

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ciencias Agroalimentarias
Escuela de Agronomía

**Ultraestructura y calidad asociadas a época de cosecha
y manejo poscosecha en frutos de papaya
(*Carica papaya* L.) híbrido Pococí**

Tatiana Vargas Navarro

**Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agroalimentarias
de la Universidad de Costa Rica para optar por el título de
Ingeniera Agrónoma con el grado académico de Licenciatura
en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia**

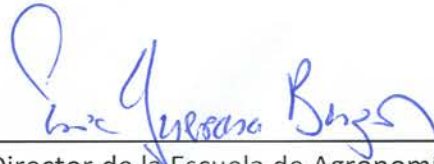
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2013

Ultraestructura y calidad asociadas a época de cosecha y manejo poscosecha
en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) híbrido Pococí

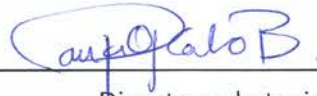
Tatiana Vargas Navarro

Eric Guevara Berger, Dr.



Director de la Escuela de Agronomía

Paula Calvo Brenes, M.Sc.



Directora de tesis

Eric Mora Newcomer, M.Sc.



Miembro del tribunal

Álvaro Azofeifa Delgado, M.Sc.



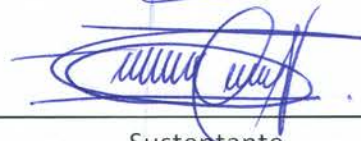
Miembro del tribunal

Marco V. Sáez Murillo, M.Sc.



Miembro del tribunal

Tatiana Vargas Navarro



Sustentante

Dedicatoria

A mis padres Gerardo y Leda, por sus enormes esfuerzos para brindarme la mejor educación y sobre todo por darme todo su amor.

A Leo por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional, por ser la mayor bendición de mi vida.

A cada pequeño agricultor que con su mayor dedicación labra la tierra.

Agradecimientos

Al personal del Laboratorio de Tecnología Poscosecha. A Paula Calvo por guiarme y apoyarme durante todo este proceso, por sus enseñanzas y consejos. A Marco Vinicio Sáez por sus consejos y cariño. A Gerardina Umaña por su amabilidad. A los asistentes Oscar Aguilera y Emmanuel López por su valiosa colaboración en las evaluaciones realizadas.

Al personal del Centro de Investigación en Estructuras Microscópicas. A Ethel Sánchez por sus enseñanzas, por todo su cariño y apoyo. A Marisol Jiménez por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo. A Frank Jiménez por su amabilidad. A Josué Orozco por la colaboración en el procesamiento de muestras, preparación de reactivos y por su cariño.

A mis colegas Marcela Rivera y Allan Villareal por su colaboración en los ensayos y a Fanny Masis por su ayuda con la entrega de documentos. A Gustavo Corrales y Vanessa Vargas por su apoyo. A Leo Rojas por su colaboración en los ensayos y por su comprensión durante la realización de este trabajo.

Al Centro Agrícola Cantonal de Guácimo, en especial al Ing. Mauricio Barrientos, y a los productores Francisco y Marco Corrales por brindarnos la fruta y por su amabilidad.

Índice General

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	4
2.1 El cultivo de papaya.....	4
2.2 Principales parámetros de calidad del fruto de papaya.....	5
2.2.1 Color.....	6
2.2.2 Firmeza.....	6
2.2.3 Sólidos solubles.....	7
2.2.4 Pérdida de peso.....	8
2.2.5 Fenoles totales.....	8
2.2.6 Presencia de enfermedades.....	9
2.2.7 Problemas fisiológicos.....	10
2.3 Variación de la calidad según la época de cosecha.....	11
2.4 Efecto de tratamientos poscosecha sobre la calidad de papaya.....	12
2.4.1 Efecto del tratamiento hidrotérmico.....	12
2.4.2 Efecto de la aplicación de cera.....	14
2.5 Estructuras anatómicas externas de los frutos que influyen en el periodo poscosecha.....	15
2.6 Efecto de tratamientos poscosecha sobre la ultraestructura.....	17
2.7 Efecto del almacenamiento sobre la ultraestructura.....	18
3. Objetivos.....	19
3.1 Objetivo general.....	19
3.2 Objetivos específicos.....	19
4. Materiales y métodos.....	20
4.1 Material experimental.....	20
4.2 Localización.....	20
4.3 Ensayos.....	21
4.4 Variables evaluadas para la calidad poscosecha.....	21
4.5 Evaluaciones ultraestructurales.....	23
4.5.1 Caracterización de la ultraestructura del fruto.....	23

4.5.2	Caracterización de la ultraestructura de desórdenes fisiológicos.....	24
4.5.3	Evaluación del efecto de tratamientos poscosecha sobre la ultraestructura del fruto.....	24
4.6	Preparación de muestras para microscopía electrónica de barrido.....	25
4.6.1	Método convencional.....	25
4.6.2	Crio fractura.....	25
4.7	Diseño experimental y análisis estadístico.....	26
5.	Resultados y discusión.....	27
5.1	Variaciones de calidad del fruto según la época de cosecha y en respuesta a la aplicación de tratamientos poscosecha.....	27
5.1.1	Porcentaje de color amarillo externo.....	27
5.1.2	Color de cáscara.....	31
5.1.3	Color de pulpa.....	34
5.1.4	Firmeza de cascara y pulpa.....	37
5.1.5	Sólidos solubles.....	41
5.1.6	Pérdida de peso.....	44
5.1.7	Contenido de fenoles totales.....	47
5.1.8	Incidencia y severidad de enfermedades.....	49
5.1.9	Vida anaquel.....	55
5.2	Caracterización ultraestructural.....	57
5.2.1	Caracterización del fruto testigo.....	57
5.2.1.1	Cera epicuticular.....	57
5.2.1.2	Estomas.....	59
5.2.2	Caracterización de ultraestructural de desórdenes fisiológicos.....	60
5.2.2.1	Efecto de tratamientos poscosecha y almacenamiento sobre la ultraestructura del fruto.....	62
6.	Conclusiones.....	70
7.	Recomendaciones.....	72
8.	Literatura citada.....	73
	Anexos.....	82

Índice de figuras

- Figura 1. Detalle de la zona medial de la cara sombreada de donde se tomaron las muestras para la evaluación ultraestructural de la aplicación de tratamientos poscosecha.....25
- Figura 2. Avance del porcentaje de color amarillo en la cáscara en papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) en diferentes meses de cosecha evaluados a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara). Barras indican el error estándar.....28
- Figura 3. Porcentaje de pérdida de peso de papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara). Barras indican error estándar.....46
- Figura 4. Contenido total de fenoles en papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada en la madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....48
- Figura 5. Promedio de días de simulación de vida anaquel de papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y fruta sin tratar (testigo), según el mes de cosecha posterior a 14 días de almacenamiento a 14°C.....55
- Figura 6. Conformación de ceras epicuticulares en frutos de papaya Pococí correspondientes al estado 2 de maduración cosechados en distintos meses a los 0 días de almacenamiento. A y C: Frutos cosechados en Agosto, A: Cara expuesta al sol, C: Cara sombreada. B y D: Frutos cosechados en Diciembre. B: Cara expuesta al sol, D: Cara sombreada. Flechas señalan separaciones entre placas de cera epicuticular. 1000 x.....58
- Figura 7. Cutícula del fruto de papaya Pococí correspondiente al estado 2 de maduración cosechada en el mes de Agosto. A: Desprendimiento de ceras epicuticulares mostrando la cutícula (500x). B: Detalle de la cutícula (1000x).....59

- Figura 8. Estomas del fruto de papaya Pococí. A: Estoma embebido por la cera epicuticular presente en la cara expuesta al sol de frutos del estado 3 de maduración cosechados en el mes de Agosto (1250x). B: Estoma (Círculo) rodeado por células cuyos ejes son perpendiculares, en la sombreada de frutos del estado 2 de maduración cosechados en el mes de Diciembre (600x). C: Estoma descubierto de la cara expuesta al sol de frutos en el estado 2 de maduración cosechados en el mes de Agosto (1500x).....60
- Figura 9. Conformación de las ceras epicuticulares de frutos maduros correspondientes al estado 7 con cáscara sin defectos y de frutos que presentaban punteado verde, luego de 21 días de almacenamiento (14 días a 14°C+ 7 días a temperatura ambiente). A y C: Cáscara sin defectos. B y D: Punteado verde. 1000x.....61
- Figura 10. Morfología de estomas y de ceras epicuticulares de frutos maduros de papaya Pococí correspondientes al estado 7 cosechadas en el mes de Agosto luego de un almacenamiento de 14 días a 14°C + 13 días a 20°C. A: Frutos que presentaron cáscara completamente amarilla sin defectos, B: Frutos que presentaron cáscara con punteado verde. 600X.....61
- Figura 11. Efecto de tratamientos poscosecha sobre las ceras epicuticulares en frutos de papaya Pococí correspondientes al estado 2 de maduración y cosechados en el mes de Diciembre a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento). A: Testigo cara expuesta al sol, B: Testigo cara sombreada, C: Cera cara expuesta al sol, D: Cera cara sombreada, E: Hidrotérmico cara expuesta al sol, F: Hidrotérmico cara sombreada, G: Hidrotérmico + Cera cara expuesta al sol, H: Hidrotérmico + Cera cara sombreada. 1000x.....65
- Figura 12. Efecto de tratamientos poscosecha sobre las ceras epicuticulares en frutos de papaya Pococí correspondientes al estado 3 de maduración y cosechados en el mes de Diciembre, luego de 14 días de almacenamiento a 14°C. A: Testigo cara expuesta al sol, B: Testigo cara sombreada, C: Cera cara expuesta al sol, D: Cera cara sombreada, E: Hidrotérmico cara expuesta al sol, F: Hidrotérmico cara sombreada, G: Hidrotérmico + Cera cara expuesta al sol, H: Hidrotérmico + Cera cara sombreada. 1000x.....66
- Figura 13. Efecto de tratamientos poscosecha sobre las ceras epicuticulares en frutos de papaya Pococí correspondientes al estado 7 de maduración y cosechados en el mes de Diciembre, luego de un período de almacenamiento de 14 días a 14°C + 7 días a 20°C. A: Testigo cara expuesta al sol, B: Testigo cara sombreada, C: Cera cara expuesta al sol, D: Cera cara sombreada, E: Hidrotérmico cara expuesta al sol, F: Hidrotérmico cara sombreada, G: Hidrotérmico + Cera cara expuesta al sol, H: Hidrotérmico + Cera cara sombreada. 1000x.....67

Figura 14. Efecto de tratamientos poscosecha sobre la morfología de los estomas de frutos de papaya Pococí cosechados en el mes de Diciembre. A, B, C, E: Frutos correspondientes al estado 2 de maduración y evaluados a la entrada a cámara fría, 0 días de almacenamiento. E, F, G, H: Frutos correspondientes al estado 3 de maduración y evaluados luego de un almacenamiento a 14°C por 14 días. I, J, K, L: Frutos maduros correspondientes al estado 7 de maduración luego de un almacenamiento 14°C por 14 días + 20°C por 7 días. A, E, I: Testigo. B, F, J: Cera. C, G, K: Hidrotérmico. D, H, L: Hidrotérmico + Cera. 1250X y 1220X.....68

Figura 15. Hundimientos leves observados en frutos del estado 7 posterior al almacenamiento a 14°C por 14 días + 20°C por 7 días. A: Testigo. B: Hidrotérmico. Flechas indican hundimientos leves (600x).....69

Índice de cuadros

Cuadro 1. Fechas de cosecha y muestreo de papaya Pococí en la zona de Guápiles durante la realización del ensayo.....	20
Cuadro 2. Estados de madurez de la papaya híbrido Pococí (Salazar 2012).....	22
Cuadro 3. Estado de madurez en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	29
Cuadro 4. Hue, Chroma y L de cáscara de papaya Pococí tratada con cera y tratamiento hidrotérmico y cosechada en diferentes meses en la evaluación de madurez de consumo (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	32
Cuadro 5. Hue, Chroma y L de cáscara de papaya Pococí tratada en diferentes meses en la evaluación de madurez de consumo (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	33
Cuadro 6. Hue de pulpa en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	35
Cuadro 7. Chroma de pulpa en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	36
Cuadro 8. L* de pulpa en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	36
Cuadro 9. Firmeza de cáscara en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	38

Cuadro 10. Firmeza de pulpa en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	39
Cuadro 11. Contenido de sólidos solubles en papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y fruta sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	42
Cuadro 12. Contenido de sólidos solubles en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	43
Cuadro 13. Contenido total de fenoles en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	49
Cuadro 14. Incidencia de enfermedades en papaya Pococí papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	50
Cuadro 15. Severidad de enfermedades en papaya Pococí papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	51
Cuadro 16. Incidencia de enfermedades en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	54
Cuadro 17. Severidad de enfermedades en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).....	54

Resumen

Se conoce poco acerca de la variación que pueda existir en la calidad del fruto de papaya Pococí durante distintos meses de cosecha y si el comportamiento de la fruta ante la aplicación de tratamientos poscosecha puede variar. Además, se desconoce si las estructuras externas del fruto pueden sufrir daños debido a la aplicación de estos tratamientos.

Se cosecharon frutos en el estado de maduración 2 (16-25% de amarillamiento externo) durante ocho meses consecutivos. En cada mes las frutas se dividieron en tres grupos correspondientes a: frutas testigo, tratamiento hidrotérmico y cera comercial. Se realizaron evaluaciones a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y en madurez de consumo (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Con respecto al porcentaje de amarillo externo, el tratamiento hidrotérmico provocó un retraso en la evolución del color amarillo externo y ocasionó daños externos a la fruta según el mes de cosecha. La fruta tratada con cera no mostró diferencias significativas con respecto al testigo para esta variable.

El color correspondiente al hue en la pulpa presentó valores entre 59,94 y 60,89 en la madurez de consumo. El chroma en pulpa aumentó posterior al almacenamiento y alcanzó valores entre 45,16 y 48,46 mientras que el L* varió entre 50,28 y 59,03 cuando la fruta alcanzó la madurez de consumo. Los tratamientos aplicados no afectaron los componentes del color en la pulpa.

La firmeza de cáscara y pulpa mostró una disminución significativa desde la entrada a cámara hasta la madurez de consumo, momento que presentó valores entre 8,85N y 48,51N y entre 4,41 N y 35,90N, respectivamente. Para ambas variables no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

Al momento de la cosecha el porcentaje de sólidos solubles varió entre 8,31 y 11,31, según el mes de cosecha y hubo una leve disminución cuando la fruta alcanzó la madurez de consumo. La aplicación de tratamientos no afectó esta variable. Por otro lado, la pérdida de peso presentó valores entre el 3,53% y 4,72% en la madurez de consumo. El tratamiento hidrotérmico provocó un aumento significativo en la pérdida de peso mientras que la cera no tuvo diferencias significativas con respecto al testigo.

Los valores de fenoles totales se encontraron entre 32,26 y 45,24 mg equivalentes de ácido gálico por cada 100 g de peso fresco. En cuanto a la incidencia y severidad de enfermedades la cera provocó un aumento en estas variables mientras que el tratamiento hidrotérmico provocó una disminución.

Para todas las variables de calidad evaluadas se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) entre meses de cosecha, lo cual podría estar relacionado con factores ambientales y de manejo agronómico.

Se realizó una caracterización ultraestructural de las ceras epicuticulares y de los estomas del fruto en estado de maduración 2 mediante microscopía electrónica de barrido. El fruto presentó dos conformaciones de ceras epicuticulares, una de placas redondeadas y con separaciones y otra con placas más lisas y separaciones menos evidentes, para la cara expuesta al sol y la cara sombreada del fruto, respectivamente. Además, se observó que los estomas presentes en el fruto se encuentran embebidos en la cera epicuticular y son del tipo actinocítico. Se observó que luego de la aplicación de tratamientos poscosecha la conformación de las ceras epicuticulares puede cambiar.

1. Introducción

La papaya (*Carica papaya* L) es originaria de América Central, pero su cultivo se desarrolla en la mayoría de zonas tropicales (Teixeira *et al.* 2007). Los principales países productores de papaya a nivel mundial son India y Brasil. Por otro lado, México es el sexto mayor productor y el mayor exportador mundial de esta fruta. La mayoría de sus exportaciones se destinan a Estados Unidos. Costa Rica es el quinceavo país exportador más importante (FAO 2011).

La papaya es un fruto muy gustado a nivel mundial debido a su aroma y alto contenido de azúcares que le confieren un sabor agradable. Esta fruta se consume fresca principalmente, pero también se consume en otras preparaciones como trozos en almíbar, mermeladas y refrescos (Guzmán 1998). Este fruto es rico en vitaminas A y C y en minerales como Potasio y Calcio. Tiene un alto contenido de agua y un porcentaje de fibra cercano al 0,7%. El contenido nutricional puede ser diferente entre variedades, condiciones de cultivo y estado de madurez (Teixeira *et al.* 2007).

Existe una gran cantidad de cultivares de papaya a nivel mundial. Guzmán (1998), menciona que en Centroamérica es difícil hablar de variedades debido a los múltiples cruzamientos producidos por libre polinización al ser esta una especie alógama. En zonas subtropicales se han desarrollado cultivares como "Puna" y "Sunrise Solo" en Hawái; "Bettina" en Australia; "Hortus Gold" en África del Sur y "Betty" en Florida, logradas por medio de polinización controlada. Otras variedades conocidas a nivel mundial son: "Bluestem", "Graham", "Waimanalo", "Kapoho", "Cartagena", "Red Panamá", "Singapore", y "Fairchild". En Brasil las variedades más utilizadas son Golden y Formosa mientras que en México se cultiva principalmente la variedad Maradol (Evans y Ballen 2012).

En Costa Rica se han utilizado las variedades criollas, conocidas como "Lucia" y "Parriteña" caracterizadas por ser heterogéneas, así como otras variedades genéticamente estables como "Sunset" y "Sunrise", del cultivar "Solo" conocido como "Hawaiana". Estas últimas se caracterizan por producir frutas pequeñas (Bogantes *et al.* 2011). También se ha utilizado la variedad "Maradol", importada de Cuba (Guzmán 1998).

En los últimos años la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) han realizado investigaciones con el fin de desarrollar nuevos híbridos con mayor adaptación a las condiciones edafoclimáticas de las zonas productoras y con características comerciales deseables (Mora y Bogantes 2004). En 1999 se desarrolló un nuevo híbrido llamado Pococí, resultado del cruce entre la papaya criolla y la hawaiana. Este fue liberado oficialmente en el 2006 (Elizondo 2012).

El híbrido Pococí se caracteriza por tener altos rendimientos, cercanos a 100 t/ha con un peso promedio de 1,3 kg por fruto. Además, posee buenas características

organolépticas y un alto contenido de sólidos solubles, por lo que ha tenido gran aceptación a nivel local e internacional (Elizondo 2012).

De acuerdo con Elizondo (2012), el total de área sembrada con papaya fue de 760 ha en el 2011, con un rendimiento promedio de 80 tm/ha, en la actualidad casi un 60% de esta área se encuentra cultivada con el híbrido Pococí.

Durante el 2010, Costa Rica exportó un total de 1 975 ton lo cual generó \$ 1 223 758. En este mismo año se registró un aumento del 60.6% en las exportaciones de papaya. Actualmente, el 86% de las exportaciones se destina al mercado Canadiense. Estados Unidos se perfila como mercado potencial, debido a que es el principal importador a nivel mundial. Sin embargo, este mercado exige la implementación de tratamiento cuarentenario para la eliminación de la mosca de la fruta (Elizondo 2011). Otros países Europeos, principalmente Alemania, España y Holanda han mostrado gran interés por la fruta nacional.

Se debe tomar en cuenta que es indispensable que la fruta conserve la calidad durante la comercialización debido a las exigencias del mercado. Sin embargo, la papaya es un fruto altamente perecedero y se deteriora con facilidad durante el período poscosecha ya que es muy susceptible a pudriciones, desórdenes fisiológicos y daño mecánico. Estos factores constituyen las principales causas de rechazo de esta fruta (Teixeira *et al.* 2007, Guzmán 2008, Bogantes *et al.* 2011).

Debido a esta situación, durante los últimos años se han aumentado las investigaciones para la evaluación de tratamientos que permitan prolongar la vida en anaquel de esta fruta conservando su calidad durante este período.

Uno de los tratamientos que podría alargar la vida en anaquel de la papaya es el uso de ceras. Estos productos refuerzan la capa de ceras naturales de la fruta que en ocasiones es removida por operaciones de lavado y manejo, lo cual ayuda a reducir la pérdida de agua del fruto durante el almacenamiento y comercialización, de manera que retrasan el deterioro (Bai y Plotto 2012).

En otras variedades de papaya se ha demostrado que la aplicación de ceras provoca cambios en la calidad y extiende la vida poscosecha (Petit *et al.* 2009, Almeida *et al.* 2011). Sin embargo, los resultados pueden variar según el tipo de cera utilizada e incluso entre variedades. Actualmente se desconoce el efecto de este tratamiento sobre el híbrido Pococí.

Otro tratamiento que podría conservar la calidad de la papaya es el tratamiento hidrotérmico. Existen reportes que indican que la aplicación de agua caliente retrasa el suavizamiento y reduce significativamente la incidencia de pudriciones, prolongando la vida en anaquel (Paull y Chen 2000). Sin embargo, otras investigaciones señalan que este tratamiento puede afectar la calidad al provocar daños como bronceados en la cáscara o acelerar la tasa metabólica del fruto estimulando la rápida pérdida de firmeza (Tang *et al.* 2007).

El efecto de este tratamiento puede variar según la temperatura y tiempo de aplicación del tratamiento así como de otros factores como variedad, estado de maduración de la fruta y condiciones de crecimiento de ésta (Paull y Chen 2000). En el caso de la papaya Pococí se requiere de mayor investigación ya que se desconoce si el tratamiento provoca daños a la fruta.

