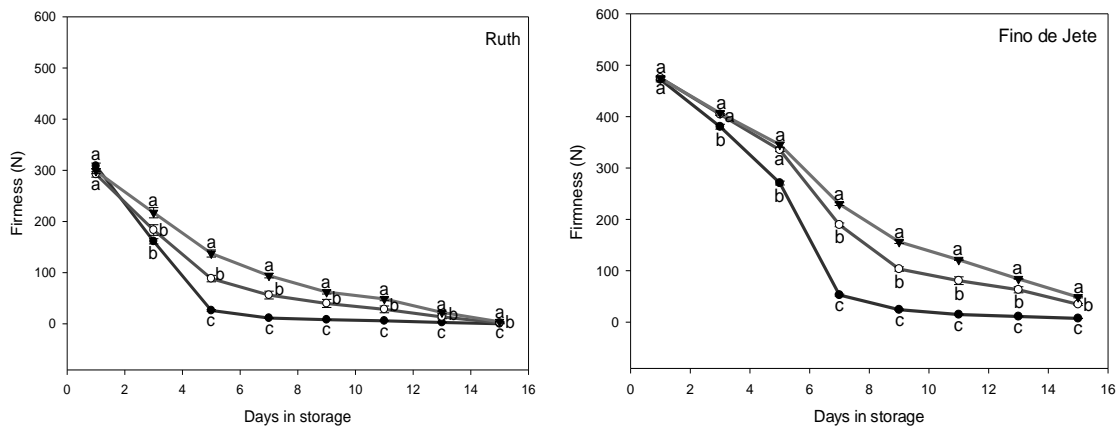


Figure 5. 'Ruth' and 'Fino de Jete' cherimoya fruit firmness, following storage at room temperature and previous application of 1.6 mM RVS - 1.0 mM BAP, at 8 DBH (O) or 15 (▼) DBH, and control (●). Different letters indicate significant differences related to treatment. Data are the average of 9 fruits  $\pm$  EE.

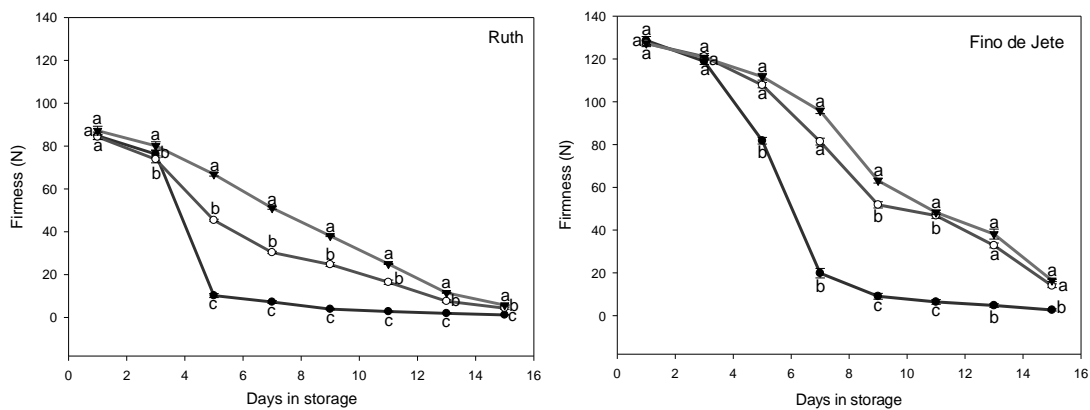


Figure 6. Firmness in 'Ruth' and 'Fino de Jete' cherimoya peels. Fruits were stored at room temperature and after treatment with 1.6 mM RVS - 1.0 mM BAP, at 8 DBH (O) or 15 (▼) DBH and control (●). Different letters indicate significant differences related to treatment. Data are the average of 9 fruits  $\pm$  EE.



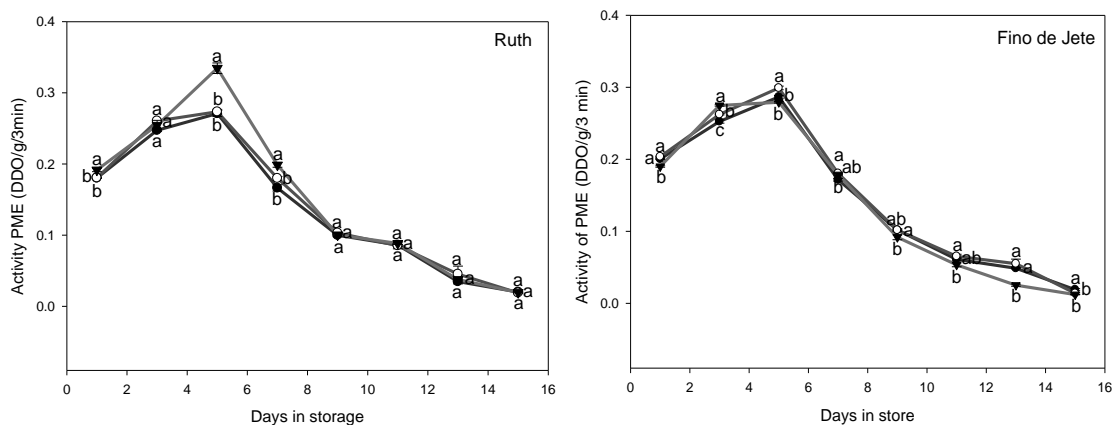


Figure 7. Kinetics of pectinmethylesterase in 'Ruth' and 'Fino de Jete' cherimoya fruit stored at room temperature and treated previously with 1.6 mM RVS - 1.0 mM BAP, at 8 DBH (○) or 15 (▼) DBH and control (●). Different letters indicate significant differences relative to treatment. Data are the average of 9 fruits  $\pm$  EE.

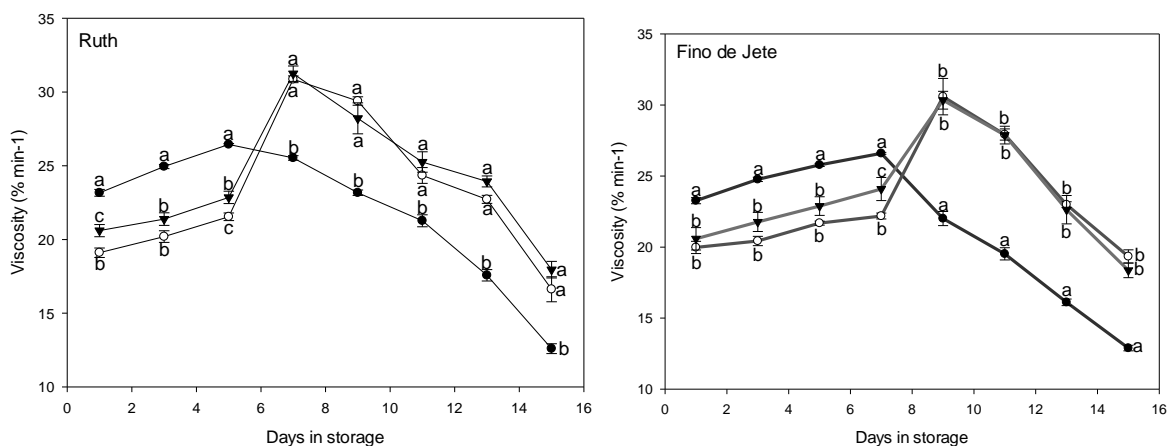


Figure 8.- Polygalacturonase activity in cherimoya fruit stored at room temperature and after treatment with 1.6 mM RVS - 1.0 mM BAP, at 8 DBH (○) or 15 (▼) DBH and control (●). Different letters indicate significant difference related to treatment. Data are the average of 9 fruits  $\pm$  EE.

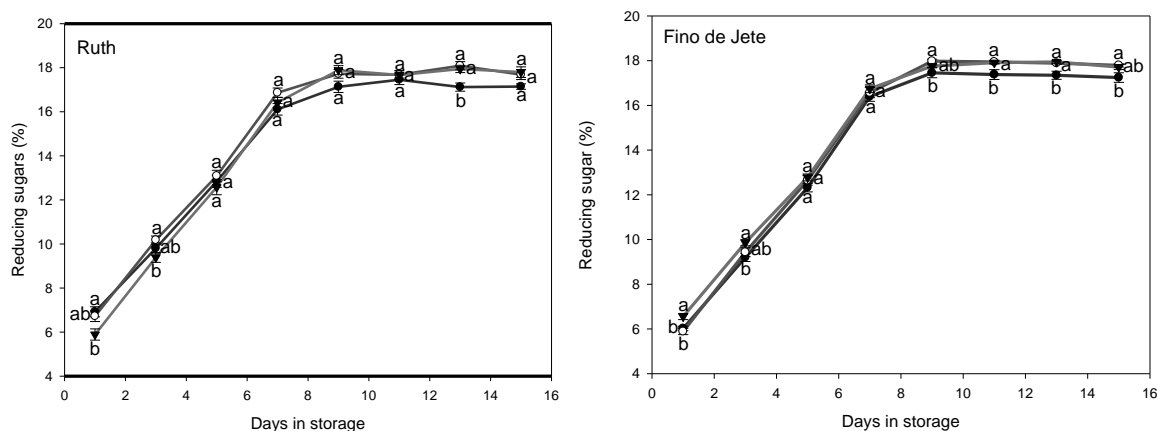


Figure 9.- Reducing sugars in ‘Ruth’ and ‘Fino de Jete’ cherimoya fruit stored at room temperature after treatment with 1.6 mM RVS - 1.0 mM BAP, at 8 DBH (○) or 15 (▼) DBH and control (●). Different letters indicate significant differences relative to treatment. Data are the average of 9 fruits  $\pm$  EE.

Table 1. Correlations between fruit firmness, skin firmness, pectinmethylesterase enzyme activity, and polygalacturonase during the postharvest life of cherimoya treated with resveratrol and benzylaminopurine.

	Fruit firmness		Peel firmness				
	9 DAH	11 DAH	5 DAH	7 DAH	9 DAH	11 DAH	13 DAH
‘Ruth’							
<b>PG 3 DAH</b>	-	-	-0.725**	-	-	-	-
‘Fino de Jete’							
<b>PME 3 DAH</b>	-0.866**	-0.790*	-	-	-	-	-
<b>PG 3 DAH</b>	-	-	-	-0.722***	-0.719***	-0.770***	-0.733**
<b>PG 5 DAH</b>	-	-	-	-0.738***	-0.733***	-0.785***	-0.740***
<b>PG 7 DAH</b>	-	-	-	-	-	-0.702***	-

DAH: Days after harvest; PG: polygalacturonase; PME: pectinmethylesterase; \* = ( $\alpha \leq 0.05$ ); \*\* = ( $\alpha \leq 0.01$ ); \*\*\* = ( $\alpha \leq 0.001$ ).