Por otro lado, es importante tomar en cuenta que la aplicación de tratamientos poscosecha puede provocar cambios en estructuras externas de los frutos tales como cutícula y estomas. Estas estructuras influyen sobre el intercambio gaseoso y el control de la pérdida de agua, los cuales son factores claves durante la poscosecha ya que se relacionan directamente con la vida en anaquel y la apariencia del producto (Maguire *et al.* 2004).

Así por ejemplo, se ha demostrado que el tratamiento hidrotérmico induce cambios en la conformación de ceras epicuticulares (Pereira *et al.* 2012), mientras que no existen reportes de cómo la aplicación de cera afecta estas estructuras. Además, los cambios estructurales pueden ser distintos entre cultivares (Belding *et al.* 1998).

Curry (2003) señala que el manejo poscosecha puede afectar estructuras externas del fruto provocando cambios, los cuales pueden traducirse luego del período de almacenamiento en daños que reducen la calidad. Algunos de estos daños son: escaldados, lenticelosis, hundimientos y manchas.

En el caso específico de la papaya se desconoce si estas estructuras pueden alterarse en respuesta a condiciones ambientales y por lo tanto si podrían variar en distintas épocas del año, induciendo respuestas diferentes a la aplicación de tratamientos o la aparición de desórdenes fisiológicos, se desconoce también la variación que pueda existir en los parámetros de calidad del fruto como respuesta a diferentes condiciones ambientales. En otras frutas se han reportado variaciones en la calidad según la época de cosecha (Ferreyra *et al.* 2007, Pailly *et al.* 2004, Ambuko *et al.* 2006). De igual forma, se desconoce si la respuesta a diferentes tratamientos puede variar según la época de cosecha.

2. Antecedentes

2.1 El cultivo de papaya

La papaya pertenece a la familia Caricacea, género *Carica*, especie *Carica papaya* L. Es una planta nativa de América tropical, específicamente de la región mesoamericana. Actualmente se cultiva en América Central, Sur América, Australia, Hawaii y Florida. Además, su producción comercial se ha extendido a países tropicales y subtropicales de África y Asia (Teixeira *et al.* 2007).

Es una planta herbácea arborescente, de rápido crecimiento, con un tallo recto y cilíndrico que puede alcanzar alturas de 10 metros (Jiménez 2002). Posee hojas grandes lobuladas con pecíolos largos que se concentran en la parte superior del tallo. El fruto es una baya proveniente de un ovario súpero, de pericarpio carnoso y succulento, cuyo color y tamaño depende de la variedad (Jiménez 2002). La cáscara generalmente es amarilla cuando el fruto madura y el color de la pulpa puede ser amarilla, naranja o roja según el cultivar (Teixeira *et al.* 2007).

Existen tres tipos de plantas de papaya las cuales se determinan por el sexo. El primer tipo corresponde a plantas hermafroditas cuyas flores poseen ovarios y estambres. Sus frutos tienen forma de pera y son los más aceptados a nivel comercial. También existen plantas femeninas que se caracterizan por tener flores con ovarios únicamente que desarrollan frutas redondas con una cavidad interna mayor. El último tipo de planta es la masculina que posee largos racimos de flores con estambres y no produce frutas (Bogantes *et al.* 2011, Jiménez 2002).

Este cultivo se desarrolla mejor en regiones con alturas menores a los 800 msnm, con temperaturas entre los 25 y 38 °C y con precipitaciones entre los 1500 y 2000 mm con una adecuada distribución durante todo el año. Requiere de alta luminosidad, ya que el desarrollo de color y sabor dependen mucho de la radiación solar. Los suelos de texturas franco-arenosas con buen drenaje son ideales para su cultivo ya que esta especie no tolera el encharcamiento. Además, suelos de adecuada fertilidad y ricos en materia orgánica son deseables (Guzmán 1998, Jiménez 2002).

En Costa Rica las regiones con condiciones agroclimáticas adecuadas para el cultivo de papaya son el Pacífico Central y la Región Chorotega (Bogantes *et al.* 2011). Sin embargo, en la actualidad las principales regiones productoras de papaya se encuentran en el Caribe principalmente en los cantones de Pococí y Guácimo, y en la zona Norte en La Fortuna y San Carlos. Otras zonas productoras son Orotina y Parrita (Guzmán 1998).

Después de los 3 meses posteriores al trasplante aproximadamente, la planta inicia la floración. La fruta puede tardar aproximadamente 5 meses en desarrollarse luego del cuaje. Luego de iniciada la cosecha, la vida útil de la plantación puede extenderse hasta 12 meses (Bogantes *et al.* 2011), momento en que generalmente deja de ser

rentable ya que los rendimientos bajan y las labores se dificultan debido a la altura que alcanzan las plantas (Jiménez 2002).

En las plantaciones comerciales de nuestro país, la cosecha de papaya se realiza tomando en cuenta el cambio de color de verde a amarillo que inicialmente se presenta como una franja longitudinal en la zona apical. Esta franja se denomina comúnmente como pinta (Guzmán 1998).

El estado de madurez en el cual se coseche el fruto dependerá de la distancia de los mercados, volumen requerido y precios (Guzmán 1998). Sin embargo, debe tomarse en cuenta que si la cosecha se realiza antes de la aparición de la primera franja, puede que el fruto aún no haya alcanzado su madurez fisiológica (Bogantes et al 2011).

2.2 Parámetros de calidad asociados al de fruto de papaya

La calidad se refiere a la combinación de características, atributos o propiedades que cumplen con los estándares propuestos por el consumidor o mercado meta. Estos atributos pueden ser físicos como tamaño y apariencia; sensoriales como color, textura, sabor y aroma, y nutricionales como contenido de vitaminas y antioxidantes (Kumar *et al.* 2007; Valero *et al.* 2010).

Es importante tomar en cuenta que la calidad puede ser afectada por factores precosecha, por ejemplo condiciones climáticas bajo las cuales el fruto se desarrolló y manejo del cultivo, así como por factores poscosecha entre los cuales pueden citarse el manipuleo del producto, aplicación de tratamientos, almacenamiento y estado de madurez del fruto (Kumar *et al.* 2007). Sin embargo, una vez que el producto ha sido cosechado, su calidad no puede mejorarse durante el período poscosecha, únicamente puede ser conservada.

En frutos de papaya la reducción de la calidad se asocia principalmente con el rápido ablandamiento de tejidos y la alta incidencia de pudriciones (Bogantes *et al.* 2011).

La papaya es un fruto climatérico por lo que luego de la cosecha continúa con su proceso de maduración (Paull *et al.* 2008). Este tipo de frutos se caracterizan por presentar un rápido aumento en la velocidad de la respiración y producción de etileno, etapa llamada climaterio. Posterior a esta etapa el fruto madura, por lo que sus características de apariencia y composición cambian, lo que implica que la calidad también cambia durante el período poscosecha (Valero *et al.* 2010).

Las principales características o parámetros que cambian durante la maduración de la papaya se citan a continuación.

2.2.1 Color

El cambio de color de verde a amarillo en la cáscara es uno de los cambios más notables durante la maduración. Este cambio se debe a la degradación de clorofila por acción de clorofilasas y la síntesis de carotenos, procesos que se llevan a cabo de manera simultánea (Paull *et al.* 2008).

El color de la cáscara es uno de los principales parámetros que se toman en cuenta en el momento de la cosecha, la comercialización y el consumo de la papaya por lo que esta característica es la más utilizada para evaluar el estado de madurez (Umaña *et al.* 2011; Santamaría *et al.* 2009).

Por esta razón se han establecido algunos porcentajes de amarillamiento que indican qué tan apta es la fruta para ser consumida. Dichos porcentajes son diferentes para cada variedad. En el caso de papaya Maradol esta madurez de consumo se alcanza cuando la fruta presenta un 75% de amarillo en la cáscara (Zhou *et al.* 2004, citados por Santamaría *et al.* 2009), mientras que para papaya Formosa se considera que la madurez de consumo se alcanza con el 50% de amarillamiento (Rocha *et al.* 2005).

En el caso del híbrido Pococí, Salazar (2012) desarrolló una escala de maduración compuesta por 7 estados tomando en cuenta el porcentaje de color amarillo en la cáscara. Los estados (E) detectados por esta autora fueron E1: 0-15%, E2: 16-25%, E3: 26-40%, E4: 41-55%, E5: 56-70%, E6: 71-80% y E7: 81-100%. Además, este estudio menciona que la madurez de consumo para este híbrido se alcanza cuando la fruta presenta 75% de amarillamiento en la cáscara.

Por otro lado, el desarrollo de color en la pulpa se debe a la síntesis de carotenos, la cual aumenta durante la maduración. En papaya Pococí los principales carotenos son all-E-licopeno y β -cryptoxanthin laurato, estos pigmentos aumentan sus niveles durante el proceso de maduración (Schweiggert *et al.* 2011).

2.2.2 Firmeza

La firmeza se caracteriza por su rápido descenso, siendo uno de los principales cambios durante la maduración de la fruta. Este proceso de suavizamiento está ligado principalmente con la degradación de paredes celulares, producto de la acción de enzimas pectinolíticas. Los niveles de estas enzimas van en aumento durante la maduración siguiendo un proceso coordinado en el que cada enzima actúa de manera interdependiente (Payasi *et al.* 2009).

En el caso de la papaya se han identificado las enzimas poligalacturonasa (PG), pectin metilesterasa (PME), β -galactosidasa, endoglucanasa y endoxilanasas como responsables de la pérdida de firmeza (Thumdee *et al.* 2010).

En papaya Pococí se ha reportado una firmeza de 85 N y 57 N en cáscara y pulpa, respectivamente, cuando la fruta presenta 15% de color amarillo externo. Luego de un período de almacenamiento de 14 °C por 14 días y 9 días a temperatura ambiente la firmeza descendió a 10 N y 5 N, en cáscara y pulpa respectivamente, cuando la fruta alcanzó más de 75% de coloración amarilla externa. Estas mediciones se realizaron utilizando un punzón en forma de diente acoplado a un penetrómetro chatillón (Umaña *et al.* 2011).

Santamaría *et al.* (2009) reportan una firmeza de pulpa de 150 N para papaya Maradol cosechada con una franja de amarillo. Cuando la fruta alcanzó 75% de color amarillo en la cáscara, la firmeza fue de 6,7 N. Estos autores utilizaron una prensa Instron con una punta plana para realizar las mediciones. Sin embargo, Gayosso *et al.* (2010) encontraron en frutas de la misma variedad una firmeza de pulpa de 1,4 N cuando estas alcanzaron 75% de amarillamiento en la cáscara. En este caso la firmeza se midió con un penetrómetro chatillón con punta plana.

Para las variedades Golden y Sunrise cosechadas entre 10% y 25% amarillo externo se ha reportado una firmeza de pulpa de 126 N. La primera variedad tuvo una reducción de firmeza más temprana pero al llegar al 75% de amarillo la firmeza se redujo a 8,5 N en ambos casos (Fonseca *et al.* 2003).

Para la variedad Golden, Bron y Jacomino (2006) luego de utilizar un penetrómetro digital con punta de sonda reportan una firmeza de pulpa de 84,3 N en frutas con 16-25% de amarillo en la cáscara, la cual descendió a 20 N después de 7 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

2.2.3 Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles se mantiene relativamente constante durante todo el proceso de maduración de la papaya debido a que la cantidad de almidón almacenada en el fruto es mínima, cercana al 0,13% (Gomez *et al.* 2002).

En la papaya el contenido final de sólidos solubles depende de la continua importación de fotoasimilados al fruto. El contenido de azúcar se incrementa hasta 5 veces después de los 110-130 días después de la anthesis, cuando el color de la cáscara empieza a cambiar (Paull *et al.*, 2008). Por lo tanto es probable que frutas cosechadas en estados tempranos de maduración, tengan un menor contenido de azúcares (Bron y Jacomino 2006).

Además, una buena relación fuente-sumidero influye directamente sobre este parámetro. Condiciones ambientales como temporadas en las que los días son nublados y lluviosos reducen la fotosíntesis y por lo tanto la cantidad de fotoasimilados exportados al fruto es menor (Zhou *et al.* 2000; Zhou *et al.* 2001).

En frutos de papaya los valores de sólidos solubles generalmente están en un rango de 9% a 12%, lo cual depende de la variedad y las condiciones de cultivo. Para papaya Maradol Santamaría *et al.* (2009) reportan valores de 9,8 a 11,5 brix en fruta cosechada con una franja, mientras que Gayosso *et al.* (2010) encontraron valores de brix entre 8.7 y 9.6 para esta misma variedad. Ambos autores señalan que los valores se mantuvieron constantes luego del período de almacenamiento

Para las variedades Golden y Sunrise Fonseca *et al.* (2003) indican valores de brix de 10,72 y 12,17 respectivamente. Bron y Jacomino (2006) encontraron valores similares para la variedad Golden.

Umaña *et al.* (2011) reportan brix de 9,8 a 11,1 en papaya Pococí cosechada con un 15% de color amarillo. Posterior a 14 días de almacenamiento a 14°C y 9 días a temperatura ambiente la fruta no presentó cambios en los sólidos solubles.

2.2.4 Pérdida de peso

La pérdida de peso es el resultado de la pérdida de agua que se da debido a la transpiración, siendo una de las principales causas del deterioro ya que afecta la apariencia, textura y sabor (Ben-Yehoshua y Rodov 2003).

Depende de las condiciones de almacenamiento como temperatura, humedad relativa y velocidad del aire dentro de la cámara fría así como de las características intrínsecas del producto como tasa respiratoria, tamaño, relación superficie/volumen, estructura cuticular y densidad estomática (Deell *et al.* 2003).

En papaya Formosa cosechada con 10% de amarillo en la cáscara, la pérdida de peso fue de 5,7% posterior a un período de almacenamiento de 14 días a 12 °C (Rocha *et al.* 2005) mientras que en papaya Eksotika II almacenada a 12 °C por 5 semanas la pérdida de peso fue cercana al 10% (Ali *et al.* 2011).

2.2.5 Fenoles totales

Los fenoles son compuestos que tienen uno o más grupos hidroxilo que se encuentran unidos a un anillo aromático (Vermerris *et al.* 2006). Estos compuestos le atribuyen características organolépticas a los frutos ya que contribuyen con el aroma y el sabor, confieren astringencia y amargor. Además son responsables del color de varias frutas ya que las antocianinas también son compuestos fenólicos (Shahidu *et al.* 2004).

Actualmente se han popularizado como parte de la calidad nutricional de las frutas debido a que se ha comprobado que son beneficiosos para la salud humana ya que poseen características antioxidantes y anticancerígenas (Vermerris *et al.* 2006).

Por otra parte, los fenoles son compuestos fundamentales para las plantas pues contribuyen con el sistema de defensa ya que brindan propiedades antifúngicas y

antibióticas y protección contra la radiación ultravioleta (Shahidu *et al.* 2004). Además, están relacionados con la oxidación de tejidos ya que reaccionan con enzimas como la Peroxidasa (POD) y Polifenol oxidasa (PPO) en presencia de oxígeno (Paull *et al.* 2008).

Gayosso *et al.* (2010) indican que los fenoles son más abundantes en la cáscara que en la pulpa y tienden a disminuir conforme la fruta madura, estos mismos autores reportan valores de 358,67 y 0,88 mg equivalentes de Ácido gálico en 100g de peso fresco en cáscara y pulpa, respectivamente, para papaya Maradol con más de un 80% de color amarillo. En papaya Maradol los principales fenoles identificados son el ácido ferrúlico y el ácido coaumárico aislados de la cáscara (Gayosso *et al.* 2011).

2.2.6 Presencia de enfermedades

Las frutas se ven expuestas al deterioro patológico durante el período poscosecha debido a que durante el proceso de maduración ocurren una serie de cambios que favorecen el desarrollo de enfermedades como por ejemplo la disminución de algunos compuestos antimicrobianos, entre ellos fenoles, la degradación de paredes celulares, aumento en el contenido de azúcares y la producción de etileno (Deell *et al.* 2003; Kumar *et al.* 2007).

Además, las condiciones de almacenamiento como alta humedad relativa, factores precosecha como nivel de inóculo en campo y daños mecánicos debido a la manipulación de la fruta pueden causar mayor susceptibilidad al ataque de enfermedades durante el período poscosecha (Valero *et al.* 2010).

En papaya, la enfermedad poscosecha que provoca más pérdidas a nivel mundial es la antracnosis, causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Bogantes *et al.* 2011). En el caso de Costa Rica, varios autores mencionan que esta enfermedad es el principal problema poscosecha ya que causa pérdidas mayores al 30% (Durán y Mora 1987, Arauz y Mora 1983)

La infección se da en el campo y se mantiene latente, los síntomas se manifiestan cuando la fruta empieza a madurar. Este hongo puede causar diferentes sintomatologías, una de ellas es conocida como mancha chocolate y se caracteriza por causar manchas cafés que generalmente se presentan en grupos, en estados avanzados los bordes de la lesión pueden presentar hundimientos. El otro síntoma típico son lesiones redondas y hundidas (Bogantes *et al.* 2011).

Otra enfermedad muy común en Costa Rica que se presenta durante el almacenamiento es la pudrición peduncular ocasionada por *Phoma carica-papayae*. Este patógeno ingresa principalmente en la zona del corte de la fruta, la lesión inicial es de color café claro y en estados avanzados toma un color negruzco (Durán y Mora 1986).

Phytophthora sp. también puede provocar pérdidas importantes principalmente en períodos de alta precipitación, esta enfermedad se caracteriza por la formación de micelio blanco sobre el fruto (Bogantes *et al.* 2011). Por otro lado, *Phomopsis* sp. provoca lesiones circulares abultadas, por lo que la superficie se levanta y la epidermis puede romperse formando grietas (Durán y Mora 1986).

Otros patógenos como *Fusarium* sp y *Rizophus* sp. también causan enfermedades durante el período poscosecha (Jiménez 2002, Durán y Mora 1986).

2.2.7 Problemas fisiológicos

Problemas de tipo fisiológico causan alteraciones en la maduración normal de la fruta, lo cual tiende a bajar su calidad. Uno de los desórdenes fisiológicos más importantes en papaya es la mancha fisiológica o “skin freckless”. Esta se caracteriza por la presencia de manchas café oscuro y de forma circular con aspecto seco sobre la superficie del fruto, afectando únicamente la cáscara. Las manchas suelen ser de tamaño variable y se manifiestan con mayor frecuencia en la superficie del fruto que estuvo expuesto a la radiación solar (Oliveira *et al.* 2011, Oliveira *et al.* 2008, Gomes *et al.* 2008).

Aún no se conoce con certeza la causa de este desorden fisiológico. Sin embargo, también se cree que se da la ruptura de los conductos laticíferos de la capa subepidérmica, como resultado de alteraciones en la presión interna, y las células más cercanas a estos conductos sufren daños debidos al látex (Kaiser *et al.* 1996, citados por Oliveira 2011). Estos cambios en la presión de estos conductos han sido relacionados con factores ambientales como déficit hídrico, diferencias grandes entre temperatura diurna y nocturna y altas humedades relativas (Oliveira *et al.* 2008; Gomes *et al.* 2008; Campostrini *et al.* 2010).

Otro desorden fisiológico reportado en papaya es la pulpa translúcida o gelificación. Esta alteración se distingue por la presencia de una coloración roja en la pulpa con apariencia translúcida o acuosa, causando en ocasiones el desprendimiento de la cáscara del resto de la pulpa. Las frutas afectadas no muestran diferencias externas con respecto a las frutas normales (Oliveira *et al.* 2011). Campostrini *et al.* (2010), indican que en los tejidos afectados se da la acumulación de agua en los espacios intercelulares, debido a la falta de energía para transportar agua intracelularmente por parte de bombas de protones de la membranas celulares. Mencionan que este desorden podría relacionarse con la deficiencia de Calcio o con la acumulación excesiva de sorbitol que no logra ser convertido en fructosa.

También se ha descrito una alteración llamada “hard lumps”, que consiste en la formación de áreas en el mesocarpo en las cuales el tejido es mucho más firme que en el resto de la pulpa. El fruto afectado no presenta síntomas externos. Según Paull *et al.* (1995), citados por Oliveira *et al.* (2011), esto se debe a la inactivación de las enzimas de degradación de la pared celular en respuesta al estrés producido por altas temperaturas durante el desarrollo del fruto.

Por otro lado, Jacomino *et al.* (2010) reportan una rápida reducción de la firmeza en frutas que aún conservan el color verde en la cáscara y que se encuentra asociado a épocas específicas del año. Señalan que el estado de madurez del fruto en el momento de cosecha no se relaciona con la aparición de este desorden mientras que podría estar más asociado con deficiencias nutricionales y períodos de lluvias intensas.

2.3 Variación de la calidad según la época de cosecha

La calidad de la fruta puede modificarse según la época de cosecha debido principalmente a la variación en las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrollan los frutos. En manzana, por ejemplo, se reportan diferencias importantes entre fechas de cosecha en cuanto a desarrollo externo de color debido principalmente a variaciones en la cantidad y calidad de luz, debido a que la formación de pigmentos de la cáscara es dependiente de las condiciones de luminosidad. El contenido de sólidos solubles también se ve afectado por estas condiciones (Campbell *et al.* 1992).

Ambuko *et al.* (2006) indican que ocurren variaciones en la calidad de banano Grande Naine y Williams durante dos épocas de cosecha. En la estación seca ambos cultivares presentaron niveles de sólidos solubles y acidez titulable mayores que en época lluviosa, mientras que la firmeza y el contenido de humedad en la pulpa fueron menores en la estación seca.

Por otro lado, Ferreyra *et al.* (2007) encontraron que fresas cosechadas durante el invierno tuvieron una mayor cantidad de azúcares y una menor concentración de fenoles totales en comparación con frutos cosechados en verano mientras que el color externo no fue afectado por la época de cosecha.