## VI. CONCLUSIONES

Con 1.6 mM de RVS 15 DAC los frutos de chirimoya ‘Fino de Jete’ almacenados a temperatura ambiente, y sometidos a simulación de transporte, redujeron ligeramente su tasa de deshidratación, y principalmente, existió reducción en la tasa de ablandamiento de fruto y de la cáscara. Este trabajo confirma la idea de que resveratrol pueda ayudar en aumentar la vida poscosecha de chirimoya (Morales *et al.*, 2104), en este caso, aún bajo condiciones simuladas de manipulación y vibración de transporte.

La aplicación de 1 mM de 6-bencilaminopurina, tanto 8 o 15 días antes de cosecha, redujo el oscurecimiento poscosecha de la cáscara de chirimoya en unidades L\*. Al almacenarse a temperatura ambiente, la reducción del oscurecimiento de la cáscara por BAP, es una alternativa inocua para preservar la calidad del fruto en atributo de apariencia.

La aplicación simultanea de 1.6 mM de resveratrol y 1.0 mM de bencilaminopurina, tuvo la capacidad de preservar la calidad en poscosecha en frutos de chirimoya, a 8 días fue mejor para selección ‘Ruth’ y 15 días para ‘Fino de Jete selección. La utilización de RVS-BAP, son alternativas diferentes a cadenas frías comunes en poscosecha para frutos, esta innovación permitirá el manejo y transportación de chirimoya disminuyendo los daños susceptibles, así permitirá que chirimoya se comercialice a nuevos y distantes mercados del origen de su producción.

## VII. BIBLIOGRAFIA

1. Accorsi, M. R. e Manica, I. 1994. Colheita, armazenamento e utilização. In: fruticultura cultivo das anonáceas: ata cherimólia graviola. Evangraf. Porto Alegre, Brasil.
2. Agustí, J., P. Merelo, M. Cercós, F. R. Tadeo, Talón M. 2008. Ethylene-induced differential gene expression during abscission of Citrus leaves. *Journal of Experimental Botany* 59: 2717-2733.
3. Alique, R., and Oliveira G.S.. 1994. Changes in sugars and organic acids in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit under controlled atmosphere storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 42:799-803.
4. Alves, R.E., Filgueiras, H.A.C. e Mosca, J.L. 1997. Colheita e pós-colheita de anonáceas. In: São José, A.R.; Souza, I.V.B.; Morais, O.M. et al. Anonáceas: produção e mercado (pinha, graviola, atemóia e cherimólia). Vitória da Conquista: DFZ/UESB. pp.240-256.
5. Amiot, M., Forget F., and Goupy P. 1996. Polyphenol, oxidation and colour: progress in the chemistry of enzymatic and non-enzymatic derived products. *HerbaPolonica* 42: 237-247.
6. Andrés, J.A. 1997. El cultivo del chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.) en el estado de Michoacán, México. *American Society for Tropical Horticulture*. 41: 152-161.
7. Anterola, A. and Lewis N. G. 2002. Trends in lignin modification: a comprehensive analysis of the effects of genetic manipulations mutations on lignification and vascular integrity. *Phytochemistry*. 61: 221-294.

8. Aghofack-Nguemezi, J. and Manka'abiengwa J. 2012. Effects of exogenously applied benzylaminopurine and kinetin on the ripening of banana (*Musa acuminata* Colla var. William) fruits. *American Journal Plant Physiology*. 7:154-163.
9. Artés, F. y Artés-Hernández F. 2003. Daños por frío en la postrecolección de frutas y hortalizas. In: A. López, A. Esnoz y F. Artés. *Avances en Ciencias y Técnicas del Frío*. Ed. UPCT y SECYTEF. Cartagena, España. pp.299-310.
10. Asif, M.H. and Nath P. 2005. Expression of multiple forms of polygalacturonase gene during ripening in banana fruit. *Plant Physiology & Biochemistry*. 43: 177-184.
11. Babu, K.H., Zaheeruddin M. D. and Prasad P.K. 1990. Studies on postharvest storage of custard apple. *Acta Horticulturae*. 269:299.
12. Barreiro, M.J. y Sandoval B.A. 2006. Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Ed. Equinoccio. Caracas, Venezuela.
13. Bayle, H.L. 1949. *Manual of cultivate plants*. Macmillan, New York. 868 p.
14. Belotto, F.A. e Manica I. 1994. Clima e Solo. In: MANICA, I. (Ed.). *Fruticultura - cultivo das anonáceas: ata, cherimólia e graviola*. Porto Alegre: Evangraf. pp. 12-17..
15. Biale, J. B. and Barcus, D. E. 1970. Respiratory patterns intropical fruits of the Amazon basin. *Tropical Science*. 12:93-105.
16. Bray, E., Bailey-Serres J. and Weretilnyk E. 2000. Responses to abiotic stresses. In: Buchanan, B; Gruissem, W; Jones, R. eds. *Biochemistry and molecular biology of plants*. American Society of Plant Physiologists. Maryland, USA. p. 1158-1203.
17. Brown, B.I., Wong L.S., George A.P. and Nissen R.J. 1988. Comparative studies on the postharvest physiology offruit from different species of *Annona* (custard apple). *Journal of Horticultural Science*, 63:521-528.

18. Bonaventura, L. 1999. The cultivation of the cherimoya and its hybrid atemoya in Brazil. *Acta Horticulturae* 497: 143-146.
19. Boscan, D.M.N. y Godoy F.J. 1989. Distribución geográfica de *Talponia* sp., *Cerconota anonella* spp. y *Bephratelloides* sp perforadores de flores y frutos de guanábana en Venezuela. *Agronomía Tropical*. 39(4-6):319-323.
20. Bruinsma, J. and Paull, R. E. 1984. Respiration during postharvest development of soursop fruit, *Annona muricata* L. *Plant Physiology*. 76:131-138.
21. Bujanda, L., Garcia M. and Gutierrez V. 2006. Effect of resveratrol on alcohol-induced mortality and liver lesions in mice. *Journal BMC Gastroenterol* 6:35.
22. Caldiz, D. O., Fernández L. V., Marco F. y Clúa A. 1997. Efectos de la Hidrazida Maleica sobre el rendimiento, contenido de materia seca y brotación en papa (*Solanum tuberosum* L. cv. Spunta) destinada al consumo fresco. *Revista de la Facultad de Agronomía. La Plata* 102: 163-173.
23. Calzavara, B.B.G. and Müller C.H. *Fruticultura tropical: a gravioleira Annona muricata* L. Belém: EMBRAPA, CPATU, 1987. 36p. (Documento, 47).
24. Carbonell, A., Valero D., Martínez D., Serrano M., Burló F., Martínez F., and Riquelme F. 2000. Polyamines: Biosynthesis, metabolism and their role in ripening and postharvest handling of fruits. *Food Science and Technology International* 6:85-95.
25. Carpita N. and Mccann M. 2000. The cell wall. En: Buchanan B., Gruissem W., Jones R. (Eds.) *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. USA: American Society of Plant Physiologists, pp. 52-108.
26. Carrington, C., Greve L. and Labavitch J. 1993. Cell wall metabolism in ripening fruit. VI. Effect of the antisense polygalacturonase gene on cell wall changes accompanying ripening in transgenic tomatoes. *Plant Physiol*. 103:429-434.

27. Castañeda, V.Á., Nava C.D., Hernández F.L.M., Valdez C.J. and Colunga T.B. 2009. New Host Record and Geographical Distribution of *Optatus palmaris* Pascoe 1889 (Coleoptera: Curculionidae) in México. *Acta Zoológica Mexicana* 25: 663-666.
28. Cerdas, M.M. y Moreno F. 2000. Diagnóstico de manejo poscosecha de anona. San José, Costa Rica, Convenio Poscosecha UCR-CNP. Mimeografiado. sp.
29. Cerdas, M.M., Umana G. y Castro J.J. 2007. Manual de manejo poscosecha de anona (*Annona cherimola* Mill). Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 58 p.
30. Chhatpar, H.S., Mattoo A.K. and Modi V.V. 1971. Biochemical studies in chilling injury in mangoes. *Phytochemistry* 10: 1007-1009.
31. Cherukuri, K., Woods F., Dozier W., Ebel R. and White D. 2007. Effect of transresveratrol treatment on color retention of satsuma mandarin fruit. *Journal of HortScience* 42: 982-983.
32. Coronel, R. E. 1994. Atis. In R. E. Coronell, J. C. Zuno, & R. C. Sotto (Eds.), *Promising fruits of the Philippines* (pp. 1–18). Laguna: College of Agriculture, University of the Philippines at Los Banos, Philippines.
33. Costa, M.L., Civello P.M., Chávez A.R. and Martínez G.A. 2005. Effect of ethephon and 6 benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and a peroxidase linked chlorophyll bleaching during postharvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20 °C. *Postharvest Biology and Technology* 35: 191-199.
34. Croat, T.B., 1978. *Flora of Barro Colorado Island*. Stanford University Press, Stanford, CA.

35. Cuevas, J., Gonzalez M. and Hueso J.J. 2011. Cherimoya and Loquat, in soil, plant growth and plant production, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Chapter: Publisher: Eolss Publishers, Oxford, UK,, Editors: Ed. Willy H. Verheye. pp.1-31
36. Davenport, J, B. and Ellis S. C. 1959. Chemical changes during growth and storage of the avocado fruit. Australian Journal of Biological Sciences. 12:445-454.
37. De La Plaza, J. L. 1980. Controlled atmosphere storage of cherimoya. Proceedings of 15th international congress of refrigeration (pp. 701–712). Venice: International Institute of Refrigeration.
38. De Smet, S., Scheldeman, X., Romero, J. and Van Damme, P. 1999. Seed Structure and Germination of Cherimoya (*Annona cherimola* Mill.). Acta Horticulturae, 497, 269 - 279.
39. Delgado, O.C. 2005. El cultivo de la chirimoya. Fomento Nacional de fomento Hortícola. Asociación Hortofrutícola de Colombia. Bogota, Colombia. 12 p.
40. Díaz, J. 1981. Atlas de las frutas y hortalizas. Valencia, España, Artes Gráficas Vincent S. A. 432 p.
41. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). 2011. Chapter: Cherimoya and Loquat, in soil, plant growth and plant production, Publisher: Eolss Publishers, Oxford, UK, Editors: Ed. Willy H. Verheye, pp.1-31.
42. Farré, J.M. y Hermoso J.M. 1997. El chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.) en España. In: São José, A.R., Souza, I.V.B., Morais, O.M., Rebouças, T.N.H.(Ed.). Anonáceas, produção e mercado (Pinha, Graviola, Atemóia e Cherimólia). Vitória da Conquista: DFZ/UESB. p.84-87.
43. Ferrucci, P. F. 1997. Estudio global para identificar oportunidades de mercado de frutas y hortalizas de la región andina (primera parte). Informe final. Instituto Interamericano