En toronjas se ha reportado que existen variaciones en pérdida de peso, sólidos solubles totales, acidez titulable y principalmente en la severidad de enfermedades poscosecha luego del almacenamiento según la época en la cual se cosecha esta fruta (Pailly *et al.* 2004).

En caso de la papaya, Workneh *et al.* (2012) indican que bajas temperaturas promueven bajos contenidos de azúcares en el fruto mientras que épocas lluviosas aumentan la susceptibilidad a enfermedades y daños mecánicos.

Además, en papaya se ha reportado que la incidencia de desórdenes fisiológicos y de algunas enfermedades durante la poscosecha varía según las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolló el fruto (Oliveira *et al.* 2008; Gomes *et al.* 2008; Campostrini *et al.* 2010, Jacomino *et al.* 2010, Bogantes *et al.* 2011), en consecuencia es posible que la calidad pueda variar según la época de cosecha.

2.4 Efecto de tratamientos poscosecha sobre la calidad de papaya

La papaya es muy susceptible a daños mecánicos, cambios de temperatura y pudriciones, los cuales disminuyen la vida en anaquel y afectan la apariencia de la fruta (Bogantes *et al.* 2011). Por esta razón, la aplicación de tratamientos que permitan conservar la calidad de la fruta es vital para reducir las pérdidas. El almacenamiento en frío es la técnica más utilizada para la preservación de la papaya y de productos frescos en general. Su objetivo es disminuir la tasa metabólica retardando la síntesis de etileno. De esta forma se logra el retraso de la maduración (Teixeira *et al.* 2007).

Por otro lado, es común la aplicación de fungicidas con el fin de evitar pérdidas generadas por pudriciones. En papaya el fungicida más utilizado es el procloraz (Teixeira *et al.* 2007). Sin embargo, en ocasiones es necesaria la implementación de otros tratamientos como el hidrotérmico y la aplicación de ceras naturales para la preservación de la calidad.

2.4.1. Efecto del tratamiento hidrotérmico

Los tratamientos térmicos son utilizados a nivel comercial como tratamiento cuarentenario de plagas y para controlar enfermedades. Han tomado importancia debido a la restricción del uso de agroquímicos durante la etapa poscosecha y por el control que muestra en hongos que infectan de forma latente al fruto (Valero *et al.* 2010).

La implementación de un tratamiento cuarentenario para la eliminación de la mosca de la fruta es requisito para realizar la exportación de papaya a Estados Unidos. Este tratamiento consiste en la inmersión de la fruta en agua caliente a 49 °C durante un período de 20 minutos (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos 2003-2004). Una ventaja adicional de la aplicación de este tratamiento es la disminución de la incidencia del hongo *Colletotrichum gloeosporoides*, documentada en investigaciones recientes (Chávez *et al.* 2011, Martins *et al.* 2010).

Sin embargo, debe tomarse en cuenta que este tratamiento puede alterar la fisiología normal de las frutas ya que se ha demostrado que en algunos casos se da una inhibición de la síntesis de etileno y por lo tanto de otros procesos dependientes del etileno como suavizamiento y desarrollo del aroma (Valero *et al.* 2010; Paull *et al.* 2000; Tang *et al.* 2007).

En algunos casos este tratamiento puede causar daños como bronceados y hundimientos en la cáscara. Esta sintomatología podría ser causada por la ruptura de membranas celulares a partir de las cuales se produce una oxidación (Tang *et al.* 2007). Además, puede retrasar el desarrollo de color amarillo en la cáscara debido a la inactivación de clorofilasas (Valero *et al.* 2010).

Chávez *et al.* (2011) reportaron que luego de aplicar agua a 50 °C por 9 minutos en papaya Maradol, la fruta mostró zonas bronceadas en la cáscara y otras zonas permanecieron de color verde al finalizar la maduración. Daños similares a nivel de

cáscara también se han reportado en mango y aguacate (Jacobi *et al.* 2001; Woolf *et al.* 1999). Por otro lado, Paull *et al.* (1990) documentan que el desarrollo de color externo se llevó a cabo de forma normal luego de aplicar agua caliente 42 °C por 30 minutos y 49° C por 70 minutos en papaya Sunset.

Otro proceso que podría verse afectado es el suavizamiento de la fruta que se atribuye a la inhibición de las enzimas hidrolíticas de la pared celular (Paull *et al.* 2000). Paull *et al.* (1990) encontraron que luego de aplicar tratamiento hidrotérmico, los frutos de papaya tratados presentaban una firmeza superior a los testigo mientras que Chávez *et al.* (2011) señalan que la aplicación de este tratamiento no tuvo ningún efecto sobre la firmeza del fruto y que los niveles de las enzimas PME y PG no fueron afectados por el tratamiento. Por otro lado, papaya Maradol tratada a 53°C por 3 minutos disminuyó su firmeza (López 2010). En otras frutas como mango y fresa la firmeza tiende a perderse más rápidamente luego de la aplicación del tratamiento (Jacobi *et al.* 2001; Lara *et al.* 2006).

En cuanto a la pérdida de peso, Valero *et al.* (2010) indican que puede reducirse debido a que se da un derretimiento de la cera epicuticular de la fruta lo que ocasiona que microfracturas y estomas se cubran, lo cual reduce la transpiración. Sin embargo, Tang *et al.* (2007) mencionan que la pérdida de peso en frutos tratados con agua caliente generalmente tiende a ser mayor comparado con frutos testigo.

En frutos de papaya Maradol los sólidos solubles no se ven afectados por la aplicación de este tratamiento (Chávez *et al.* 2011; López 2010). Resultados similares se han obtenido para mandarina mientras que en fresa los sólidos solubles tienden a aumentar (Hong *et al.* 2007; Lara *et al.* 2006).

Con respecto a las enfermedades generalmente ocurre una disminución, pero si el tratamiento produce daños como bronceados o hundimientos en la cáscara puede aumentar la susceptibilidad del fruto ante patógenos (Tang *et al.* 2007). Además de ejercer un control directo sobre los patógenos al eliminar las esporas e infecciones latentes, también produce un control indirecto al aumentar los mecanismos de defensa del fruto debido a que puede inducir la síntesis de fitoalexinas (Valero *et al.* 2010). Este efecto podría relacionarse con el aumento en los niveles de fenoles, ya que en otras frutas como cítricos y granadas se ha reportado un incremento de estos compuestos posterior a la aplicación de agua caliente (Valero *et al.* 2010).

La respuesta de la fruta al tratamiento hidrotérmico depende de la combinación de factores como condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolló el fruto, el estado de madurez, tiempo y temperatura de exposición al tratamiento (Tang *et al.* 2007)

Las condiciones de crecimiento y desarrollo del fruto pueden aumentar la sensibilidad o resistencia al tratamiento. Las altas temperaturas en el campo pueden tener un efecto positivo al incrementar la tolerancia del fruto a altas temperaturas durante la poscosecha debido a la acumulación de proteínas de choque térmico (HSP), efecto que se ha reportado para papaya, mango y aguacate (Paull *et al.* 1990; Jacobi *et al.* 2001; Woolf *et al.* 1999).

En el caso específico de la papaya, Paull citado por Tang *et al.* (2007) encontró una correlación entre la temperatura mínima durante los 3 días previos a la cosecha de la fruta y el desarrollo de daño luego del tratamiento. Si la temperatura era mayor a 22,5 °C el daño no ocurría, por lo que el daño se presentaba según la época de cosecha.

La exposición directa al sol tiene un efecto similar a las altas temperaturas en el campo. En aguacate Hass frutos que se desarrollaron en la sombra sufrieron daños debido a la aplicación de agua caliente mientras que frutos que crecieron expuestos al sol no presentaron síntomas de daño. Además, la fuga de electrolitos fue mayor en la fruta no expuesta al sol, indicando que hubo mayor ruptura de membranas celulares debido al tratamiento (Woolf *et al.* 1999).

2.4.2. Efecto de la aplicación de cera

Las ceras forman una barrera física que crea una atmósfera modificada alrededor del fruto, de manera que controla los procesos de respiración y transpiración de la fruta reduciendo la pérdida de agua. Esto puede provocar que el proceso de maduración se retrase, aumentando así la vida en anaquel (Bai y Plotto 2012).

Además, pueden mejorar la apariencia del producto ya que le aportan brillo. Sin embargo, esto dependerá del tipo de cera pues algunas pueden dejar residuos o pueden darle una textura pegajosa al fruto (Bai y Plotto 2012).

Por otra parte, procesos poscosecha como el lavado y la manipulación remueven parte de la cera natural de la fruta lo que aumenta la susceptibilidad a la pérdida de agua y al ataque de patógenos. El uso de ceras cubre estas rupturas y refuerza la barrera natural de las frutas (Petit *et al.* 2010).

Las ceras son elaboradas a base de lípidos sintéticos o naturales como cera de abeja y carnauba, aceites vegetales y minerales, ácidos grasos y emulsificantes. También existen ceras o recubrimientos a base de polisacáridos como almidón, celulosa, quitosano y otras hechas a partir de proteínas derivadas de maíz, soya y trigo. Actualmente, estos últimos materiales han tomado importancia ya que se consideran como ceras comestibles y pueden utilizarse como recubrimiento de productos precortados (Bai y Plotto 2012).

Se debe tomar en cuenta que el efecto que tenga la cera dependerá del tipo de cera utilizada y de la dosis, pues al modificar la atmósfera de la fruta podría causar respiración anaeróbica y por lo tanto provocar fermentación y desórdenes fisiológicos (Bai y Plotto 2012).

Ali *et al.* (2011) señalan que la aplicación de cera en el híbrido de papaya Eksotika II reduce significativamente la pérdida de peso y de firmeza. Con respecto al color, el tratamiento retardó el cambio de verde a amarillo en la cáscara. Además, la concentración de sólidos solubles fue menor en frutos tratados con cera comparada con frutos testigo.

Al aplicar cera en papaya Maradol, Petit *et al.* (2010) encontraron que no hubo ningún efecto sobre las características químicas, pero la apariencia externa del fruto mejoró ya que la cera aumentó el brillo y retardó la aparición de pudriciones. Sin embargo, Spondilok *et al.* (2010) reportan que el uso de ceras en papaya “Red Maradol” no tuvo efecto sobre las características químicas y físicas.

En otras frutas como pera y sapote el uso de ceras reduce la pérdida de peso, aumenta los sólidos solubles y retarda el suavizamiento (Zhou *et al.* 2008; Ergun *et al.* 2005).

2.5 Estructuras anatómicas externas de los frutos que influyen en el periodo poscosecha

Las principales estructuras externas relacionadas con el comportamiento poscosecha de las frutas son la cutícula y los estomas. La cutícula es una capa continua extracelular que se forma sobre las células epidérmicas de los órganos de las plantas (Glenn *et al.* 2005). Está compuesta en su mayoría por una matriz de cutina. Las ceras que se infiltran en la cutina forman una capa sobre la superficie de la cutícula llamada cera epicuticular, la cual puede ser amorfa o con estructuras cristalinas de formas diferentes (Evert 2006, Glenn *et al.* 2005). Las formas más comunes son túbulos, varillas, filamentos, placas y gránulos. Esta estructura le confiere el brillo natural a las frutas (Evert 2006), característica que influye en su apariencia y por lo tanto en su calidad.

La estructura y composición de las ceras epicuticulares dependen de la composición química, la cual es influenciada por factores ambientales. Variaciones en las condiciones ambientales como temperatura, intensidad de luz y humedad influyen la morfología y desarrollo de las ceras epicuticulares (Glenn *et al.* 2005). En general, altas temperaturas pueden favorecer estructuras paralelas en la superficie de la cutícula como placas y escamas mientras que bajas temperaturas pueden favorecer estructuras más verticales como barras y tubos (Shepherd y Griffiths 2006).

La estructura de las ceras epicuticulares también se ve influenciada por el genotipo. En las frutas estas ceras no solo varían entre especies, sino entre variedades. En manzana Belding *et al.* (1998) reportaron diferencias entre las variedades Granny Smith, Lys Golden y Red Chief, mientras que Curry (2008) encontró diferencias entre las variedades Royal Gala y Autumn Gold.

La cutícula es un componente estructural vital ya que constituye la primera interacción entre los frutos y el ambiente. Su principal función es minimizar la pérdida de agua del fruto (Evert 2006). Sin embargo, cumple otras funciones como la regulación del intercambio gaseoso y protección ante condiciones ambientales adversas y daños mecánicos (Glenn *et al.* 2005).

Además, la cutícula constituye una barrera al ataque de patógenos. En algunas frutas como uvas se ha determinado que a mayor grosor de cutícula y mayor cantidad de ceras epicuticulares la resistencia al ataque de patógenos es mayor (Mlikota *et al.* 2003).

Otras estructuras importantes son los estomas. Estos son aberturas en la epidermis, rodeadas por dos células guarda que se encargan de regular la apertura y cierre estomático. La función principal de los estomas es regular el intercambio gaseoso, por lo que se relacionan directamente con la actividad respiratoria y pérdida de agua de la fruta (Evert 2006).

En frutas como rambután y tomate se ha determinado que las variedades con mayores densidades estomáticas tienen mayor tasa de pérdida de peso y actividad respiratoria, lo cual se relaciona con un proceso de maduración más acelerado (Yingsanga *et al.* 2006, Paul y Srivastava 2006). Por otro lado, al ser aberturas naturales también son puertas de entrada para patógenos. Por ejemplo, en cerezas Mlikota *et al.* (2003) determinaron que las variedades que presentan resistencia a *Botrytis cinerea* son aquellas que poseen menor densidad estomática.

Otros autores mencionan que en algunos casos los estomas llegan a fracturarse cuando la fruta alcanza cierto estado de madurez lo que conlleva a que pierdan la capacidad para regular su apertura y cierre, por lo que entonces se convierten en lenticelas (Bally 1999, Gazzola *et al.* 2004, Curry 2003)

La cutícula y los estomas al participar en la regulación de los procesos de respiración y transpiración de las frutas, influyen en la vida de anaquel y la apariencia de los productos frescos. Por lo tanto daños o cambios en su morfología pueden provocar la aparición de desórdenes fisiológicos y patológicos que afectan la apariencia de los productos frescos por lo que su calidad disminuye.

Así por ejemplo, en manzana uno de los desórdenes más comunes es el escaldado superficial. Zhang y Shu (2003) encontraron que el escaldado se asocia con la cantidad de ceras epicuticulares del fruto, de manera que cuando el daño es severo la cantidad de cera es mínima.

Daños en las lenticelas son otro problema común en manzana y en mango, donde el daño se observa como pequeñas manchas hundidas. Gazzola *et al.* (2004) determinaron que las áreas que se observan afectadas carecen de cera cuticular y las lenticelas se encuentran fracturadas. Curry (2003) menciona que estas estructuras pueden dañarse debido a factores ambientales y por la aplicación de tratamientos durante la poscosecha.

2.6 Efecto de tratamientos poscosecha sobre la ultraestructura

La aplicación de tratamientos poscosecha puede causar daños o alteraciones sobre estructuras externas como ceras epicuticulares y estomas, los cuales pueden afectar la calidad de los productos. Dentro de estos tratamientos el más estudiado a nivel ultraestructural ha sido el hidrotérmico.

En frutos de papaya Golden, Pereira *et al.* (2012) observaron que la aplicación de este tratamiento provocó modificaciones en la superficie, dándole una apariencia más lisa a las ceras epicuticulares y cubriendo estomas. Además, observaron deposiciones de cristaloides que probablemente se sintetizaron como respuesta al estrés provocado por el tratamiento ya que estas estructuras fueron más evidentes cuando la temperatura utilizada fue mayor. La exudación de cristaloides debido a la aplicación de este tratamiento ha sido reportada en otras frutas como manzana y mango (Scherrer *et al.* 2010, Petit *et al.* 2009)

En manzana también se han documentado cambios ultraestructurales debido a la aplicación de agua caliente en distintas variedades. Este tratamiento provoca el recubrimiento parcial o total de las grietas naturales presentes en el fruto debido al derretimiento de los cristales de cera. Este cambio estructural se ha asociado con reducción de la permeabilidad en frutas tratadas (Roy *et al.* 1994, Scherrer *et al.* 2010).

Por otra parte, Petit *et al.* (2009) señalan que frutos de mango Kent tratados con agua caliente tuvieron ceras epicuticulares de tipo pergamino con una orientación paralela de placas mientras que los frutos testigo mantuvieron una conformación amorfa y con placas más grandes.

La forma de aplicación del tratamiento también induce cambios ultraestructurales distintos. Por ejemplo, al aplicar el tratamiento térmico por inmersión, el derretimiento y recubrimiento de la superficie es más homogéneo comparado con la aplicación por medio de aspersión. La duración del tratamiento también provoca cambios distintos, según Pereira *et al.* (2012) y Scherrer *et al.* (2010) a mayor tiempo de aplicación del tratamiento más lisa se vuelve la superficie del fruto.

Los cambios estructurales debidos a la aplicación de agua caliente pueden afectar la respuesta a otros tratamientos posteriores como la aplicación de CaCl_2 , ya que al recubrir estomas y grietas naturales se dificulta la absorción de estos compuestos (Roy *et al.* 1999). Además, este cambio morfológico podría obstaculizar la entrada de patógenos durante el almacenamiento ya que estos ingresan a través de aberturas naturales (Tahir *et al.* 2009, Scherrer *et al.* 2010, Pereira *et al.* 2012).

Otros tratamientos como la aplicación de ozono y CaCl_2 no inducen ningún cambio a nivel de ceras epicuticulares (Pereira *et al.* 2012, Ribeiro *et al.* 2005). Sin embargo, la exposición a la radiación ultravioleta ocasiona ciertas modificaciones como aplastamiento de los montículos de cera, daños en los tricomas y arrugamiento de la superficie en frutos de tomate (Charles *et al.* 2008) mientras que la aplicación de 1-Metilciclopropeno

preserva la conformación de ceras epicuticulares en manzana durante el almacenamiento (Curry 2008).

Es importante tomar en cuenta que los cambios que se observen en la superficie de los frutos en respuesta a la aplicación de cualquier tratamiento podrían ser distintos entre variedades dadas las diferencias morfológicas (Scherrer *et al.* 2010, Curry 2008).

En cuanto a la aplicación de cera en los frutos se desconoce si la ultraestructura de las ceras epicuticulares se modifica debido al tratamiento. Además, a pesar de que existe evidencia de que los tratamientos poscosecha afectan las ceras epicuticulares, estos cambios ultraestructurales no se han relacionado directamente con la calidad de la fruta.

2.7 Efecto del almacenamiento sobre la ultraestructura

Con respecto a los cambios ultraestructurales debidos al almacenamiento y a la maduración, estos han sido poco estudiados. Curry (2008) y Ribeiro *et al.* (2005) mencionan que luego del periodo de almacenamiento se da una reparación de grietas presentes en la superficie de manzanas, por lo que las ceras epicuticulares se observan más lisas mientras que Charles *et al.* (2008) observaron arrugamientos en la superficie de tomates. Estos autores mencionan que esos cambios probablemente están relacionados con la apariencia deshidratada de la fruta y la pérdida de brillo.

La presencia de cristaloides es otro cambio que ha sido asociado a la maduración y ha sido observado por Curry (2008) y Charles *et al.* (2008) en manzana y tomate, respectivamente. Debido a que estos cristaloides se encontraron ausentes en frutas recién cosechadas, estos autores señalan que probablemente estas estructuras son sintetizadas durante el almacenamiento y que su síntesis podría estar relacionada con el proceso de maduración de la fruta.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general:

Determinar los cambios estructurales y las variaciones en la calidad del fruto debidos a la época de cosecha y al manejo poscosecha.

3.2 Objetivos específicos:

- ✓ Determinar los cambios ultraestructurales y variaciones de calidad del fruto en respuesta al almacenamiento y aplicación de tratamientos poscosecha.

- ✓ Caracterizar la ultraestructura del fruto de papaya híbrido Pococí.

- ✓ Caracterizar desórdenes de origen fisiológico en el fruto a nivel ultraestructural y variaciones en la calidad según la época de cosecha.

4. Materiales y métodos

4.1 Material experimental

Se utilizaron frutos de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí, provenientes de fincas comerciales ubicadas en los cantones de Guácimo y Pococí, Limón, Costa Rica. La fruta se cosechó cada mes a partir del 24 de Junio del 2011, durante un período de 8 meses consecutivos (Cuadro 1). Cada mes constituyó un ensayo.

Para los ensayos de los 5 primeros meses se seleccionó fruta recién cosechada de la bodega de acopio de una finca ubicada en el cantón de Pococí, la fruta utilizada en los ensayos de los siguientes tres meses se seleccionó de la planta empacadora del Centro Agrícola Cantonal de Guácimo, Limón. Para cada ensayo se utilizaron 114 frutos.

Los frutos fueron cosechados en el estado 2 (Cuadro 2), se utilizaron únicamente frutos que cumplieron con los estándares de calidad para exportación.

Cuadro 1. Fechas de cosecha y muestreo de papaya Pococí en la zona de Guápiles durante la realización del ensayo.

Ensayo	Mes	Fecha de cosecha
I	Junio	24 Junio 2011
II	Julio	28 Julio 2011
III	Agosto	30 Agosto 2011
IV	Octubre	3 Octubre 2011
V	Noviembre	2 Noviembre 2011
VI	Diciembre	5 Diciembre 2011
VII	Enero	12 Enero 2012
VIII	Febrero	13 Febrero 2012

4.2 Localización

Luego de ser seleccionados, los frutos se envolvieron con papel periódico de forma individual y se colocaron en cajas plásticas para transportarlos al Laboratorio de Tecnología Poscosecha, perteneciente al Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica ubicado en la Ciudad de la Investigación, Montes de Oca.

En este mismo laboratorio se llevó a cabo la aplicación de tratamientos, el almacenamiento de los frutos y las evaluaciones relacionadas a variables de calidad poscosecha.

Las muestras para evaluar las variables ultraestructurales fueron procesadas y analizadas en el Centro de Investigación en Estructuras Microscópicas de la Universidad de Costa Rica, ubicado en la Ciudad de la Investigación, Montes de Oca.

4.3 Ensayos

Una vez en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha, los frutos se lavaron con agua con el fin de eliminar látex y otras impurezas, posteriormente se dejaron secar de manera natural y se evaluó el porcentaje de color amarillo y el peso de cada fruta.

Para cada uno de los 8 ensayos las papayas se dividieron en 3 grupos de 30 frutas cada uno, correspondientes a cada tratamiento a aplicar y se apartaron 24 frutas para realizar la evaluación inicial (entrada a cámara).

Los tratamientos aplicados fueron los siguientes:

1. Testigo: Inmersión de la fruta en una solución de cloro con una concentración de 50 mg/L durante un minuto. Posteriormente la fruta se sumergió en una solución del fungicida procloraz (Mirage 45 EC) a una dosis de 0,5 cc/L durante un minuto.
2. Hidrotérmico: Los frutos se colocaron en un tanque con agua caliente a 49 °C por 20 minutos. Posteriormente, se aplicó cloro y procloraz siguiendo la misma metodología de aplicación utilizada en el testigo.
3. Cera: Las frutas se sumergieron en cloro y procloraz al igual que el testigo. Luego se dejaron secar durante 20 minutos aproximadamente y se procedió a aplicar cera orgánica a base de linaza (Adeceq 10.69 SL) al 10% de producto comercial por medio de inmersión.

Luego de aplicar los tratamientos las frutas se dejaron secar a temperatura ambiente y cada una se envolvió en papel periódico, de manera que únicamente la zona distal y parte de la medial estuvieran cubiertas. Luego se colocaron en cajas plásticas en posición vertical apoyadas en la zona distal.

Los frutos se almacenaron dentro de una cámara de refrigeración a una temperatura de 14 °C y 85% de humedad relativa durante 14 días. Al cumplirse este período la mitad de los frutos se evaluaron (evaluación salida de cámara fría) y los frutos restantes continuaron en almacenamiento a una temperatura de 20 °C hasta que alcanzaran la madurez de consumo.

4.4 Variables evaluadas para la calidad poscosecha

Para cada ensayo las evaluaciones se realizaron en tres fechas distintas:

1. Entrada a la cámara fría (día 0)
2. Salida de cámara fría (día 14): 14 días de almacenamiento a 14°C y aproximadamente 80% de humedad relativa.
3. Madurez de consumo: Cuando la fruta alcanzó al menos 75% de amarillo externo, después de la salida de cámara a 14°C y bajo condiciones de almacenamiento de 20°C y aproximadamente 80% de humedad relativa.

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

- ✓ Porcentaje de color amarillo externo: Se determinó con ayuda de una escala visual establecida preliminarmente para papaya híbrido Pococí, en la cual se detallan 7 estados de madurez (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estados de madurez de la papaya híbrido Pococí (Salazar 2012).

Estado madurez	% Amarillo externo
0	0-5
1	6-15
2	16-25
3	26-40
4	41-55
5	56-70
6	71-80
7	Mayor a 80

- ✓ Porcentaje de pérdida de peso: Se determinó tomando como referencia el peso inicial de cada fruta (antes del almacenamiento) respecto al peso en cada fecha de evaluación (posterior al almacenamiento). Se utilizó una balanza OHAUS- Adventurer con 0,01 gramos de precisión.
- ✓ Desórdenes fisiológicos y patológicos: Se determinó el porcentaje de área afectada por medio de la escala propuesta por Navarro y Arauz (1999). Se cuantificó la presencia de enfermedades en general y se descartó la fruta con severidad mayor al 10%.
- ✓ Firmeza de cáscara y pulpa: Se determinó utilizando un penetrómetro marca Chatillón con punta en forma de diente. En una cara escogida al azar, para cada fruta se evaluaron 2 puntos, uno en la zona apical/medial y otro en la medial/distal. La firmeza de la pulpa se determinó removiendo una porción de cáscara cercana a los puntos donde se evaluó la firmeza de cáscara y luego se realizó la medición en la pulpa.
- ✓ Color de pulpa y cáscara: En el caso de la pulpa, el color se evaluó en 3 puntos tomados al azar en la rodaja central de cada fruto. El color en la cáscara se evaluó a partir del cuarto ensayo (cuarto mes de cosecha), se midió únicamente en la evaluación de madurez de consumo. La lectura se tomó en 3 puntos al azar sin tomar en cuenta áreas verdes. En ambos casos el color se evaluó por medio de un colorímetro Minolta CR-300, utilizando la escala CIE L*a*b*. Los datos de color se expresaron como Hue, Chroma y L*.
- ✓ Brix: Se tomó la rodaja central de cada fruto a la cual se eliminó la cáscara y las semillas. La pulpa se maceró con ayuda de una licuadora manual, el macerado se filtró con una gasa para obtener el jugo. La medición se realizó utilizando un refractómetro digital Atago PAL-1.

- ✓ Contenido de fenoles totales: Se determinó por medio del método descrito por Singleton y Rossi (1965) con modificaciones. Se tomó una porción de la rodaja central de 3 frutos de cada tratamiento durante la evaluación de madurez de consumo. Estas rodajas se congelaron a -20°C durante un máximo de 14 días.

Se realizaron 3 extractos por tratamiento. Para realizar la extracción de fenoles se tomaron 5g de pulpa a los cuales se le agregó 10 mL de metanol al 80%, luego se maceró con ayuda de una licuadora manual. El macerado se centrifugó a 9000 rpm por 15 minutos en una centrífuga IEC HN-S II. El sobrenadante se filtró y el procedimiento de centrifugado se repitió 2 veces más utilizando cada vez 10 mL de metanol al 80%. Los sobrenadantes se juntaron y se aforaron con metanol al 80% a un volumen de 25 ml. Los extractos se guardaron a 4°C .

Al día siguiente se realizó la medición de fenoles. Se realizaron 3 repeticiones por cada extracto. En un tubo protegido de la luz se agregaron 500 μl de extracto, 3 ml de agua destilada, 250 μl de Folín-Ciocalteau (1 reactivo: 1 agua destilada) y 750 μl de Na_2CO_3 al 20%. El volumen final se aforó a 5 ml con agua destilada y se agitó con ayuda de un vortex. Las muestras se dejaron reposar durante una hora. Posteriormente se realizó la lectura a 750 nm en un espectrofotómetro Genesys Thermo Scientific 10S UV-Vis.

La concentración de fenoles totales se expresó en miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco.

4.5 Evaluaciones ultraestructurales

4.5.1 Caracterización de la ultraestructura del fruto

Con el fin de caracterizar las ceras epicuticulares, la cutícula y los estomas de la fruta se tomaron muestras al azar de 3 frutos del estado de madurez 2 en el momento de entrada a cámara en los meses de Agosto y Diciembre (ensayos III y VI), respectivamente. Se tomaron 4 muestras por fruto, 2 de la cara expuesta al sol y 2 de la cara sombreada. La cara expuesta al sol fue la parte de la superficie del fruto que recibió directamente la radiación solar mientras se encontraba unido a la planta madre, la cara sombreada fue la parte de la superficie del fruto que se encontraba directamente apoyada sobre el tallo de la planta madre y que no recibió directamente la radiación solar.

Se utilizaron frutos con el mínimo de defectos, por lo que se evitó tomar muestras de lugares cercanos a zonas enfermas, con daños mecánicos o manchas, esto debido a que el objetivo en esta sección fue caracterizar un fruto normal que no presentara ningún tipo de problemas. Las muestras se prepararon siguiendo la metodología convencional para microscopía de barrido descrita en el apartado 4.6.1.

4.5.2 Caracterización de la ultraestructura de desórdenes fisiológicos del fruto

Se tomaron muestras de frutas maduras que presentaron punteado verde, las frutas que presentaron este síntoma tenían puntos de color verde oscuro en la cáscara. Este punteado es evidente sólo cuando la fruta madura y no tiende a crecer o desaparecer luego de que la fruta alcanza la madurez (Anexos, Figura 1). También se tomaron muestras de frutos maduros que no mostraron defectos en la cáscara y que lograron desarrollar un color amarillo uniforme en la cáscara (Anexos, Figura 1).

Además se tomaron muestras de frutos que presentaron endurecimiento y firmeza de pulpa normal. El criterio utilizado para clasificar los frutos con endurecimiento fue utilizar frutos que presentaron una firmeza de pulpa mayor a los 12 N cuando alcanzaron más de 75% de amarillamiento en la cáscara. En ocasiones la sección más externa de la pulpa de estos frutos presentó un color más claro que el resto de la pulpa formando una especie de halo endurecido (Anexos, Figura 2).

Para cada caso se utilizaron 3 frutos del estado de maduración 7 (mayor al 80% de color amarillo) provenientes del tratamiento testigo, y que se cosecharon en estado 2 de maduración. Se tomaron 2 muestras por fruto.

Las muestras de frutos con endurecimiento y frutos con firmeza normal se prepararon siguiendo la metodología de criofractura para microscopía de barrido (Apartado 4.6.2) con el fin de observar cortes transversales de la pulpa y comparar grosores de pared celular. Las muestras de frutos con punteado verde y cáscara sin defectos se procesaron mediante la metodología convencional para microscopía de barrido (Apartado 4.6.1), en este caso ambos se compararon a nivel de ceras epicuticulares y estomas.

4.5.3 Evaluación del efecto de tratamientos poscosecha sobre la ultraestructura del fruto

Esta evaluación se realizó únicamente en el ensayo correspondiente al mes de Diciembre (ensayo VI). Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

1. Testigo
2. Cera
3. Tratamiento hidrotérmico
4. Tratamiento hidrotérmico + Cera

Se tomaron 3 frutos al azar de cada tratamiento en cada una de las evaluaciones realizadas (Entrada a cámara fría, salida de cámara y madurez de consumo). De cada fruto se tomaron 4 muestras, 2 de la cara expuesta al sol y 2 de la cara sombreada (Figura 1), todas estas muestras se tomaron de la zona medial del fruto. En el caso de la evaluación de entrada a cámara, luego de la aplicación de tratamientos se esperó a que los frutos se secaran para tomar las muestras. En el caso de la evaluación de salida de cámara se esperó a que se evaporara la condensación de la superficie de los frutos para tomar las muestras.

Las muestras se procesaron utilizando la metodología convencional para microscopía de barrido (Apartado 4.6.1). Se observaron 4 muestras por cada tratamiento en cada fecha de evaluación para cada una de las caras. Se realizaron observaciones a nivel de ceras epicuticulares y estomas.



Figura 1. Detalle de la zona medial de la cara sombreada de donde se tomaron las muestras para la evaluación ultraestructural de la aplicación de tratamientos poscosecha.

4.6 Preparación de muestras para microscopía electrónica de barrido

4.6.1 Método convencional

Se cortaron muestras de 10 mm², aproximadamente, con ayuda de un bisturí y se fijaron en una solución de glutaraldehído (2,5%) y paraformaldehído (2%) en amortiguador de fosfato de sodio (0,1 M, pH 7,4), por al menos 24 horas a 4°C. Se realizaron 3 lavados con amortiguador de fosfatos al 0,1M y se hizo una post fijación con Tetraóxido de Osmio al 1,5% por 2 horas. Luego se realizaron 3 lavados con agua destilada de 15 minutos cada uno.

Las muestras se deshidrataron con una gradiente ascendente de etanol (30°, 50°, 70°, 80°, 90°, 95°, 100°). Posteriormente, se realizaron 3 lavados con Terbutanol de 20 minutos cada uno y las muestras se secaron por sublimación. Una vez secas, las muestras se montaron en bases de aluminio con la cáscara dirigida hacia arriba y se cubrieron con 50 nm de Oro/Paladio utilizando un cobertor iónico Giko IB-3.

Las muestras se observaron en un microscopio de barrido Hitachi S-570 con un voltaje de aceleración de 15 kV a tres magnificaciones: 600x y 1000x para ceras epicuticulares y 1200x y 1250x para estomas.

4.6.2 Crio fractura

Luego del proceso de fijación y postfijación descrito en el apartado 4.6.1, se procedió a realizar un lavado con Dimetil Sulfoxido (DMSO) al 25% y luego con DMSO al 50%, cada lavado fue 15 minutos. Posteriormente, las muestras se congelaron con Nitrógeno líquido y para seccionar cada muestra en fragmentos más pequeños se utilizó un cincel.

Seguidamente, las muestras se colocaron en DMSO al 50 % y luego en DMSO al 25%, cada lavado fue de 15 minutos. Posteriormente, se realizaron 10 lavados de 10 minutos con agua destilada. Las muestras luego siguieron el proceso de secado y montaje descritos en el apartado 4.6.1. En este caso se observaron solo cortes transversales a una magnificación de 1000x.

4.7 Diseño experimental y análisis estadístico

Cada tratamiento estuvo formado por 30 frutos, la unidad experimental consistió en 5 frutos y se evaluaron 3 repeticiones para cada fecha de evaluación:

- ✓ Entrada a la cámara fría (día 0)
- ✓ Salida de cámara fría (día 15)
- ✓ Madurez de consumo

Se utilizó un diseño irrestricto al azar. Se realizó el análisis de varianza y la prueba de diferencia mínima significativa con una significancia del 5%, para esto se utilizó el programa estadístico Infostat versión 1.0.

5 Resultados y discusión

5.1 Variaciones de calidad del fruto según la época de cosecha y en respuesta a la aplicación de tratamientos poscosecha

5.1.1 Porcentaje de color amarillo externo

En el testigo a la salida de cámara las frutas se encontraban en el estado 3 de maduración (entre 31.36 y 45.67% de color amarillo) y en la madurez de consumo, se mostró un incremento hasta alcanzar el estado 6 y 7 de la escala, con valores de amarillamiento entre 71 y 86.25% (Cuadro 3). Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Salazar (2012), quien reportó que papaya Pococí cosechada en el estado 2 de maduración mostró un 31% luego de un almacenamiento de 14 días a 14°C y que luego de 7 días a temperatura ambiente desarrolló un 88% de coloración amarilla en la cáscara.

Como se observa en la figura 2, posterior al almacenamiento a 14°C, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para los meses de Julio y Agosto pero en Junio, Octubre, Enero y Febrero la fruta que fue inmersa en agua caliente presentó menores porcentajes de color amarillo que el testigo mientras que la fruta cubierta con cera tuvo un menor porcentaje de amarillamiento en los meses de Octubre y Diciembre con respecto al testigo.

En la madurez de consumo no se observaron diferencias significativas entre la fruta tratada con cera y el testigo. Ali *et al.* (2011) manifiestan que el uso de bajas concentraciones de cera no afecta el desarrollo de color externo de la fruta por lo que no se presentan diferencias con frutas testigo en papaya Eksotika II, lo cual es similar a los resultados obtenidos en este trabajo.

Además, se observó que en Agosto, Noviembre, Enero y Febrero la fruta que fue tratada con agua caliente desarrolló un color amarillo significativamente menor que el testigo. En los meses de Junio, Julio, Octubre y Diciembre no se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 2). A pesar de que se estableció que la evaluación de madurez de consumo debía realizarse cuando la fruta presentaba al menos 75% de color amarillo, algunas frutas sufrieron daños debido al tratamiento hidrotérmico, hubo un momento donde el desarrollo de color amarillo externo no avanzó más ya que las zonas que presentaron el daño quedaron de color verde opaco.

Los resultados obtenidos con respecto al efecto del tratamiento hidrotérmico concuerdan con lo reportado por Zamora (2012) quien indica que se da un retraso en la evolución del color amarillo en frutas de papaya Pococí posterior a la aplicación del tratamiento hidrotérmico. La clorofilasa, enzima encargada de la degradación de clorofila, es inhibida por la alta temperatura (Tang *et al.* 2007), razón por la cual posiblemente las frutas tratadas con agua caliente conservaron áreas de cáscara más verdes con respecto al testigo.

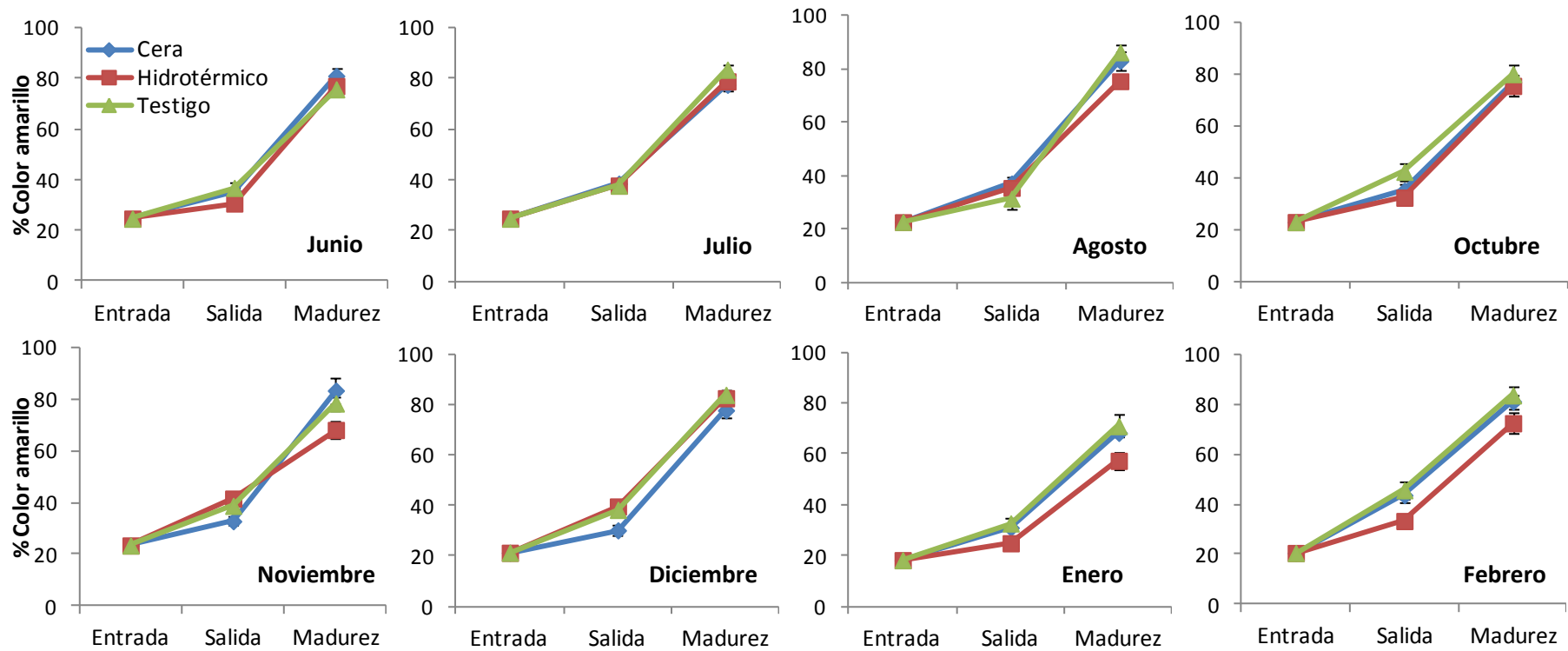


Figura 2. Avance del porcentaje de color amarillo en la cáscara en papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) en diferentes meses de cosecha evaluados a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara). Barras indican el error estándar.

Cuadro 3. Estado de madurez según la escala desarrollada por Salazar (2012) en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Entrada	Testigo		Cera		Hidrotérmico	
		Salida	Madurez	Salida	Madurez	Salida	Madurez
Jun	2	3,18 ab	6,00 ab	3,07 ab	6,20 a	2,67 b	5,87 bc
Jul	2	3,18 abc	6,54 b	3,20 ab	6,00 a	3,09 cde	6,15 c
Ago	2	2,73 a	6,63 b	3,17 ab	6,60 a	2,92 bcd	5,83 bc
Oct	2	3,45 bc	6,18 ab	2,91 a	6,00 a	2,82 bc	6,00 c
Nov	2	3,25 abc	6,00 ab	2,90 a	6,33 a	3,46 e	5,23 b
Dic	2	3,20 abc	6,47 b	2,80 a	6,07 a	3,27 de	6,40 c
Ene	2	2,80 a	5,67 a	2,80 a	5,40 a	2,20 a	4,47 a
Feb	2	3,80 c	6,27 ab	3,53 b	6,31 a	2,80 bc	5,79 bc
$p \geq 0,05$		0,0129	0,1782	0,0126	0,1193	<0,0001	<0,0001
$p \leq 0,05$		Mes	0,0047	0,0004			
		Trat	<0,0001	<0,0001			
		Mes x Trat	0,0007	0,2880			

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Se observaron daños externos como bronceados y hundimientos pequeños de forma redondeada en frutos a los cuales se les aplicó tratamiento hidrotérmico. Además, se observó que las zonas afectadas permanecieron de color verde opaco (Anexos, Figura 4). Estos daños se observaron únicamente en los meses de Agosto, Noviembre y Febrero, presentándose en la salida de cámara y se mantuvieron cuando la fruta alcanzó la madurez de consumo, por esta razón las frutas a las cuales se les aplicó este tratamiento presentaron un porcentaje de amarillo menor que las frutas testigo (Figura 12).

En el mes de Noviembre se dio la mayor incidencia de daños en la fruta debido a este tratamiento, principalmente bronceados y conservación de zonas verduzcas, lo cual puede explicar el menor desarrollo de color amarillo durante este mes. El daño causado por este tratamiento se presentó principalmente en la cara expuesta al sol (Anexo, Figura 4).

En los meses en los cuales se desarrolló el daño, en la entrada a cámara se presentaron porcentajes de color amarillo externo entre 20,5% y 23,4% (Cuadro 3) y no en los extremos del estado de maduración 2 (18% y 25%), lo cual podría indicar que en estos porcentajes de amarillo son más susceptibles a sufrir daños. Paull y Chen (1990) señalan que la papaya Sunset es más susceptible a sufrir daños por aplicación de tratamiento hidrotérmico cuando posee más de un 25% de coloración amarilla externa mientras que frutas con una coloración amarilla menor al 10% posee mayor resistencia al tratamiento.