- de Cooperación para la Agricultura-Agencia de Cooperación Técnica en Ecuador.  
Quito, Ecuador.
44. Fidelibus, M. W., Davies F. S. and Campbell C. A. 2002. Gibberellic acid application timing affect fruit quality of processing oranges. *Scientia Horticulturae*. 37:353-357.
  45. Franciosi, R. 1996. Producción de chirimoya en el Perú. EXPOAGRO (Peru). 13:20-21.
  46. Fries, R. E. 1959. Annonaceae. In: *Die Natürlichen Pflanzenfamilien 2<sup>e</sup>* Edited by A. Engler and Prantl K. Aufl., Band 17a II: 1-171, Berlin, Germany.
  47. Fouqué, A. 1972. Especies frutieras d'Amérique Tropicale. *Fruits* 27(1): 62-72.
  48. Fuster, C. and Prestamo G. 1980. Variation of cherimoya (*Annona cherimola*) texturing during storage as determined with an instron food testing instrument. *Journal of Food Science*, 45, 142–145.
  49. Gambetta, G. 2009. Control endógeno y exógeno de la maduración externa de los frutos cítricos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Producción Vegetal. Valencia España, 183 p.
  50. Gambini, J., López-Grueso R., Olaso-González G., Inglés M., Abdelazid K., El Alami M., Bonet-Costa V., Borrás C., and Viña J. 2013. Resveratrol: distribución, propiedades y perspectivas. *Revista Española de Geriatria y Gerontología* 48: 79-88.
  51. Gardiazábal, F. and Rostenberg G. 1993. El cultivo del Chirimoyo. Universidad Católica de Valparaiso, Facultad de Agronomía, Valparaiso, Chile. pp.145.
  52. George, A. P. 1984. Annonaceae, pp. 35-41. In: *Tropical Tree Fruits for Australia*. Page, P.E. (ed.). Department of Primary Industries. Queensland, Australia.
  53. George, A. P., Nissen R. J., and Brown B.I. 1987. The custard apple. *Queensland Agricultural Journal* 113: 287–297.

54. Geurts, C. 1981. *Annonaceous Fruits*. Royal Tropical Institute, Amsterdam. The Netherlands. pp. 16.
55. Gibs, W. 2004. El nacimiento de la epigenética. *Investigación y Ciencia* 331: 16-23.
56. Giovannoni J. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52:725-749.
57. González, M., Peinado S., Pinillos V., Hueso J. J. and Alonso, F. 2010. Fenología de la maduración del fruto en chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Determinación de un índice de recolección. Fundación Cajamar. Almería, España. 27 p.
58. Gonzalo, A., Vidal P., Mínguez S., and Antolí A. 1995. Concentration of resveratrol in wines from Catalonia, Spain. *Journal of Wine Research* 6: 213-218.
59. Goñi, O., Sanchez-Ballesta T., Merodio C. and Escribano, M. I. 2009. Regulation of defense and cryoprotective proteins by high levels of CO<sub>2</sub> in *Annona* fruit stored at chilling temperature. *Journal of Plant Physiology*, 166, 246–258.
60. Gray, J., Picton S., Giovannoni J. and Grierson D. 1994. The use of transgenic and naturally occurring mutants to understand and manipulate tomato fruit ripening. *Plant, Cell and Environment* 17:557-571.
61. Grossberger, D. 1999. The California cherimoya industry. Proceedings of the First International Symposium on Cherimoya, Loja, Ecuador, 16-19 de marzo de 1999. *Acta Horticulturae*.
62. Guirado, E., Hermoso J.M., Pérez M.A., García J. y Farré J.M. 2001. Polinización del chirimoyo. Estación Experimental La Nacla. CSIC, Junta de Andalucía, Caja Rural de Granada. 52 p.

63. Gutiérrez, M., Lahoz J.M., Sola M.M., Pascual L., and Vargas A.M.. 1994. Postharvest changes in total soluble solids and tissue pH of cherimoya fruit stored at chilling and non-chilling temperatures. *Journal of Horticultural Sciences*. 69:459-463.
64. Hagerman, A. E., and Austin P.J. 1986. Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 34:440-444.
65. Higuchi H., Utsunomiya N. and Sakuratani T. 1998. High temperature effects on cherimoya fruit set, growth and development under greenhouse conditions. *Journal of Horticultural Sciences*. 77: 23-21.
66. Ibar, L. 1979. Cultivo del aguacate, chirimoyo, mango y papaya. Aedos, Barcelona.
67. Jeandet, P., Bessis R., Maume B. F., and Sbagui M. 1993. Analysis of resveratrol in Burgundy wines. *Journal of Wine Research* 4: 79-85.
68. Jenner, C.F. 1982. Storage of starch. pp. 700-747. En: Loewus, F.A. y W. Tanner (eds.). *Encyclopedia of plant physiology*. New series, 13A. Plant carbohydrates I. Intracellular carbohydrates. Springer-Verlag, Berlín.
69. Jiménez, J. B., Orea J. M., Montero C. C., González-Urena A., Navas E., Slowing K., Gomez- Serranillos, M. P. Carretero, E. and De Martinis D. 2005. Resveratrol treatment controls microbial flora, prolongs shelf life, and preserves nutritional quality of fruit. *Journal Agricultural and Food Chemistry* 53: 1526-1530.
70. Kosiyachinda, S. and Young R.E. 1975 Relationship of ethylene production to the initiation of the respiratory climateric in fruits. *Plant Cell Physiology*. 16: 505-605.
71. Lahoz, J.M, Gutierrez M., Sola M.M., Salto R., Pascual L., Martinez-Cayuela M. and Vargas A.M.. 1993. Ethylene in cherimoya fruit (*Annona cherimola* Mill.) under different storage conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 41:721-723.