Zamora (2012) no reportó daños luego de sumergir papaya Pococí con porcentajes de color amarillo entre 10 y 30% en agua a 49°C por 10 y 20 minutos. Por otro lado, en papayas de la variedad Maradol, Chávez *et al.* (2011) señalan que luego de sumergir la fruta a 55°C por 9 minutos se dio un desarrollo irregular del color con zonas que permanecieron verdes y con bronceados cuando la fruta maduró, síntomas similares a los observados en este estudio.

Según Paull y Chen (2000), Woolf *et al.* (1999) y Tang *et al.* (2007) es común que se den variaciones estacionales con respecto a la respuesta de la fruta al tratamiento hidrotérmico ya que esta puede verse influenciada por las condiciones ambientales bajo las cuales la fruta se desarrolló. Estos autores mencionan que la fruta puede desarrollar termotolerancia debido a condiciones ambientales adversas como alta luz o temperatura y se da la síntesis de proteínas de choque térmico, las cuales le confieren mayor resistencia a la fruta para soportar un estrés mayor durante la poscosecha como exposición a altas o bajas temperaturas. Este tipo de proteínas han sido reportadas para papaya Sunset por Paull y Chen (1999).

En el caso de otras frutas como el mango, se ha reportado que la fruta es más susceptible a sufrir daños como bronceados debido a la aplicación del tratamiento hidrotérmico si las condiciones climáticas han sido de lluvias prolongadas previo a la cosecha, mientras que temperaturas extremas en días previos a la cosecha le confieren cierta resistencia a la fruta ante este tratamiento (Jacobi *et al.* 2001).

En este estudio, en los meses de Agosto y Febrero, una semana previa a la cosecha de la fruta, se reportaron las radiaciones solares más altas, mientras que en Noviembre se dio la mayor precipitación (Anexos, Cuadro 5). Estas condiciones ambientales quizás influyeron en el comportamiento de la fruta ante la aplicación del tratamiento hidrotérmico, ya que tal vez pudieron predisponer la fruta a sufrir daños.

En los meses de Noviembre y Febrero la fruta presentó la mayor pérdida de peso (Anexos, cuadro 4), esto para todos los tratamientos. Esto podría indicar que tal vez hubo algún daño a nivel de ceras epicuticulares que aumentó la permeabilidad de la cáscara al intercambio gaseoso y que además aumentó la susceptibilidad de la fruta a sufrir daños cuando el tratamiento hidrotérmico se aplicó, puesto que las condiciones ambientales pueden provocar modificaciones en estas estructuras.

Sin embargo, según el estudio ultraestructural realizado, no hubo diferencias morfológicas a nivel de ceras epicuticulares a la entrada de cámara en Agosto, mes en el cual se presentó el daño debido a la aplicación de agua caliente, y Diciembre mes en el cual no se observó ningún daño. Además, en Agosto no se observaron daños a nivel de ceras epicuticulares. Esto podría sugerir que los daños podrían estar relacionados con el grosor de las ceras epicuticulares ya que capas más delgadas de cera podrían darle menos protección al fruto o podrían ser más propensas a sufrir daños por aplicación de tratamientos.

Como lo indica el cuadro 3, en el mes en que se obtuvo un estado de maduración más bajo en la evaluación de madurez de consumo fue Enero, debido a que en este mes la fruta se cosechó en el rango más bajo del estado 2 (cerca al 18% de amarillamiento), parece que esta situación se encuentra más ligada a la selección inicial de la fruta.

5.1.2 Color de cáscara

Para la variable de hue en cáscara, no se mostraron diferencias significativas para los meses de Noviembre, Diciembre y Enero (Cuadro 4). Por otro lado, en Octubre y Febrero las frutas testigo presentaron menores valores que las frutas tratadas, lo que indica que el color de la cáscara fue amarillo-anaranjado mientras que el color de la cáscara de las frutas a las cuales se les aplicó cera y agua caliente fue amarillo más claro.

El cuadro 4 muestra que para el chroma no se presentaron diferencias entre tratamientos en Octubre, Noviembre y Diciembre mientras que en Enero y Febrero las frutas tratadas con cera presentaron mayores valores que las tratadas con agua caliente, pero ambos tratamientos no fueron distintos del testigo. Esto sugiere que el color amarillo de la cáscara para las frutas tratadas con cera fue más intenso con respecto a las frutas tratadas con agua caliente.

Por otro lado, las frutas tratadas con agua caliente presentaron un porcentaje de color amarillo menor, este comportamiento podría indicar que además de retrasar el desarrollo de color amarillo externo este tratamiento también puede afectar negativamente la intensidad del color de la cáscara cuando la fruta alcanza la madurez.

En el caso del L^* , en general no hubo diferencias significativas entre tratamientos, se presentó diferencia únicamente para el mes de Octubre en el cual la fruta tratada con cera obtuvo el menor valor (Cuadro 4).

En papaya Maradol Chávez *et al.* (2011) señalan que no se dan diferencias significativas entre frutas testigo y frutas a las cuales se les aplicó el tratamiento hidrotérmico para las variables de L^* y chroma en cáscara. Para el hue en cáscara reportaron que la aplicación de agua caliente puede aumentar los valores de esta variable si el tiempo de exposición al tratamiento aumenta.

A pesar de que en la variable de porcentaje de color amarillo se evidenció que el producto tratado con agua caliente tuvo menores valores y por lo tanto mayor área verde con respecto al testigo (Figura 2), esto no se muestra en los valores de hue debido a que la medición se realizó únicamente en áreas amarillas de la cáscara. Sin embargo, en los meses de Octubre y Febrero el hue fue menor en la fruta a la cual se le aplicó el tratamiento, lo cual puede indicar que la aplicación de agua caliente puede provocar que el color amarillo desarrollado sea más claro.

Cuadro 4. Hue, Chroma y L* de cáscara de papaya Pococí tratada con cera y tratamiento hidrotérmico y cosechada en diferentes meses en la evaluación de madurez de consumo (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Tratamiento	Variable		
		Hue	Chroma	L*
Oct	Cera	84,72 b	58,57 a	66,43 a
	Hidrotérmico	84,78 b	59,14 a	68,54 b
	Testigo	82,05 a	58,70 a	68,27 b
	$p \leq 0,05$	0,0123	0,8443	0,0027
Nov	Cera	84,62 a	60,78 a	68,60 a
	Hidrotérmico	83,76 a	57,37 a	66,10 a
	Testigo	82,64 a	60,02 a	68,37 a
	$p \leq 0,05$	0,2719	0,2313	0,1334
Dic	Cera	75,22 a	59,46 a	66,56 a
	Hidrotérmico	70,62 a	54,81 a	67,17 a
	Testigo	74,72 a	57,64 a	67,32 a
	$p \leq 0,05$	0,3607	0,2116	0,2477
Ene	Cera	80,77 a	60,34 b	67,61 a
	Hidrotérmico	80,09 a	58,48 a	67,12 a
	Testigo	80,66 a	59,80 ab	68,32 a
	$p \leq 0,05$	0,7926	0,0447	0,2576
Feb	Cera	79,96 ab	59,11 b	66,92 a
	Hidrotérmico	81,21 b	57,21 a	65,79 a
	Testigo	79,82 a	58,63 ab	67,46 a
	$p \leq 0,05$	0,0845	0,0463	0,168

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

En este estudio, en general la fruta a la cual se le aplicó cera no mostró diferencias con respecto al testigo para los componentes de color en cáscara. Esto difiere de lo encontrado por Ali *et al.* (2011) quienes indican que el uso de cera disminuyó los valores de L* y chroma y aumentó el hue de cáscara en papaya Eksotika.

El hue varió entre 74.72 y 82.64 para la fruta testigo, entre 75.22 y 84.72 para las frutas tratadas con cera y entre 70.62 y 84.78 para frutas tratadas con agua caliente. En general el chroma varió entre 54.81 a 60.78 mientras que el L* se encontró con valores entre 65.79 a 68.60, ambos parámetros con pocas variaciones durante los meses (Cuadro 5).

Las diferencias entre meses fueron altamente significativas para la variable de hue. La fruta cosechada en Diciembre fue la que presentó el menor hue para todos los tratamientos, lo que indica que el color de la cáscara fue un amarillo-naranja, mientras que para los meses de Octubre y Noviembre la cáscara presentó un amarillo más claro en

la fruta testigo y tratada con cera. Durante estos meses la temperatura fue mayor a los 30°C, mientras que en Diciembre, Enero y Febrero la temperatura fue menor a los 30°C. Según Passam *et al.* (2007) altas temperaturas (Mayores a 30°C) pueden afectar negativamente la síntesis de carotenos.

El chroma y el L* mostraron diferencias poco significativas entre meses (Cuadro 5). En el caso del L*, los menores valores observados en la fruta tratada con agua caliente se presentaron en Noviembre y Febrero, debido probablemente a que en estos meses se presentó daño en la cáscara debido al tratamiento.

Cuadro 5. Hue, Chroma y L de cáscara de papaya Pococí tratada en diferentes meses en la evaluación de madurez de consumo (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Tratamiento	Mes	Hue	Chroma	L*
Testigo	Oct	82,05 bc	58,70 ab	67,32 a
	Nov	82,64 c	60,02 b	67,46 a
	Dic	74,72 a	57,64 a	68,27 a
	Ene	80,66 b	59,80 b	68,32 a
	Feb	79,82 b	58,63 ab	68,37 a
	$p \leq 0,05$	<0,0001	0,1051	0,3169
Cera	Oct	84,72 c	58,57 a	66,43 a
	Nov	84,62 c	60,78 b	68,60 c
	Dic	75,22 a	59,46 ab	66,56 a
	Ene	80,77 b	60,34 ab	67,61 bc
	Feb	79,96 b	59,11 ab	66,92 ab
	$p \leq 0,05$	<0,0001	0,3475	0,0055
Hidrotérmico	Oct	84,78 b	59,14 a	68,54 b
	Nov	83,76 b	57,37 a	66,10 a
	Dic	70,62 a	54,81 a	67,17 ab
	Ene	80,09 b	58,48 a	67,12 ab
	Feb	81,21 b	57,21 a	65,79 a
	$p \leq 0,05$	0,0001	0,3872	0,0982
$p \leq 0,05$	Mes	<0.0001	0,1055	0,0750
	Trat	0.4722	0,0096	0,0199
	Mes x Trat	0.3260	0,6720	0,0374

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$)

5.1.3 Color de pulpa

No hubo diferencias significativas entre tratamientos para el hue de pulpa posterior al almacenamiento ni en la madurez de consumo (Anexos, Figura 5). En general este parámetro tendió a disminuir durante el almacenamiento. Los menores valores se presentaron cuando la fruta llegó a la madurez, lo cual indica que el color de la pulpa en la entrada a cámara fría fue amarillo-anaranjado y en la madurez de consumo cambió a un color anaranjado más oscuro.

Este cambio de coloración de amarillo-anaranjado a anaranjado más intenso probablemente se deba a un aumento en la síntesis de carotenoides en la pulpa, entre los cuales se encuentra principalmente el licopeno (Schweiggert *et al.* 2011).

A la entrada de cámara los valores de hue de pulpa para frutas testigo variaron entre 53,29 y 63,86, correspondientes a los meses de Diciembre y Agosto. En la madurez de consumo la fruta presentó valores de 59,94 a 60,89. Salazar (2012) y Santamaría *et al.* (2009) reportan valores de 60 en pulpa de papaya Pococí y Maradol en madurez de consumo, respectivamente, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este trabajo.

En general para todos los tratamientos, en Diciembre y Febrero se observaron los menores valores de hue (Cuadro 6) lo cual sugiere que el color de la pulpa fue de un anaranjado más oscuro y por lo tanto más atractivo para el consumo. Por otro lado, los mayores valores de hue se obtuvieron en Julio, Agosto y Noviembre, meses en los cuales se obtuvo una coloración anaranjada más clara, para todos los tratamientos.

Este comportamiento podría estar relacionado con las condiciones de temperatura ya que durante Noviembre, Diciembre y Enero se reportaron temperaturas menores (cerca de los 30°C) comparados con el resto de meses evaluados (>32°C) (Anexos, Figura 8). Passam *et al.* (2007) mencionan que altas condiciones de luz y temperaturas por encima de los 32°C pueden inhibir la síntesis de licopeno. Durante los primeros meses de cosecha las temperaturas fueron mayores a los 32°C, lo cual quizás provocó algún efecto negativo en la síntesis de carotenos, principalmente en Julio y Agosto.

En cuanto al chroma de pulpa, en general no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Anexos, Figura 6). En la entrada a cámara fría se obtuvieron valores entre 38,75 y 45,16, según el mes de cosecha (Cuadro 7). Se observó que el chroma aumentó posterior al almacenamiento en la cámara fría y el mayor incremento se presentó cuando la fruta alcanzó la madurez de consumo, presentándose valores entre 45,16 y 48,46.

Este comportamiento sugiere que el color de pulpa se vuelve más intenso conforme la fruta madura. Lo mismo fue observado por Salazar (2012), quien reporta valores de chroma de pulpa de 36 posterior a un almacenamiento a 14°C por 14 días y de 49 en frutas maduras de papaya Pococí. El menor valor de este parámetro se presentó en Noviembre para todos los tratamientos cuando la fruta alcanzó la madurez (Cuadro 7), lo cual coincide con el menor hue y sugiere que la fruta cosechada en este mes tuvo un color de pulpa poco intenso.

Cuadro 6. Hue de pulpa en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Testigo			Cera		Hidrotérmico	
	Entrada	Salida	Madurez	Salida	Madurez	Salida	Madurez
Jun	59,08 c	57,69 cd	54,53 a	59,87 cd	54,07 a	60,94 cd	56,06 ab
Jul	57,45 bc	60,09 de	59,26 de	58,03 bc	58,11 bc	58,85 bcd	60,69 d
Ago	63,86 d	62,63 e	57,82 cd	57,75 bc	58,99 bc	61,61 d	58,64 cd
Oct	55,17 ab	56,93 bcd	55,23 ab	57,21 bc	55,12 ab	58,06 bc	54,14 a
Nov	62,49 d	59,51 de	60,89 e	61,33 d	59,08 c	58,56 bcd	60,01 cd
Dic	53,29 a	53,12 ab	55,20 a	53,33 a	55,96 ab	52,88 a	54,92 a
Ene	53,95 a	55,49 abc	56,90 bc	56,88 b	57,24 bc	56,79 b	57,84 bc
Feb	55,31 ab	51,68 a	53,94 a	51,18 a	54,32 ab	51,31 a	53,80 a
$p \leq 0,05$	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0032	<0,0001	<0,0001
$p \leq 0,05$	Mes	<0,0001	<0,0001				
	Trat	0,7828	0,6397				
	Mes x Trat	0,3101	0,0160				

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

En cuanto al valor de L^* correspondiente a la luminosidad, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las evaluaciones (Cuadro 8). Cuando la fruta ingresó a cámara fría presentó valores entre 54,93 y 63,74. Se observó una leve disminución luego del almacenamiento en cámara fría hasta llegar a la madurez, momento en que se obtuvieron valores entre 50,28 y 59,03. Santamaría *et al.* (2009) encontraron un valor de L^* cercano a 50 en pulpa madura de papaya Maradol. Por otro lado, Zamora (2012) menciona que el parámetro de L^* disminuye en la pulpa conforme la fruta de papaya Pococí madura.

En general para todos los tratamientos, el mayor valor de L^* se presentó en Julio mientras que en Octubre se obtuvo el menor L^* , esto durante la evaluación de madurez de consumo (Cuadro 8).

En el presente trabajo, los tratamientos aplicados no afectaron ninguno de los componentes de color. En el caso del tratamiento hidrotérmico, los resultados encontrados coinciden con lo observado por Zamora (2012) quien no encontró diferencias para los valores de hue, chroma y L^* en pulpa al comparar papayas Pococí inmersas en agua a 49°C por 10 minutos con respecto a frutos testigo. Sin embargo, Paull y Chen (1990) señalan que papayas Sunset que a las cuales se les aplicó agua caliente tuvieron un menor desarrollo de color interno.

Con respecto a la aplicación de cera, Spondilok *et al.* (2010) encontraron que el uso de cera provoca un aumento en el hue con respecto al testigo en pulpa de papaya Red Maradol, contrario a lo observado en este estudio.

Cuadro 7. Chroma de pulpa en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Testigo			Cera		Hidrotérmico	
	Entrada	Salida	Madurez	Salida	Madurez	Salida	Madurez
Jun	41,19 b	39,77 a	47,12 bcd	44,73 bcd	47,49 ab	40,58 a	48,73 cd
Jul	43,43 cde	41,96 ab	48,29 cd	43,93 bc	47,43 ab	44,82 cd	47,85 cd
Ago	38,75 a	41,56 ab	48,46 d	42,12 b	46,92 ab	40,31 a	48,20 cd
Oct	42,62 bcd	42,6 b	46,22 ab	43,59 b	46,50 ab	43,81 bc	45,57 ab
Nov	40,59 ab	41,21 ab	45,16 a	38,54 a	46,06 a	42,05 ab	43,86 a
Dic	42,07 bc	47,63 c	48,09 cd	46,63 d	47,01 ab	48,19 e	46,93 bc
Ene	45,16 e	46,47 c	47,70 bcd	46,44 cd	48,81 b	47,01 de	49,02 d
Feb	44,48 de	42,52 b	46,26 abc	43,62 b	46,21 a	42,59 abc	47,84 cd
$p \leq 0,05$	<0,0001	<0,0001	0,0024	<0,0001	0,0914	<0,0001	<0,0001
$p \leq 0,05$	Mes	<0,0001	<0,0001				
	Trat	0,2091	0,8844				
	Mes x Trat	0,0073	0,1902				

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Cuadro 8. L* de pulpa en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Testigo			Cera		Hidrotérmico	
	Entrada	Salida	Madurez	Salida	Madurez	Salida	Madurez
Jun	59,93 c	62,86 c	53,96 bc	61,36 e	54,91 bc	63,57 e	53,36 bc
Jul	57,32 abc	62,1 c	59,03 d	56,1 bc	58,81 d	60,34 cd	59,85 e
Ago	63,74 d	61,63 c	54,16 bc	59,76 de	54,56 abc	62,16 de	57,49 d
Oct	58,85 bc	58,34 b	50,28 a	58,53 cd	52,78 ab	59,47 c	50,98 a
Nov	59,18 bc	60,04 bc	57,27 d	61,27 e	54,92 bc	60,07 cd	58,26 de
Dic	54,93 a	52,12 a	55,06 c	51,93 a	55,71 c	50,2 a	54,75 c
Ene	58,17 bc	54,34 a	53,95 bc	56,38 bc	54,11 abc	54,35 b	54,31 bc
Feb	56,67 ab	52,33 a	52,90 b	53,84 ab	52,17 a	50,13 a	52,72 ab
$p \leq 0,05$	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0034	<0,0001	<0,0001
$p \leq 0,05$	Mes	<0,0001	<0,0001				
	Trat	0,4577	0,1823				
	Mes x Trat	0,0005	0,0204				

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

5.1.4 Firmeza de cáscara y pulpa

Para la firmeza de cáscara a la salida de cámara no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en la mayoría de meses de evaluación (Cuadro 9). Únicamente para el mes de Agosto las frutas tratadas con agua caliente presentaron una firmeza mayor. Cuando la fruta alcanzó la madurez de consumo, en general no hubo diferencias significativas entre tratamientos en la mayoría de los meses. Sin embargo, para los meses de Junio y Enero las frutas a las cuales se les aplicó el tratamiento hidrotérmico presentaron una mayor disminución de firmeza en la cáscara comparadas con el testigo.

La firmeza de pulpa no se vio afectada por la aplicación de los tratamientos en la mayoría de los meses en la salida de cámara, se observaron diferencias significativas únicamente en el mes de Agosto (Cuadro 10).

En la evaluación de madurez de consumo no hubo diferencias significativas entre tratamientos para los meses de Julio, Agosto, Octubre, Noviembre, Diciembre y Febrero (Anexos, Cuadro 3). En Junio y Diciembre los frutos tratados con agua caliente presentaron una firmeza de pulpa menor que el testigo, mientras que las frutas tratadas con cera no presentaron diferencias con respecto al testigo.

Los resultados obtenidos con respecto al efecto del tratamiento hidrotérmico concuerdan con los obtenidos por Zamora (2012), quien luego de aplicar agua caliente en papaya Pococí no encontró diferencias significativas entre frutas tratadas y frutas testigo para las variables de firmeza de cáscara y pulpa. Este autor obtuvo valores de firmeza de cáscara de 17,69 y 28,56 N, para frutas testigo y frutas tratadas con agua caliente, respectivamente, posterior a un almacenamiento de 15 días a 12°C y 9 días a temperatura ambiente. En este estudio los valores de firmeza de cáscara obtenidos fueron mucho más altos (Cuadro 9).

En la variedad Sunset, Paull y Chen (1990) encontraron que la firmeza fue mayor en frutos a los cuales se les aplicó el tratamiento hidrotérmico, mencionan que la respuesta al tratamiento en la firmeza varió según el mes de cosecha.

Por otro lado, el efecto observado de la aplicación de cera sobre la fruta concuerda con lo reportado por Spondilok *et al.* (2010), quien no encontró diferencias entre la firmeza de frutos testigo y la firmeza de frutos tratados con cera en la variedad Red Maradol. Sin embargo, en papaya Eksotika, Mahmud *et al.* (2010) señalan que frutas tratadas con cera presentaron una firmeza mayor que el testigo.

En cuanto a la comparación entre meses, hubo una diferencia significativa entre los meses de cosecha con respecto a la firmeza de cáscara. A la entrada de cámara los meses que presentaron frutas con menor firmeza de cáscara fueron Enero y Febrero con 73,57 N y 72,45 N, respectivamente, mientras que los meses en los que se obtuvo frutas con una firmeza de cáscara mayor fueron Julio, Agosto y Octubre con 88,07, 90,46 y 89,95 N, respectivamente (Cuadro 9).

El cuadro 9 muestra que en frutas testigo, las menores firmezas se obtuvieron en los meses de Diciembre y Enero con 25,46N y 30,90 N, respectivamente luego de un almacenamiento de 14 días a 14°C. En estos mismos meses, la firmeza de la fruta descendió hasta alcanzar 8,85 y 22,23 N durante la madurez de consumo, siendo las frutas cosechadas en el mes de Noviembre las que presentaron la menor firmeza.

Cuadro 9. Firmeza de cáscara en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Entrada	Testigo		Cera		Hidrotérmico	
		Salida	Madurez	Salida	Madurez	Salida	Madurez
Jun	86,48 cd	74,10 d	41,65 d	72,64 c	54,35 d	74,83 d	31,83 d
Jul	88,07 d	72,12 d	43,14 de	69,48 c	29,25 c	71,27 d	47,52 e
Ago	90,46 d	89,42 e	48,51 e	84,04 d	40,95 cd	95,81 e	52,31 e
Oct	89,95 d	70,68 d	30,52 c	70,82 c	28,57 bc	69,09 cd	32,43 d
Nov	81,49 bc	60,98 c	19,42 b	64,83 bc	17,17 ab	58,92 bc	19,79 bc
Dic	76,08 ab	25,46 a	8,85 a	26,03 a	8,71 a	23,37 a	8,97 a
Ene	73,57 a	30,90 a	22,23 b	27,90 a	28,05 bc	29,90 a	16,10 ab
Feb	72,45 a	53,44 b	28,77 c	57,75 b	26,00 bc	54,08 b	25,96 cd
<i>p</i> ≤0,05	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<i>p</i> ≤0,05	Mes	<0,0001	<0,0001				
	Trat	0.9042	0.5213				
	Mes x Trat	0.5100	0.0008				

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Por otra parte, en la evaluación de salida de cámara se observó que los frutos más firmes fueron los del mes Agosto los cuales presentaron un valor promedio de 89,42 N el cual descendió hasta alcanzar 48,51 N en la madurez de consumo, esto para la fruta testigo (Cuadro 9).

Para las frutas tratadas con cera y tratamiento hidrotérmico la mayor firmeza se observó en Agosto en la salida de cámara, donde se obtuvieron valores de 84,04 y 95,81 N, respectivamente para cada tratamiento. Las frutas más suaves fueron las cosechadas en Diciembre y Enero para ambos tratamientos.

Cuando las frutas tratadas con cera llegaron a la madurez la firmeza mayor fue de 54,35 N en el mes de Junio mientras que la firmeza menor fue de 8,71 N valor que se obtuvo en el mes de Diciembre. Las frutas a las cuales se les aplicó el tratamiento hidrotérmico presentaron una firmeza mayor en Julio y Agosto con valores de 47,52 y 52,31 N, respectivamente. El menor valor de firmeza se observó en Diciembre, al igual que el resto de tratamientos.

La firmeza de pulpa tuvo un comportamiento muy similar al observado en la firmeza de cáscara. En la entrada a cámara fría se observó que las frutas que tuvieron mayor firmeza en pulpa fueron Junio, Julio, Agosto y Octubre. Los menores valores de firmeza de pulpa se presentaron en las frutas cosechadas en Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero (Cuadro 10).

Luego del almacenamiento a 14°C durante 14 días la firmeza de pulpa tendió a disminuir, los frutos evaluados presentaron valores entre los 74,33 y 16,27 N de acuerdo con el mes de cosecha en el tratamiento testigo (Cuadro 10). Posterior al almacenamiento a temperatura ambiente, la firmeza disminuyó hasta alcanzar valores entre los 35,90 y 4,41 N, correspondientes a los meses de Agosto y Diciembre.

Cuadro 10. Firmeza de pulpa en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Entrada	Testigo		Cera		Hidrotérmico	
		Salida	Madurez	Salida	Madurez	Salida	Madurez
Jun	74,75 b	63,43 e	32,82 d	59,93 c	43,65 d	65,80 c	24,37 cd
Jul	77,60 b	60,41 de	31,72 d	57,63 c	23,50 c	60,41 c	33,35 e
Ago	78,55 b	74,33 f	35,87 d	72,60 d	27,50 c	79,19 d	39,50 e
Oct	73,82 b	57,02 d	20,33 c	55,14 c	15,14 bc	59,25 c	24,80 d
Nov	67,33 a	47,99 c	11,44 b	53,05 c	11,17 ab	45,29 b	11,31 ab
Dic	61,73 a	16,27 a	4,41 a	17,20 a	4,13 a	14,43 a	4,42 a
Ene	63,19 a	21,03 a	13,31 b	18,40 a	18,07 bc	19,03 a	8,37 a
Feb	63,65 a	39,26 b	19,91 c	41,05 b	18,44 c	39,05 b	16,48 bc
$p \leq 0,05$	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
$p \leq 0,05$	Mes	<0,0001	<0,0001				
	Trat	0.8545	0.3857				
	Mes x Trat	0.6521	0.0004				

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Las frutas tratadas con cera tuvieron valores de firmeza de pulpa entre los 72,60 y 17,20 N a la salida de cámara. Estos valores disminuyeron luego de que la fruta alcanzó la madurez momento en que la firmeza llegó a 43,70 y 4,13 N (Cuadro 10). Valores similares se presentaron en las frutas a las cuales se les aplicó el tratamiento hidrotérmico.

Algunos de los valores de firmeza de pulpa, principalmente los obtenidos en los meses de Junio, Julio y Agosto, son mayores que los encontrados por Salazar (2012) quien reporta 23 N para este mismo híbrido en madurez de consumo. Esta autora realizó la medición de firmeza utilizando el mismo tipo de penetrómetro y punta en la zona distal medial y apical de la fruta. Además, valores mucho más bajos fueron reportados por Umaña *et al.* (2011) quienes encontraron firmezas por debajo de los 10 N para papaya Pococí madura, quienes midieron la firmeza únicamente en la zona medial de la fruta utilizando el mismo tipo de equipo utilizado en este estudio.

En otras variedades como la Maradol Santamaría *et al.* (2009) reportan una firmeza de pulpa de 6,7 N en fruta madura. Sin embargo, estos autores realizaron las mediciones utilizando un equipo distinto al que se usó en este estudio. Utilizaron una prensa Instron.

Estos resultados pueden indicar que durante ciertas épocas del año el proceso de suavizamiento de la pulpa puede afectarse, provocando que la fruta tenga una firmeza mayor a la deseada. Bogantes *et al.* (2011) señalan que este problema de “endurecimiento” en la pulpa se debe a un problema fisiológico que puede estar ligado a condiciones climáticas. Se observó que las frutas con este impedimento de suavizamiento logran desarrollar una coloración amarilla externa normal pero a nivel de coloración en la pulpa en ocasiones se presenta un halo de color más claro en los primeros centímetros del mesocarpo (Anexos, Figura 2).

La fruta cosechada en Junio, Julio, Agosto y Octubre, meses en los cuales se presentaron los mayores valores de firmeza, las temperaturas máximas durante todo el desarrollo de la fruta se encontraron entre los 32°C y 33°C (Anexos, Figura 8). Por otro lado, la fruta cosechada en Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero presentó menores valores de firmeza, en este caso durante los dos últimos meses previos a la cosecha las temperaturas se encontraron entre los 29°C y 31°C (Anexos, Figura 8). Esto podría sugerir que altas temperaturas en el campo podrían provocar un incremento de la firmeza de la fruta ya que según Paull *et al.* (1995), citados por Oliveira *et al.* (2011), las enzimas de degradación de la pared celular, pueden sufrir inactivación debido a altas temperaturas durante el desarrollo del fruto.

Además, factores agronómicos como el manejo de la fertilización podrían estar relacionados con la firmeza final de la fruta, ya que elementos como el Calcio y Nitrógeno están ligados directamente con este parámetro de calidad. Por otro lado, la edad de la plantación podría ser una variable que influya en la firmeza de la fruta.

5.1.5 Sólidos solubles

Al momento de la cosecha el porcentaje de sólidos solubles varió entre 8,31 y 11,31, según el mes de cosecha (Cuadro 11). Estos valores son similares a los encontrados por Umaña *et al.* (2011) quienes reportan brix entre los 7,9 y 11,3, mientras que Salazar (2012) reporta un porcentaje de sólidos solubles de 10 en frutas del estado 2 de maduración de este mismo híbrido.

A la salida de cámara se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos en los meses de Junio, Julio, Noviembre y Febrero (Cuadro 11). En Junio los frutos tratados con la cera obtuvieron menores valores de sólidos solubles, un comportamiento similar fue obtenido para frutos tratados con agua caliente en Julio, mientras que para el mes de Febrero las frutas tratadas con cera y las tratadas con agua caliente presentaron menores valores de brix. Por otro lado, en Noviembre el tratamiento hidrotérmico aumentó los sólidos solubles. Para los meses de Agosto, Octubre, Diciembre y Enero no se mostraron diferencias significativas entre tratamientos.

Cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo en la mayoría de los meses no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Se observaron diferencias estadísticas únicamente en los meses de Diciembre y Enero (Cuadro 11). Esto probablemente se deba a que cuando se realizó la evaluación de madurez de consumo, la mayoría de los frutos se encontraban en un mismo estado de maduración.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Zamora (2012), quien luego de aplicar tratamiento hidrotérmico en frutos de papaya Pococí con un porcentaje de amarillo externo entre 10% y 20% encontró que los valores de sólidos solubles no mostraron diferencias significativas con respecto al testigo. En otras variedades como la Maradol, Chávez *et al.* (2011) encontraron que los sólidos solubles no se ven afectados por la aplicación de agua caliente.

Con respecto al uso de ceras, resultados similares fueron encontrados por Petit *et al.* (2010) en papaya Maradol quienes manifiestan que la aplicación de cera no afecta los brix, mientras que Ali *et al.* (2011) señalan que el uso de ceras provoca una reducción en el contenido de sólidos solubles en papaya Eksotika.

En los meses de Junio y Noviembre se observó una leve reducción en los niveles de sólidos solubles durante la salida de cámara y la madurez de consumo para los 3 tratamientos evaluados. En Noviembre se reportó un nivel de severidad de enfermedades alto cuando la fruta alcanzó la madurez (Cuadro 17), situación que posiblemente provocó que la fruta acelerara su proceso de maduración y en consecuencia parte de los azúcares quizás fueron utilizados para llevar a cabo procesos como la respiración. Por otro lado, en Junio la fruta presentó la mayor vida en anaquel (Figura 17), por lo que parte de los azúcares posiblemente fueron invertidos por la fruta para continuar respirando.

Cuadro 11. Contenido de sólidos solubles en papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y fruta sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Tratamientos	Evaluación		
		Entrada	Salida	Madurez
Jun	Cera	9,89	8,57 a	8,26 a
	Hidrotérmico	9,89	9,07 ab	8,19 a
	Testigo	9,89	9,54 b	8,26 a
		$p \leq 0,05$	0,0577	0,9794
Jul	Cera	8,31	9,28 b	9,25 a
	Hidrotérmico	8,31	8,54 a	9,01 a
	Testigo	8,31	9,25 b	9,08 a
		$p \leq 0,05$	0,0672	0,9406
Ago	Cera	8,36	8,58 a	8,06 a
	Hidrotérmico	8,36	8,72 a	8,8 a
	Testigo	8,36	8,86 a	8,66 a
		$p \leq 0,05$	0,6636	0,3012
Oct	Cera	8,81	9,48 a	9,30 a
	Hidrotérmico	8,81	9,57 a	9,28 a
	Testigo	8,81	9,61 a	9,74 a
		$p \leq 0,05$	0,9383	0,4515
Nov	Cera	10,39	8,92 a	9,18 a
	Hidrotérmico	10,39	9,82 b	8,83 a
	Testigo	10,39	8,98 a	9,50 a
		$p \leq 0,05$	0,0526	0,1864
Dic	Cera	10,31	10,08 a	9,93 a
	Hidrotérmico	10,31	10,42 a	9,93 a
	Testigo	10,31	10,20 a	9,82 a
		$p \leq 0,05$	0,5858	0,898
Ene	Cera	11,24	10,49 a	10,29 a
	Hidrotérmico	11,24	10,71 a	10,97 b
	Testigo	11,24	10,22 a	10,65 ab
		$p \leq 0,05$	0,2146	0,0623
Feb	Cera	11,31	11,37 a	11,15 b
	Hidrotérmico	11,31	11,53 a	11,23 b
	Testigo	11,31	12,37 b	10,55 a
		$p \leq 0,05$	0,0162	0,0074

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

En Julio se presentó un leve incremento en los valores de brix en todos los tratamientos. Por otro lado, en Agosto, Octubre, Diciembre, Enero Febrero se observó un comportamiento relativamente constante para esta variable (Cuadro 12).

Umaña *et al.* (2011) reportaron pocos cambios en los sólidos solubles luego del almacenamiento y hasta alcanzar la madurez de consumo para papaya Pococí mientras que Santamaría *et al.* (2009) observaron un leve aumento de brix durante luego de almacenamiento a temperatura ambiente en la variedad Maradol.

El cuadro 12 indica que para todos los tratamientos el mes donde se presentaron los menores contenidos de sólidos solubles fue Junio y mientras que Diciembre y Enero presentaron mayor porcentaje de sólidos solubles con valores entre 10 y 11,23 en la madurez de consumo.

Cuadro 12. Contenido de sólidos solubles en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Entrada	Testigo		Cera		Hidrotérmico	
		Salida	Madurez	Salida	Madurez	Salida	Madurez
Jun	9,89 b	9,54 ab	8,26 a	8,57 a	8,26 a	9,07 ab	8,19 a
Jul	8,31 a	9,25 a	9,08 abc	9,28 bc	9,25 ab	8,54 a	9,01 b
Ago	8,36 a	8,86 a	8,66 abc	8,58 ab	8,06 a	8,72 a	8,80 ab
Oct	8,81 a	9,61 ab	9,74 cde	9,48 cd	9,30 ab	9,57 bc	9,28 b
Nov	10,39 b	8,98 a	9,50 bcd	8,92 abc	9,18 a	9,82 cd	8,83 ab
Dic	10,31 b	10,20 b	9,82 cde	10,08 de	9,93 bc	10,42 de	9,93 c
Ene	11,24 c	10,22 b	10,65 e	10,49 e	10,29 c	10,71 e	10,97 d
Feb	11,31 c	12,37 c	10,55 de	11,37 f	11,15 d	11,53 f	11,23 d
<i>p</i> ≤0,05	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<i>p</i> ≤0,05	Mes	<0,0001	<0,0001				
	Trat	0.0689	0.7293				
	Mes x Trat	0.0117	0.1661				

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

En papaya, Zhou *et al.* (2000) mencionan que las condiciones lluviosas y nubosas reducen la fotosíntesis, lo cual influye negativamente en la producción de sólidos solubles. En otras frutas como cerezas y uvas Poll *et al.* (2003) y Spayd *et al.* (2002) reportan que el contenido de sólidos solubles varía significativamente según las diferentes fechas de cosecha en distintos años y que condiciones de mayor temperatura, mayor cantidad de horas luz y menor precipitación están asociadas con mayores valores de brix, ya que la producción de fotoasimilados se favorece.

La mayor exportación de fotoasimilados al fruto de papaya se da entre 110 y 130 días después de la antesis, es decir, aproximadamente a partir del 4 mes luego de la antesis (Paull *et al.* 2008). Por lo que las condiciones de crecimiento durante el último mes antes de la cosecha influyen mucho en los sólidos solubles.

Las menores precipitaciones se reportaron durante los meses de Enero y Febrero, lo cual coincide con mayores radiaciones solares (Anexos, Figura 7), condición que posiblemente favoreció un aumento en los brix de los últimos dos meses evaluados.

Sin embargo, los meses de Junio, Julio y Agosto presentaron los valores de sólidos solubles más bajos y la precipitación durante esos meses fue menor que en Octubre, Noviembre y Diciembre, meses que mostraron sólidos solubles mayores. Por lo que en este caso no observó una relación clara de los sólidos solubles con factores ambientales.

Esto podría deberse a que la fruta evaluada en los primeros 3 meses evaluados (Junio, Julio y Agosto) provenía de una plantación vieja, con aproximadamente 2 años en producción, con árboles altos y con dificultad para manejarlos mientras que la fruta de Octubre y Noviembre provenía de una plantación joven y vigorosa, con aproximadamente 1 año en producción. Esto podría sugerir que la edad de la plantación podría tener un efecto sobre los brix, ya que probablemente en las primeras cosechas la carga de frutas es menor, por lo que la competencia entre sumideros es menor y hay una mayor disponibilidad de fotoasimilados para cada fruta, situación que provoca un aumento en los sólidos solubles.

Otros factores como fertilidad del suelo y el manejo de la fertilización podrían afectar este parámetro de calidad. El Potasio es un elemento que juega un rol muy importante en la formación de azúcares en los frutos, por lo que un manejo inadecuado de la fertilización con este elemento podría afectar negativamente la calidad.

5.1.6 Pérdida de peso

Las frutas que fueron sometidas al tratamiento hidrotérmico tuvieron una pérdida de peso significativamente mayor que el testigo, mientras que no hubo diferencias significativas entre las frutas tratadas con cera y el testigo (Figura 3). Este comportamiento se repitió en cada mes, tanto en las evaluaciones realizadas a la salida de cámara fría como en la madurez de consumo.

Estos resultados difieren de los obtenidos por Mahmud (2010) y Yusof y Sallet (1992) quienes señalan que la cera disminuye significativamente la pérdida de peso en frutos de papaya. En este caso tal vez la cera formó una capa de película demasiado fina, por lo que la pérdida de agua del fruto no se redujo.

Zamora (2012) también encontró que el tratamiento hidrotérmico aumenta la pérdida de peso en frutas de la variedad Pococí. Sin embargo, en papaya Eksotika Arina *et al.* (2010) no tuvieron diferencias significativas entre frutas tratadas y testigo.

Con respecto al testigo, posterior al almacenamiento a 14°C por 14 días, se presentó una pérdida de peso entre el 1,87% y 2,64%, la cual aumentó cuando la fruta llegó a la madurez de consumo presentando porcentajes entre el 3,53 y 4,72, según el mes de cosecha. Ramírez (2011) obtuvo un comportamiento similar en papaya Pococí. Esta autora registró una pérdida de peso del 2% luego de 14 días a 14°C que incrementó hasta alcanzar un 4% luego de 7 días a temperatura ambiente.

La deshidratación fue visible en las frutas tratadas con agua caliente. Estas presentaron la mayor pérdida de peso en el mes de Noviembre con un 6,02% cuando alcanzaron la madurez. Durante el mes de Octubre se registró la menor pérdida de peso que fue de un 4,11%. Las frutas a las cuales se les aplicó cera tuvieron pérdida de peso entre 3,53 y 4,92% cuando alcanzaron la madurez de consumo, los meses en los que se presentó la menor pérdida de peso fueron Julio, Octubre y Enero (Anexos, Cuadro 4).

La mayor pérdida de peso en la evaluación de madurez de consumo se obtuvo en Noviembre, Agosto y Febrero (Anexos, Cuadro 4), en frutas testigo y en frutas a las cuales se les aplicó el tratamiento hidrotérmico. Tal vez en estos meses las ceras epicuticulares tuvieron un menor grosor y por lo tanto el control de pérdida de agua quizás fue menor. En el caso de las frutas que desarrollaron el daño debido a la aplicación de agua caliente, es probable que las ceras epicuticulares sufrieran daños provocando que la fruta fuera más permeable, aumentando la pérdida de agua.

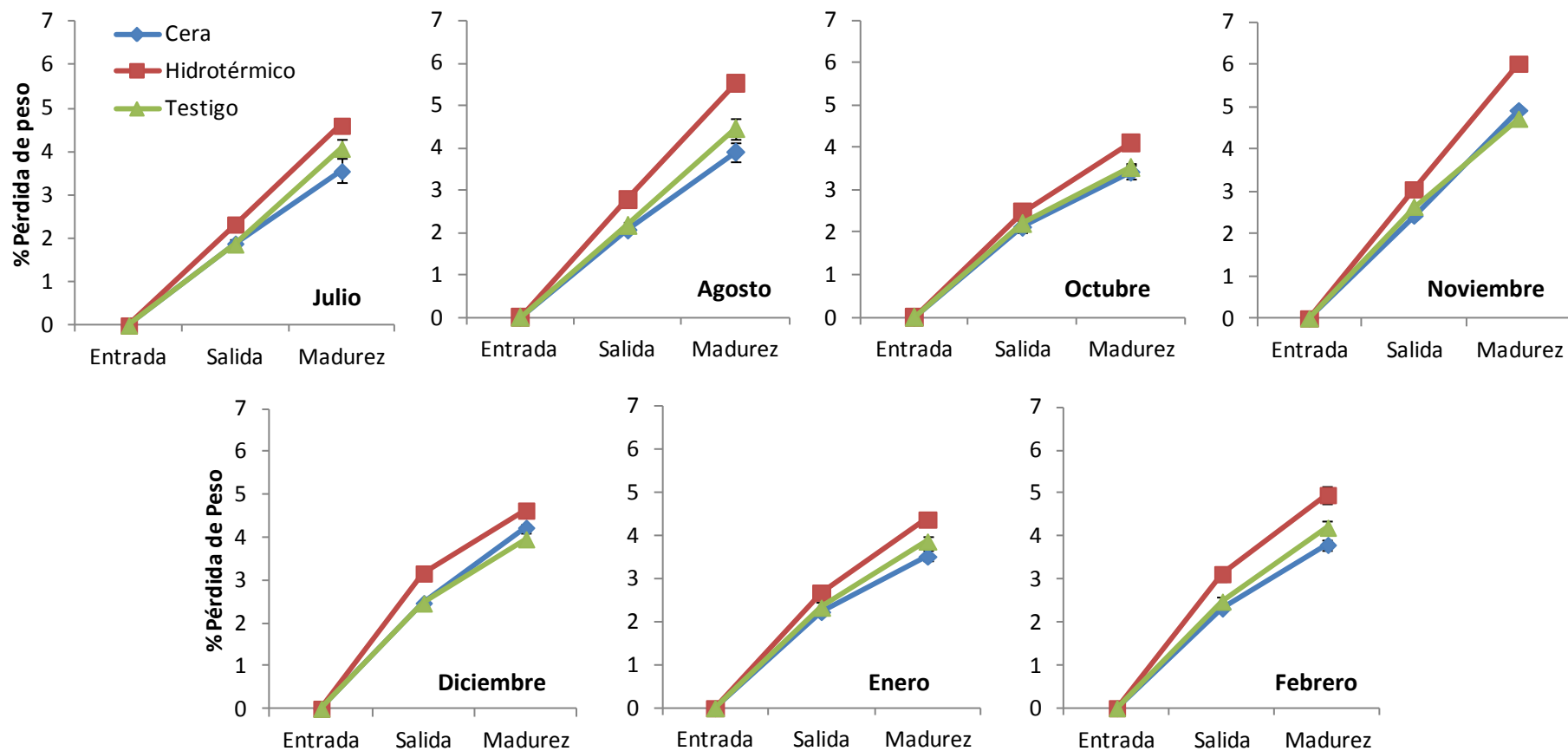


Figura 3. Porcentaje de pérdida de peso de papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara). Barras indican error estándar.