72. Lamúa, M. 2000. Aplicación del frío a los alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 360 p.
73. Leal, S. 1990. Tamaño celular y concentración de cinco especies de microalgas cultivadas tratadas con antibióticos. *Revista Investigaciones Marinas*. 11(1): 51-62.
74. Leboeuf, M.A., Cave F.K., Bhaumik R. and Mukerjee B. 1982. The phytochemistry of Annonaceae. *Phytochemistry*, 21: 2783-2813.
75. Lima, M. A. C., De Alves R. E., Filgueiras H. A. C. e Enéas-Filho, J. 2003. Comportamento respiratório e qualidade pós-colheita de graviola (*Annona muricata* L.) 'Morada' sob temperatura ambiente. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal. 25: 49-52.
76. Lizana, L. A. e Irrazabal J. M. 1984. Comportamiento en poscosecha de chirimoya (*Annona cherimolla* Mill) sometida a bajas temperaturas y encerado. *American Society for Horticultural Science* 28: 63-70.
77. Lizana, L. A. and Reginato G. 1990. Cherimoya. In S. Nagy, P. E. Shaw, & W. F. Wardowski (Eds.), *Fruits of tropical and subtropical origin: Composition, properties and uses* (pp. 131–148). Lake Alfred, Florida: Florida Science Source. Morton J, 1987. Sugar apple. *Fruits Warm Climate*. pp. 69–72.
78. Lucas, A. P. (1994). O cultivo da pinha traz em doloar. *Manchete Rural*, 82, 19–21.
79. Lyew, J., Li Z., Liang-Chen Y., Yi-Bo L. and Sage T. L. 2007. Pollen tube growth in association with a dry-type stigmatic transmitting tissue and extragynoecial compitum in the basal angiosperm *Kadsura longipedunculata* (Schisandraceae). *American Journal of Botany* 94: 1170-1182.
80. MacDonnell, L.R., Jansen E., and Lineweaver H. 1945. The properties of orange pectinesterase. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 6:627-632.

81. Maldonado, R., Molina-Garcia A.D., Sanchez-Ballestra M.T., Escribano M.I., and Merodio C. 2002. High CO<sup>2</sup> atmosphere modulating the phenolic response associated with cell adhesion and hardening of *Annona cherimola* fruit stored at chilling temperature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:7564-7569.
82. Martinez, G., Serrano M., Pretel M.T., Riquelme F., Romojaro F. 1993. Ethylene biosynthesis and physico-chemical changes during fruit ripening of cherimoya (*Annona cherimola* Mill). *Journal of Horticultural Science*. 68:477-483.
83. Manica I. 1997. Taxionomia, morfologia e anatomia. In: Reboucas S.J., I. Vilas B., O. Magalhaes M. e T. Hojo R. (Eds.) *Anonáceas. Produção e mercado. (Pinha, graviola, atemóia e cherimólia)*. UESB. Bahia, Brasil. pp. 20-35.
84. McFall, J.S., Johnson G.A. and Kramer P.J., 1990. Observation of a water-depletion region surrounding loblolly pine roots by magnetic resonance imaging. *National Academy of Sciences. U.S.A.* 87, 1203–1207.
85. Melo, M.R., De Castro J.V., Carvalho C.R.L. and Pommer, C.V. 2002. Cold storage of cherimoya packed with zeolitfilm. *Bragantia* 61:71–76.
86. Modi, V.V. and Reddy V.V.R. 1967. Carotenogenesis in ripening mangoes. *Indian Journal of Experimental Biology* 5, 233-235.
87. Mengel, K. and Kirkby E. A. 1987. *Principles of plant Nutrition*. 4th. Edition. International Potash Institute, IPI, Bern, Switzerland. 685 p.
88. Merodio, C. and De La Plaza J.L., 1997. Cherimoya. In: Mitra, S.K. (Ed.), *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. CAB International, Wallingford, pp. 265–290.
89. Monselise, S. P. and Goren R. 1987. Preharvest growing conditions and postharvest behavior of subtropical and temperate-zone fruits. *Hort Science* 22: 1185:1189.