5.1.7 Contenido de fenoles totales

Los tratamientos no mostraron diferencias significativas para los meses de Octubre, Diciembre y Febrero (Figura 4). Para los demás meses se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, no hubo un comportamiento consistente ya que por ejemplo en el mes de Junio las frutas tratadas con cera tuvieron mayor contenido fenólico que el testigo pero en Julio las frutas enceradas presentaron menores valores con respecto al testigo. Por otro lado, las frutas tratadas con agua caliente tuvieron valores más altos que el testigo en Junio y valores más bajos que las frutas testigo en Enero.

Se ha documentado que el tratamiento hidrotérmico afecta el contenido de fenoles en otras frutas, por ejemplo, Jeong *et al.* (2004) mencionan que en la cáscara de cítricos luego de la aplicación del tratamiento hidrotérmico el contenido de fenoles totales aumentó. En el caso de vegetales como la lechuga, Loaiza *et al.* (1997) señalan que luego de aplicación de este tratamiento se dio una reducción de los fenoles.

En el caso de frutas tratadas con cera, Adetuyi *et al.* (2008) encontraron que papaya encerada y mantenida a temperatura ambiente no mostró diferencias significativas con respecto al testigo en cuanto al contenido de fenoles totales. Sin embargo, en frutos que estuvieron refrigerados, los frutos testigo mostraron mayor contenido fenólico que los encerados.

En el caso del testigo el mayor valor de fenoles totales fue de 45,24 mg EAG/100g PF y el menor valor fue de 32,26 EAG/100 g PF obtenidos en los meses de Enero y Junio, respectivamente (Cuadro 13). Los contenidos de fenoles totales encontrados son similares con los reportados por Salazar (2012) quien para la variedad Pococí encontró contenidos de 48 mg EAG/100 g PF en frutas que se encontraban en el mismo estado de maduración.

Ozkan *et al.* (2011) reportan contenidos fenólicos superiores en las variedades Sunrise Solo y Red Lady de 65 y 53 mg EAG/100 g PF, respectivamente. Mientras que para la variedad Tauning reportan 41 mg EAG/100 g PF de fenoles totales, similar a lo encontrado en este trabajo.

De los frutos tratados con cera, los que presentaron un mayor contenido de fenoles totales fueron los cosechados en Enero mientras que los frutos cosechados en Julio presentaron los valores más bajos. En el caso de los frutos tratados con agua caliente, en los meses de Agosto y Enero se observó el mayor y menor contenido de fenoles totales, respectivamente (Cuadro 13).

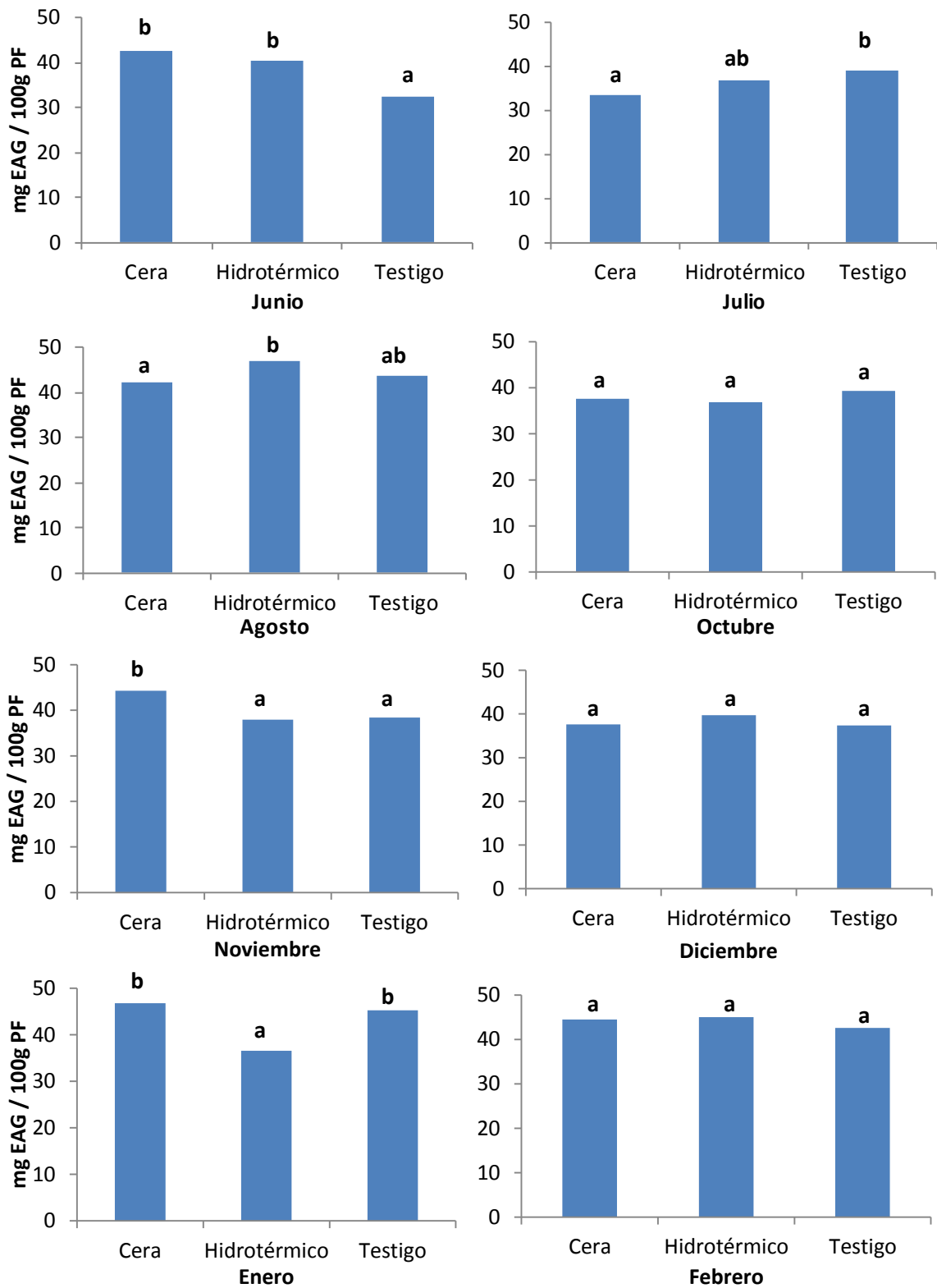


Figura 4. Contenido total de fenoles en papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada en la madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Para todos los tratamientos se observó una diferencia altamente significativa ($p \leq 0.0001$) entre los meses de cosecha (Cuadro 13). En general, los meses en los cuales se observó el mayor contenido de fenoles fueron Agosto y Febrero (Cuadro 13). Durante estos meses se dio la mayor radiación solar siete días previos a la cosecha, condición que tal vez podría estar relacionada con el aumento en el contenido fenólico ya que según Jakopic *et al.* (2009) la síntesis de algunos compuestos fenólicos es favorecida por la luz. Estos autores encontraron que el contenido total de fenoles es mayor en frutos de manzana que crecieron más expuestos a la luz.

Cuadro 13. Contenido total de fenoles en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Testigo	Cera	Hidrotérmico
Jun	32,26 a	42,72 cd	40,59 c
Jul	38,89 bc	33,51 a	36,95 ab
Ago	43,87 cd	42,15 bc	47,08 d
Oct	39,32 bc	37,60 ab	36,86 ab
Nov	38,38 abc	44,30 cd	37,94 abc
Dic	37,40 ab	37,63 b	39,70 bc
Ene	45,24 d	46,76 d	36,53 a
Feb	42,63 cd	44,50 cd	45,03 d
$p \leq 0,05$	0,0001	<0,0001	<0,0001
$p \leq 0,05$	Mes	<0,0001	
	Trat	0.1515	
	Mes x Trat	<0,0001	

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Wang (2006) y Wang (2007) señalan que variaciones en el contenido de fenoles entre meses y años indican que este parámetro es afectado por condiciones ambientales. Mencionan que condiciones de altas temperaturas (entre 25°C y 30°C) durante el crecimiento de la fruta aumentan el contenido de fenoles totales.

5.1.8 Incidencia y severidad de enfermedades

La incidencia de enfermedades no mostró diferencias significativas entre tratamientos en la mayoría de meses posterior al almacenamiento en cámara fría. Únicamente en Octubre la fruta tratada con cera presentó una incidencia significativamente mayor con respecto al testigo y a la fruta tratada con agua caliente. Por otro lado, en el mes de Junio el tratamiento hidrotérmico provocó una reducción significativa en la incidencia de enfermedades.

Cuadro 14. Incidencia de enfermedades en papaya Pococí papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Tratamientos	Evaluación	
		Salida	Madurez
Jun	Cera	13,33 ab	73,33 b
	Hidrotérmico	0,00 a	26,67 a
	Testigo	26,67 b	46,67 a
	$p \leq 0,05$	0,0370	0,0075
Jul	Cera	6,67 a	86,67 b
	Hidrotérmico	0,00 a	40,00 a
	Testigo	0,00 a	73,33 ab
	$p \leq 0,05$	0,4219	0,0553
Ago	Cera	33,33 a	86,67 b
	Hidrotérmico	6,67 a	46,67 a
	Testigo	6,67 a	60,00 a
	$p \leq 0,05$	0,0055	0,4015
Oct	Cera	13,33 b	33,33 a
	Hidrotérmico	0,00 a	0,00 a
	Testigo	0,00 a	26,67 a
	$p \leq 0,05$	0,0787	0,2282
Nov	Cera	13,33 a	93,33 c
	Hidrotérmico	6,67 a	6,67 a
	Testigo	0,00 a	46,67 b
	$p \leq 0,05$	0,2963	0,0054
Dic	Cera	0,00 a	26,67 a
	Hidrotérmico	6,67 a	13,33 a
	Testigo	13,33 a	6,67 a
	$p \leq 0,05$	0,2963	0,178
Ene	Cera	13,33 a	13,33 a
	Hidrotérmico	0,00 a	0,00 a
	Testigo	6,67 a	6,67 a
	$p \leq 0,05$	0,2963	0,2963
Feb	Cera	0,00 a	33,33 a
	Hidrotérmico	0,00 a	13,33 a
	Testigo	0,00 a	26,67 a
	$p \leq 0,05$	-	0,3732

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Cuadro 15. Severidad de enfermedades en papaya Pococí papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Tratamientos	Evaluación	
		Salida	Madurez
Jun	Cera	0,87 a	3,33 b
	Hidrotérmico	0,00 a	0,40 a
	Testigo	0,40 a	5,73 b
	$p \geq 0,05$	0,2946	0,0338
Jul	Cera	0,40 a	12,40 b
	Hidrotérmico	0,00 a	1,53 a
	Testigo	0,00 a	1,93 a
	$p \geq 0,05$	0,3765	0,0002
Ago	Cera	4,07 b	20,8 c
	Hidrotérmico	0,20 a	0,60 a
	Testigo	0,07 a	7,53 b
	$p \geq 0,05$	0,0735	0,0001
Oct	Cera	0,13 a	0,87 ab
	Hidrotérmico	0,00 a	0,00 a
	Testigo	0,00 a	1,13 b
	$p \geq 0,05$	0,1287	0,0471
Nov	Cera	0,47 a	12,8 b
	Hidrotérmico	0,2 a	0,20 a
	Testigo	0,00 a	8,33 b
	$p \geq 0,05$	0,3040	0,0004
Dic	Cera	0,00 a	1,60 b
	Hidrotérmico	0,07 a	0,13 a
	Testigo	0,27 a	0,07 a
	$p \geq 0,05$	0,3027	0,1248
Ene	Cera	0,13 a	0,40 a
	Hidrotérmico	0,00 a	0,00 a
	Testigo	0,13 a	0,07 a
	$p \geq 0,05$	0,3499	0,3589
Feb	Cera	0,00 a	4,93 a
	Hidrotérmico	0,00 a	1,00 a
	Testigo	0,00 a	0,67 a
	$p \geq 0,05$	sd	0,2523

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Se determinó que la aplicación de cera provocó un aumento en la incidencia de enfermedades cuando la fruta llegó a la madurez de consumo en los meses de Junio, Julio, Agosto y Noviembre mientras que las frutas a las cuales se les aplicó el tratamiento hidrotérmico no mostraron diferencias significativas con respecto al testigo durante esta evaluación.

En cuanto a la severidad no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la salida de cámara fría. Sin embargo, cuando la fruta llegó a la madurez se observó que aquellas que fueron tratadas con cera presentaron niveles superiores de severidad con respecto al testigo y a las frutas tratadas con agua caliente en los meses de Julio, Agosto y Noviembre.

Bai y Plotto (2012) mencionan que las ceras forman una barrera física contra la infección de patógenos reduciendo la incidencia de las enfermedades poscosecha. Sin embargo, en el caso de la antracnosis la infección se produce en el campo y permanece latente por debajo de la cutícula, posteriormente el patógeno continúa su desarrollo cuando la fruta comienza a madurar (Agrios 2005). Por esta razón es posible que la aplicación de cera no disminuyera la incidencia y severidad de la enfermedad. Además, algún componente de la cera utilizada tal vez favoreció el crecimiento de patógenos.

Yusof y Salleh (1992) observaron que la aplicación de dos tipos de ceras en papaya Exótica no generó disminuciones en la aparición de enfermedades durante la poscosecha, resultados que coinciden con este estudio. Otros reportes indican que otros tipos de ceras pueden reducir significativamente la incidencia de enfermedades poscosecha ya que poseen compuestos antimicrobianos, tales como quitosano y propóleos (Bai y Plotto 2012).

Con respecto al tratamiento hidrotérmico se determinó que este generó una disminución en la severidad de enfermedades en los meses de Junio, Octubre y Noviembre. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Zamora (2012) en papaya Pococí, quien reporta una reducción significativa de la incidencia y severidad de antracnosis luego aplicar el tratamiento hidrotérmico a 49°C por 20 minutos seguido de una aplicación de procloraz.

En otras papayas como Tainung 1 y Sunrise, Martins *et al.* (2010) señalan que se da poco o ningún desarrollo de enfermedades luego de sumergir los frutos a 48°C durante 30 minutos. También en papaya Maradol se ha reportado una reducción significativa de la severidad de enfermedades luego de sumergir la fruta a 55°C por 9 minutos (Chávez *et al.* 2011).

En cuanto al comportamiento a través de los meses, el cuadro 16 muestra que las mayores incidencias se observaron en Julio y Agosto en la madurez de consumo, en estos meses el testigo presentó un 73,33 y 60 de incidencia, respectivamente, mientras que las frutas tratadas con cera mostraron un 86,67 en ambos meses. El producto tratado con agua caliente presentó valores más bajos, entre 40 y 46,67.

En los meses de Diciembre y Enero se presentaron las menores severidades para todos los tratamientos en la madurez (Cuadro 17). En la madurez de consumo, Agosto fue el mes el cual se observó la mayor severidad para todos los tratamientos mientras que Enero fue uno de los meses con menor severidad, lo cual coincide con las altas y bajas incidencias reportadas anteriormente en estos meses.

Según Durán *et al.* (1987) temperaturas entre 25 y 30°C y humedades relativas mayores al 70% favorecen la infección por parte del hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, por lo que períodos de alta humedad podrían estar relacionados con mayores valores de incidencia y severidad.

En otra investigación, Durán *et al.* (2000) observaron que durante la época lluviosa *Colletotrichum sp.* libera mayor cantidad de conidios en comparación con la época seca. Por esta razón señalan que la fruta producida en condiciones de época seca en general presenta valores inferiores de incidencia y severidad de antracnosis.

Las infecciones de *Colletotrichum gloeosporioides* pueden darse entre las cuatro a catorce semanas posteriores a la antesis floral (Dickman y Alvarez, 1983), aproximadamente 4 meses antes de la cosecha de la fruta.

Durante el periodo de Mayo a Agosto, la condición de precipitación (Anexos, Figura 7) fue favorable para la diseminación e infección de *C. gloeosporioides*. Esto coincide con que las frutas cosechadas en Junio, Julio y Agosto presentaron altos niveles de incidencia y severidad de antracnosis. Además, las frutas evaluadas durante estos meses provenían de una plantación vieja, por lo que es posible que debido a la altura de los árboles el manejo fitosanitario se dificultara, provocando el aumento de inóculo.

Por otro lado, las mayores precipitaciones se registraron entre el período de Octubre a Diciembre (Anexos, Figura 7), condición idónea para el desarrollo de *C. gloeosporioides*. Esto concuerda con que la fruta cosechada en Noviembre presentó los mayores niveles de incidencia y severidad. Sin embargo, en Diciembre, Enero y Febrero se presentaron los menores valores de incidencia y severidad a pesar de que las condiciones ambientales fueron favorables durante 2 y 3 meses antes de la cosecha, lo cual puede sugerir que el manejo agronómico de la plantación en cuanto a control fitosanitario de enfermedades fue más eficaz comparado con los otros meses evaluados ya que prácticas como podas sanitarias, el corte adecuado de la fruta durante la cosecha y un uso adecuado de fungicidas influyen directamente con la presencia de enfermedades durante la poscosecha.

Cuadro 16. Incidencia de enfermedades en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Testigo		Cera		Hidrotérmico	
	Salida	Madurez	Salida	Madurez	Salida	Madurez
Jun	26,67 b	46,67 bc	13,33 ab	73,33 b	0,00 a	26,67 bc
Jul	0,00 a	73,33 c	6,67 ab	86,67 b	0,00 a	40,00 c
Ago	6,67 a	60,00 c	33,33 b	86,67 b	6,67 a	46,67 c
Oct	0,00 a	26,67 ab	13,33 ab	33,33 a	0,00 a	0,00 a
Nov	0,00 a	46,67 bc	13,33 ab	93,33 b	6,67 a	6,67 ab
Dic	13,33 ab	6,67 a	0,00 a	26,67 a	6,67 a	13,33 ab
Ene	13,33 ab	6,67 a	6,67 ab	13,33 a	0,00 a	0,00 a
Feb	0,00 a	26,67 ab	0,00 a	33,33 a	0,00 a	13,33 ab
<i>p</i> ≤ 0,05	0,0079	0,0022	0,3901	<0,0001	0,6615	0,0032
Mes	0,1138	<0,0001				
Trat	0,0571	<0,0001				
Mes x Trat	0,1530	0,0328				

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Cuadro 17. Severidad de enfermedades en papaya Pococí cosechada en diferentes meses y evaluada a la salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Testigo		Cera		Hidrotérmico	
	Salida	Madurez	Salida	Madurez	Salida	Madurez
Jun	0,40 b	5,73 bcd	0,87 ab	3,33 a	0,00 a	0,40 a
Jul	0,00 a	1,93 ab	0,40 a	12,40 bc	0,00 a	1,53 b
Ago	0,07 a	7,53 d	4,07 b	20,80 c	0,20 a	0,60 ab
Oct	0,00 a	1,13 ab	0,13 a	0,87 a	0,00 a	0,00 a
Nov	0,00 a	8,33 cd	0,47 a	12,80 bc	0,20 a	0,20 a
Dic	0,27 ab	0,07 a	0,00 a	1,60 a	0,07 a	0,13 a
Ene	0,13 a	0,07 a	0,13 a	0,40 a	0,00 a	0,00 a
Feb	0,00 a	0,67 a	0,00 a	4,93 ab	0,00 a	1,00 ab
<i>p</i> ≤ 0,05	0,0325	0,0001	0,2787	<0,0001	0,6600	0,0655
Mes	0,2242	<0,0001				
Trat	0,0906	<0,0001				
Mes x Trat	0,2667	<0,0001				

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

5.1.9 Vida Anaquel

Posterior al periodo de almacenamiento a 14°C, los frutos alcanzaron su madurez entre los 7 y 13 días de almacenamiento a temperatura ambiente. La fruta alcanzó la madurez en menor tiempo, de 7 a 9 días, en los meses de Octubre, Diciembre, Enero y Febrero (Figura 5). Los resultados obtenidos para estos meses coinciden con los encontrados en papaya Pococí por Umaña *et al.* (2011). Estos autores reportan que fruta que tuvo un porcentaje de amarillo inicial de 12%, posterior a un almacenamiento de 14°C durante 2 semanas alcanzó la madurez a los 7 días a temperatura ambiente.