90. Morales, P.A., Franco-Mora O., Castañeda-Vildolsola A., y Morales-Rosales E. 2014. El efecto antisenescente del resveratrol reduce la tasa de ablandamiento poscosecha de chirimoya. *Scientia Agricola* 5: 35-44.
91. Mororó R. C., Freire E. S. and Sacramento C. K. 1997. Processamento da Graviola para Obtenção de Polpa. [Portuguese] In: Anonáceas: Poduoção e Mercado (Pinha, Graviola, Atemóia e Cherimólia). Edited by A. R. São José Boas I. V., Morais O. M. and Rebouças T. N. H. Universidade Estadula do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, Brasil: pp. 263-274.
92. Mosca, J. L., Assis J. S., Alves R. E., Filgueiras H. A. C., and Batista A. F. 1997. Physical, physical–chemical and chemical changes during growth and maturation of sugar apple (*Annona squamosa* L.). In: *Memorias del Congreso Internacional de Anonáceas*. Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Chapingo, México. pp: 304–314.
93. Muñoz, T., Escribano M. I. and Merodio C. 2001. Phosphoenolpyruvate carboxylase from cherimoya fruit: properties, kinetics and effects of high CO<sub>2</sub>. *Phytochemistry* 58: 1007-1013
94. Nagarajan, S., Chahal S.S., Gambhir P.N. and Tiwari P.N., 1993. Relationship between leaf water spin–lattice relaxation time and water relation parameters in three wheat cultivars. *Plant Cell Environ.* 16, 87–92.
95. Nakasone, H. Y., and Paull R. E. 1998. *Tropical Fruits*. CAB International, Oxford, Wallingford, UK. pp: 76-102.
96. National Reserch Council. 1989. *Lost Crops of the Incas: Little-known plants of the Andes with promise for Worldwide Cultivation*. National Academic Press, Washington D.C. USA, 415 pp.

97. Nava-Díaz C., Osada-Kawasoe S., Rendón-Sánchez G. y Ayala-Escobar V. 2000. Organismos asociados a chirimoyo (*Annona cherimola* mill.) en Michoacán, México. *Agrociencia* 34: 217-226.
98. Ochse, J.J., Soule Jr.M.J., Dijkman M.J. y Wehlburg C. 1974. Otros cultivos frutales. In: *Cultivo y Mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales*. Editorial Limusa, México. pp 587-818.
99. Palma, T., Aguilera J.M. and Stanley D.W. 1993. A review of postharvest events in cherimoya. *Postharvest Biology and Technology* 2: 187-208.
100. Pareek, S., Yahia E.M., Pareek O.P. and Kaushik R.A. 2011. Postharvest physiology and technology of annona fruits. *Food Reserch International*. 44:1741-1751.
101. Paull, R.E. and Jung N. 2000. Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 21: 21-37.
102. Paull, R. E. 1982. Postharvest variation in composition of soursop (*Annona muricata* L.) fruit in relation to respiration and ethylene production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 107:582-585.
103. Paull, R.; N. Chen. 1983. Postharvest variation in cell wall-degrading enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during fruit ripening. *Plant Physiol*. 72:382-385.
104. Peña, J. E. and Bennett D. 1995. Arthropods associated with *Annona* spp. In the Neotropics. *Florida Entomologist*. 78(2):329-349.
105. Pinto A. C. de Q. 1975. Influência de Hormônio Sobre o Poder Germinativo de Sementes de Graviola (*Annona muricata* L.). In: *Anais do III Congresso Brasileiro de Fruticultura*, V. II. Sociedade Brasileira de Fruticultura, Rio de Janeiro, Brasil : pp. 415-421.

106. Pinto, A. Cordeiro M., De Andrade C., Ferreira F., Filguiera H., Alvez R. and Kimpara, D. 2005. *Annona* Species. University of Southampton.
107. Prieto, H., Utz D., Castro A., Aguirre C., Gonzalez-Aguero, M. and Valdes, H. 2007. Browning in *Annona cherimola* fruit: Role of polyphenol oxidase and characterization of a coding sequence of the enzyme. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 9208–9218.
108. Ramos, M.G. y Martínez M.A. 1998. Efecto del manejo poscosecha en la susceptibilidad al daño por frío y la actividad poligalacturonasa en calabaza zuchini. *Revista Horticultura Mexicana* 6: 42-55.
109. Reginato, G. y Lizana, L. A. 1980. Comportamiento de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) cv. Concha Lisa en almacenaje refrigerado. *Simiente* 50(3-4): 138-145.
110. Rodrigues, J. and Subramanyam H. 2006. Effect of preharvest spray of plant growth regulators on size, composition and storage behaviour of coorg mandarins [*Citrus reticulata* (blanco)]. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 9: 425 – 427.
111. Rosell. G.P., Galán S.V. y Hernandez D.P. 1997. Cultivo del chirimoyo en Canarias. Departamento de Fruticultura Tropical Instituto Canario de Investigaciones Agradas. ICIA. Gobierno de Canarias Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. 24p.
112. Rushing, J.W. 1990. Cytokinins affect respiration, ethylene production and chlorophyll retention of packaged broccoli florets. *Hort Science* 25:88–90.
113. Salisbury, F. and Ross C. 1994. *Fisiología vegetal*. México. Grupo Editorial Iberoamericana. 759 p.



114. Salunke, D.K., S.J. Jadhav and M.H. Yu. 1974. Quality and nutritional composition of tomato fruits as influenced by certain biochemical and physiological changes. *Qual Plant Foods for Human Nutrition* 24:85-113.
115. Salunkhe, D. K., & Desai, B. B. 1984. Custard apple. *Postharvest biotechnology of fruits*, Vol. 2. (pp. 133) Boca Raton, FL: CRC Press.
116. Sánchez, J.A., Zamorano J.P. and Alique R. 1998. Polygalacturonase, cellulase and invertase activities during cherimoya fruit ripening. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73: 87-92.
117. Sasaki, F., Kawaguchi S., Kamaya A., Ohshita M., Kabasawa K., Iwama K., Taniguchi K. and Tsuda S. 2002. The Comet assay with 8 mouse organs: results with 39 currently used food additives. *Mutation Research* 519: 103-119.
118. Shaw, E.; Chan Jr, T. and Nagy, S., (1998). *Tropical and Subtropical Fruits*, A.G. Science Inc., USA, pp. 1-77.
119. Silva, A.Q. e Silva H. 1997. Nutrição e Adubação em Anonáceas. In: *Anonáceas. Produção e Mercado (Pinha, Graviola, Atemó e Cherimólia)*. Ed. A.R. São José, Souza I. V.B., Morais O.M. and Rebouças T. N. H. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. pp118-137.
120. Soberón, R., Quiroga E. N., Sampietro A. R. and Vattuone M. A. 2006. Toxicological studies on alcoholic extracts of Loranthaceae from northwestern Argentine. *Molecular Medicinal Chemistry* 11: 53-55.
121. Sola, M.M. Gutiérrez M. and Vargas A.M. 1994. Regulation of hexose-phosphate cycle determines glucose and fructose accumulation in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) during ripening. *Journal of Plant Physiology*. 144:569-575.

122. Sun, J., Jiang Y., Shi J., Wei X., Jun Xue S., Shi J., and Yi C. 2010. Antioxidant activities and contents of polyphenol oxidase substrates from pericarp tissues of litchi fruit. *Food Chemistry* 119: 753-757.
123. Pinto, A.C., De Q. y Silva E. M. 1996. Graviola para exportación. Aspectos técnicos y producción. Brasil: EMBRAPA/ SPI.Brasilia.
124. Plaza J. L., Rossi S. and Calvo M. L. 1993. Inhibitory Effects of the Ethylene Chemisorption on the Climateric of Cherimoya Fruit in Modified Atmosphere. *Acta Horticulturae*. 343: 181-183.
125. Popenoe, J. 1975 Status of Annona culture in South Florida. Annual Meeting. Florida State Horticultural Society 87: 342-344
126. Prochazkova, D., Sairam R.K., Srivastava G.C., and Singh D. V. 2001. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science* 161:765-771.
127. Proctor, A. and Miesle T. 1991. Polygalacturonase and pectinmethylesterase activities in developing highbush blueberries. *HortScience* 26(5):579-581.
128. Thimann, V.K. and Laloraya M.M. 2006. Changes in Nitrogen in Pea Stem Sections Under the Action of Kinetin. *Physiologia Plantarum* 13:165-178.
129. Torres, W.E., y Sanchez L. A. 1992. Fruticultura Colombiana, Guanabano. (Spanish). ICA, Manual de Asistencia 57Bogota: Instituto Colombiano Agropecuario.
130. Tsay L. M. and Wu M. C. 1989. Studies on the Postharvest of Sugar Apple. *Acta Horticulturae*. 258: 287-294.
131. Undurraga, P. 1999. Cosecha y postcosecha de chirimoya. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Curso/Taller Internacional. Quillota.102p.

132. Vidal T. C., e Steffens, C. A. 2009. Sachês Absorvedores De Etileno Na Pós-Colheita De Maçãs ‘Royal Gala. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 71-77.
133. Videla, P. 2000. Efecto del aumento en la densidad de plantación y coberturas sobre la vida de post- cosecha de frutos de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) cv Concha Lisa en refrigeración. Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaiso, Facultad de Agronomía. 65 p.
134. Wingler, A., Von Schaewen A., Leegood R.C., Lea P.J., and Quick W.P. 1998. Regulation of leaf senescence by cytokinin, sugar, and light. Effects on NADH-depend hydroxypyruvate reductase. *Plant Physiology*. 116: 329–335.
135. Willis, R., McGlasson G.D. y Joyce D. 1998. Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
136. Wills, R. B. H., Poi A., and Greenfield H. 1984. Postharvest changes in fruit composition of *Annona atemoya* during ripening and effects of storage temperature on ripening. *HortScience* 19(1): 96-97.
137. Worrell, D. B., Carrington C. M. S. and Huber D. J. 1994. Growth, maturation and ripening of soursop (*Annona muricata* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*. 57:7-15
138. Van Buren, J. P. 1986. Softening of cooked snap beans and other vegetables in relation to pectins and salts. *Chemistry and function of pectins*. ACS Symposium Series 310: 190-199.
139. Yahia, E. M. and Higuera C. I. 1992. Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas. Editorial Limusa. México. 303 p.

140. Yonemoto, Y., Higuchi H. and Kitano Y. 2002. Effects of storage temperature and wax coating on ethylene production, respiration and shelf-life in cherimoya fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 71: 643-650.
141. Zaicovski, C.B., Zimmerman T., Nora L., Nora F.R., Silva J.A. and Rombaldi C.V. 2008. Water stress increases cytokini biosynthesis and delays postharvest yellowing of broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology* 49: 436-439
142. Zavaleta-Mancera, H. A., López-Delgado H., Loza-Tavera H., Mora-Herrera M., Trevilla-García C., Vargas-Suarez M., and Ougham H.J. 2007. Cytokinin promotes catalase and ascorbate peroxidase activities and preserves the chloroplast integrity during dark-senescence. *Journal Plant Physiology* 164:1572-1582.
143. Zhu, L.H., Van de Peppel A., Li X.Y. and Welander M. 2004. Changes of leaf water potential and endogenous cytokinins in young apple trees treated with water potential and endogenous cytokinins in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought conditions. *Scientia Horticulturae* 99: 133–141.
144. Zhang, S., and Morris M. 2003. Effects of the flavonoides biochanin A, morin, phloretin, and silymarin on P-glycoprotein-mediated transport. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* 304: 1258-1267.