Por otro lado, en los meses de Junio, Julio, Agosto y Noviembre la fruta mostró una mayor vida útil, puesto que tardó entre 11 y 13 días para llegar a la madurez (Figura 5). Para el mismo período de almacenamiento en frío, Salazar (2012) menciona que frutos de papaya Pococí del estado 2 de maduración alcanzaron su madurez a los 13 días a temperatura ambiente, lo cual es similar a lo encontrado para estos meses.

La maduración es el resultado de la relación de los procesos fisiológicos de la fruta con el sitio de fructificación en el árbol y las variaciones ambientales (Woolf *et al.* 2000), por esta razón es posible que la vida en anaquel fuera distinta para papaya Pococí en los diferentes meses como respuesta a las variaciones ambientales durante el desarrollo del fruto.

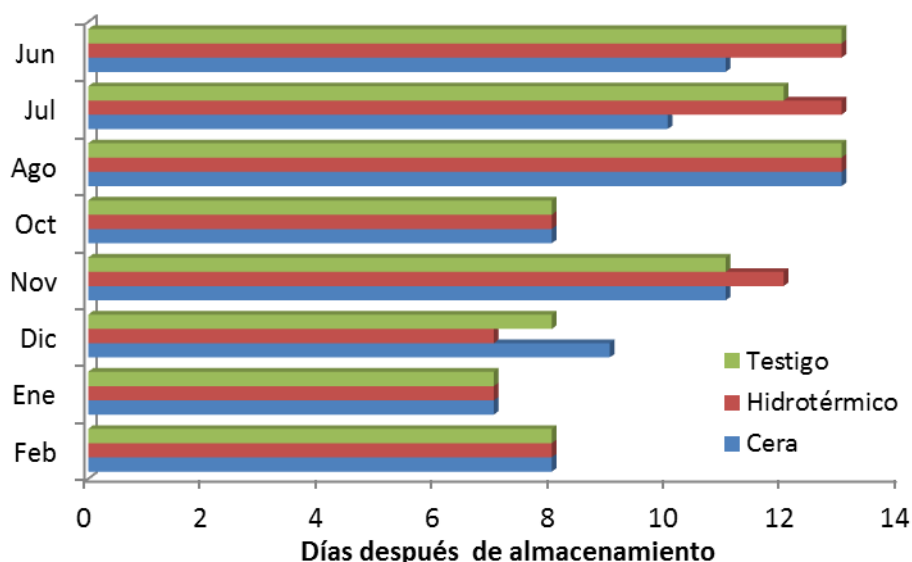


Figura 5. Promedio de días de simulación de vida anaquel hasta alcanzar madurez de consumo en papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y fruta sin tratar (testigo), según el mes de cosecha posterior a 14 días de almacenamiento a 14°C.

Moretti *et al.* (2010) mencionan que altas temperaturas o exposición prolongada a la luz solar en algunos casos pueden acelerar el proceso de maduración de las frutas. Woolf *et al.* (2000) mencionan que tomates que crecieron bajo temperaturas cercanas a los 36°C maduraron más rápidamente que aquellos que se desarrollaron a temperaturas menores. Sin embargo, estos mismos autores señalan que en otras frutas como aguacate, la exposición directa al sol provoca que las frutas tengan un retraso en la maduración.

Otro factor que influye directamente en la vida en anaquel de la fruta es el estado de madurez, en el caso de la papaya frutos cosechados en estados más verdes alcanzarán la madurez en mayor tiempo (Bron y Jacomino, 2006; Umaña *et al.* 2011). En este estudio a pesar de que los frutos cosechados en Junio y Julio presentaron mayores porcentajes de color amarillo en la cáscara (cerca al 25%) en la entrada a cámara (Cuadro 3) adquirieron la madurez en un periodo de tiempo mucho mayor que los cosechados en Enero, a pesar de que estos últimos mostraron el menor amarillamiento (18%) en la evaluación de entrada a cámara. Esto podría indicar que pueden existir otros factores como variables climáticas y manejo agronómico que influyen en la vida anaquel.

En cuanto al efecto de los tratamientos, en Julio y Noviembre las frutas tratadas con agua caliente presentaron una vida útil un poco mayor que las frutas testigo y las tratadas con cera debido a que generó una reducción en el desarrollo de color amarillo (Figura 2) y además provocó una disminución de enfermedades (Cuadro 14). Las frutas tratadas con cera tuvieron una vida en anaquel menor en Junio, Julio y Noviembre probablemente debido al ataque de enfermedades (Cuadro 14). En el resto de los meses la vida útil fue similar para todos los tratamientos.

5.2 Caracterización ultraestructural

5.2.1 Caracterización del fruto testigo

5.1.1.1 Cera epicuticular

Hubo diferencia morfológica en la conformación de la cera epicuticular de la cara sombreada del fruto y la cara expuesta al sol en frutos testigo en estado de maduración 2. Esta última presentó placas un poco redondeadas sin borde definido, similares a papilas y con separaciones o grietas entre estas (Figura 6A y 6B) mientras que la cara sombreada presentó placas de cera lisas con pocas separaciones (Figura 6C y 6D).

En papaya Golden, Pereira *et al.* (2012), observaron placas de ceras epicuticulares con separaciones y sin presencia de cristaloides en muestras de cáscara de esta variedad, resultados similares a los observados en este estudio para la cara expuesta al sol. Sin embargo, estos autores no indican el estado de maduración de la fruta y no especifican la cara del fruto de la cual se tomó la muestra.

Las grietas o separaciones en las ceras epicuticulares son comunes en otras frutas como manzana y mango. Roy *et al.* (1999) mencionan que estas grietas son resultado del proceso de expansión de la cáscara debido al crecimiento del fruto. Señalan que estas fisuras funcionan como puntos de absorción de nutrimentos y de compuestos utilizados en tratamientos poscosecha como CaCl_2 . Bally (1999) también menciona que las grietas presentes en las ceras epicuticulares pueden ser sitios de penetración para agroquímicos y agua. Además, manifiesta que podrían estar relacionadas con daños a la cáscara como por ejemplo manchas. Sin embargo, ambos autores mencionados no hacen distinciones entre las caras de los frutos.

Al comparar frutos cosechados en el mes de Agosto (Figura 6A y 6C) con los cosechados en Diciembre (Figura 6B y 6D) no se observaron diferencias en cuanto a la conformación de las ceras y además la cara sombreada fue más lisa que la cara expuesta en ambos meses. Esta diferencia morfológica podría darse en respuesta a diferencias en el microclima, ya que la cara del fruto expuesta al sol debe soportar condiciones de mayor temperatura y podría ser más susceptible a sufrir daños como por ejemplo daños por agroquímicos o por ataque de insectos. Resultados similares fueron reportados por Tahir *et al.* (2009) en frutos de manzana en los cuales la cara expuesta al sol presentó grumos de cera sin borde definido mientras que la cara sombreada del fruto presentó cera más alargada y lisa, en forma de cristales con bordes rectos.

Storey y Price (1999) encontraron que en frutos de ciruela también se dan diferencias morfológicas entre ambas caras del fruto. Su estudio indica que la cara sombreada presenta cristales de cera más finos y en más baja densidad que en la cara expuesta al sol. Estos autores señalan que estas diferencias morfológicas podrían ser resultado de variaciones en el microclima, principalmente la radiación incidente sobre el

fruto, y que ante condiciones adversas podría darse un aumento en la secreción de cristales de cera como una forma de protección del fruto.

Por otro lado, estas diferencias estructurales entre superficies sombreadas y expuestas al sol podrían estar relacionadas con el comportamiento poscosecha de la fruta. Por ejemplo, McDonald *et al.* (1993) señalan que frutos de toronja que crecieron bajo condiciones de mayor luminosidad en el dosel, son más susceptibles a sufrir daño por frío durante el almacenamiento que frutos que se desarrollaron en zonas más sombreadas. Estos mismos autores mencionan que las superficies de frutas expuestas al sol presentaron placas de cera grandes y con separaciones pequeñas mientras que la superficie de las frutas que crecieron en zonas sombreadas presentaron placas de cera más pequeñas.

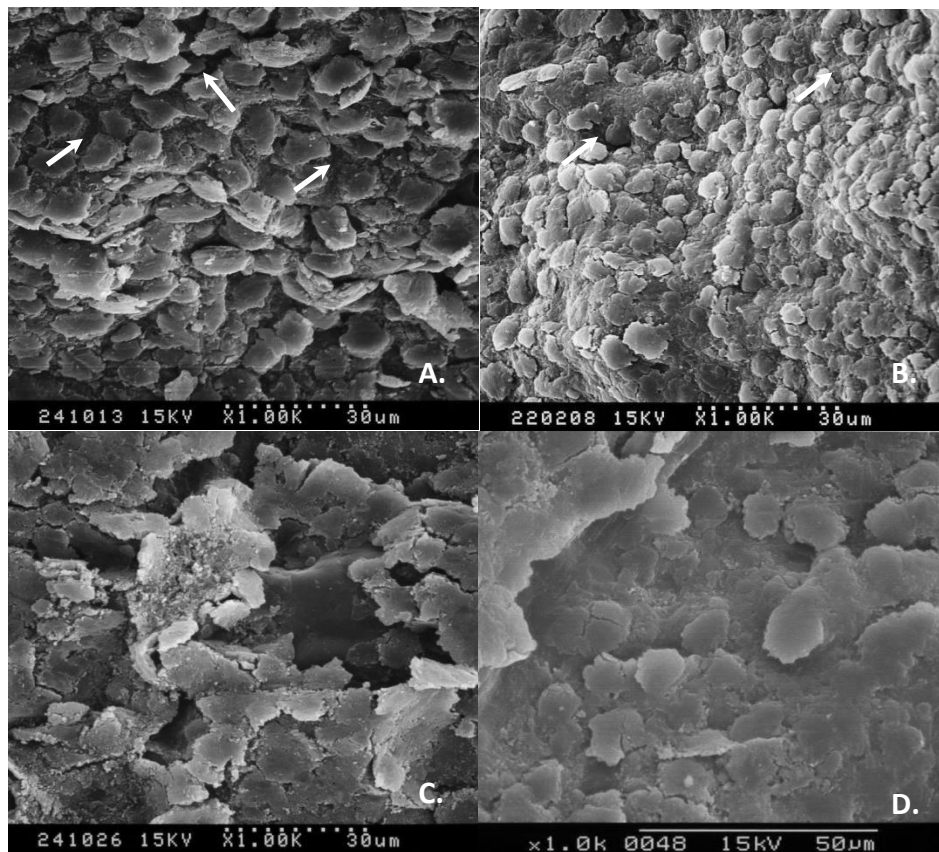


Figura 6. Conformación de ceras epicuticulares en frutos de papaya Pococí correspondientes al estado 2 de maduración cosechados en distintos meses a los 0 días de almacenamiento. A y C: Frutos cosechados en Agosto, A: Cara expuesta al sol, C: Cara sombreada. B y D: Frutos cosechados en Diciembre. B: Cara expuesta al sol, D: Cara sombreada. Flechas señalan separaciones entre placas de cera epicuticular. 1000 x

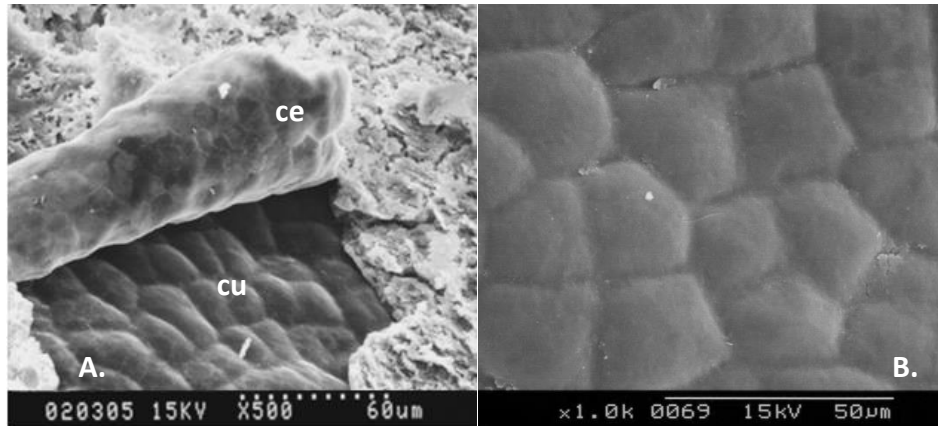


Figura 7. Cutícula del fruto de papaya Pococí correspondiente al estado 2 de maduración cosechada en el mes de Agosto. A: Desprendimiento de ceras epicuticulares (ce) mostrando la cutícula (cu) (500x). B: Detalle de la cutícula (1000x).

En la figura 7A se observa la capa de cera epicuticular levantada por lo que se muestra la cutícula del fruto. Las células epidérmicas se observan un poco abultadas y poseen forma asimétrica, algunas células presentan 4 bordes mientras que otras presentan 5 (Figura 7B). No se pudo determinar el grosor de cutícula debido a que los cortes transversales procesados por el método de criofractura colapsaron.

5.1.1.2 Estomas

En las muestras de papaya analizadas se observó que los estomas se encuentran muy embebidos en cera (Figura 8A). En otros frutos como ciruela y mandarina también se ha reportado que los estomas se encuentran embebidos por la cera epicuticular (Storey y Price 1999; Moon *et al.* 2003). Debido a la cantidad de cera que rodea al estoma se dificultó su observación y esto impidió que se pudiera determinar la densidad estomática de la fruta.

Como se observa en la figura 8B y 8C el fruto presenta estomas del tipo actinocítico ya que están dispuestos al mismo nivel de las células epidérmicas. Otros frutos como la guayaba presentan estomas de tipo paracíticos salientes de la epidermis (Vitti *et al.* 2003). La estructura de los estomas presentes en frutas ha sido poco estudiada probablemente debido a que su presencia es esporádica y muy dispersa en comparación con las hojas (Vitti *et al.* 2003).

En todas las muestras, los estomas se observaron con el poro abierto. Este comportamiento podría indicar que tal vez estas estructuras perdieron la capacidad de regular el cierre y la apertura.

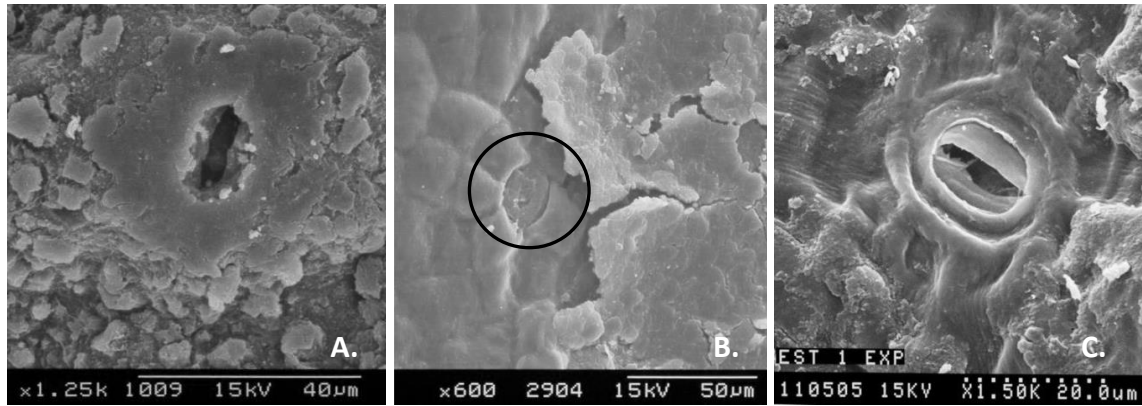


Figura 8. Estomas del fruto de papaya Pococí. A: Estoma embebido por la cera epicuticular presente en la cara expuesta al sol de frutos del estado 2 de maduración cosechados en el mes de Agosto (1250x). B: Estoma (Círculo) rodeado por células cuyos ejes son perpendiculares, en la cara sombreada de frutos del estado 2 de maduración cosechados en el mes de Diciembre (600x). C: Estoma descubierto de la cara expuesta al sol de frutos en el estado 2 de maduración cosechados en el mes de Agosto (1500x).

5.2.2 Caracterización ultraestructural de desórdenes fisiológicos

Con respecto a los desórdenes fisiológicos, específicamente el punteado verde, no se observaron diferencias ultraestructurales entre la cáscara normal, es decir, aquella que presentó un color amarillo uniforme (Figura 9A y 9C) y la que presentó el punteado verde (Figura 9B y 9D). En ambos casos se observó cera epicuticular con placas lisas y papilosas. Además, no se observaron rupturas en los estomas o daños en la cera epicuticular de zonas cercanas a los estomas (Figura 10).

Debido a que no se observó ningún daño morfológico a nivel externo es posible que este síntoma no se deba a algún agente externo como daños mecánicos o patológicos, sino más bien podría deberse a alguna condición fisiológica de la fruta relacionada con la degradación de clorofila en las zonas afectadas. Esto podría estudiarse más a fondo si se observa la estructura de los cloroplastos mediante la microscopía electrónica de transmisión, ya que esta técnica permite observar si las diferentes organelas celulares presentan algún tipo de daño.

En el caso de los frutos con endurecimiento o que presentaron problemas en el proceso de suavizamiento, no se obtuvieron resultados debido a que las muestras preparadas mediante el procedimiento de criofractura colapsaron.

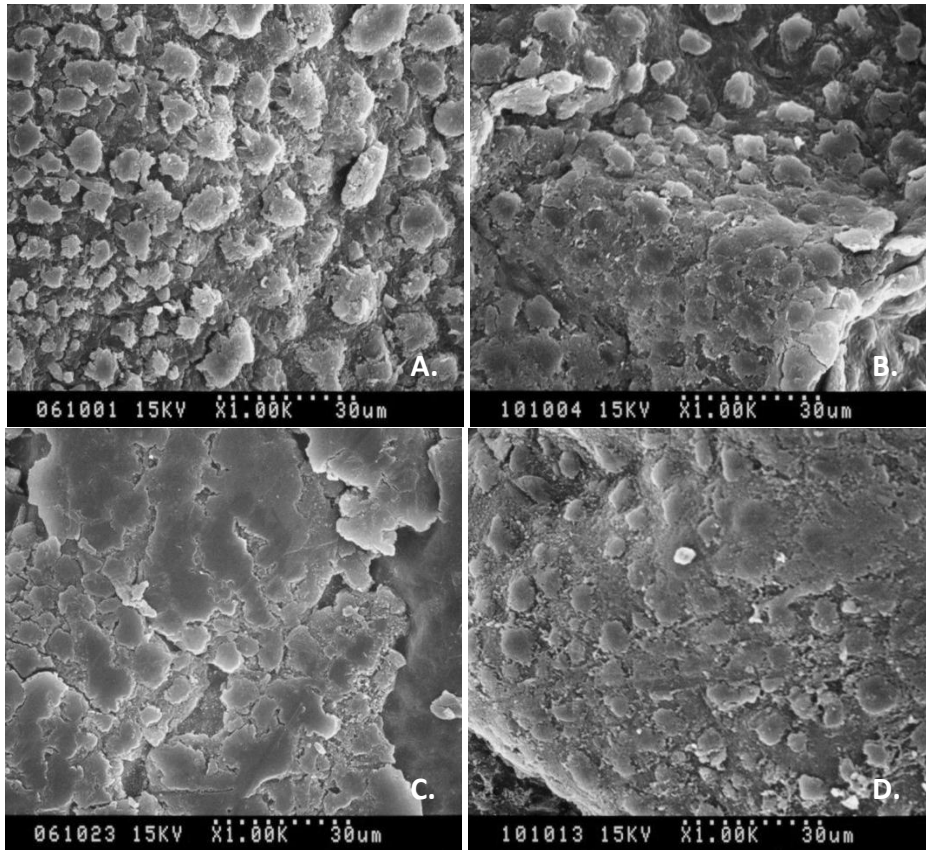


Figura 9. Conformación de las ceras epicuticulares de frutos maduros correspondientes al estado 7 con cáscara sin defectos y de frutos que presentaban punteado verde, luego de 21 días de almacenamiento (14 días a 14°C+ 7 días a temperatura ambiente). A y C: Cáscara sin defectos. B y D: Cáscara con punteado verde. 1000x.

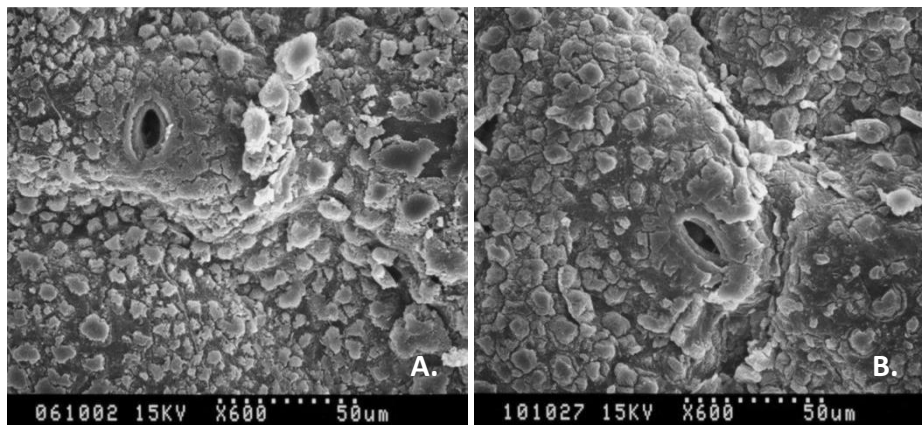


Figura 10. Morfología de estomas y de ceras epicuticulares de frutos maduros de papaya Pococí correspondientes al estado 7 cosechadas en el mes de Agosto luego de un almacenamiento de 14 días a 14°C + 13 días a 20°C. A: Frutos que presentaron cáscara completamente amarilla sin defectos, B: Frutos que presentaron cáscara con punteado verde. 600X.

5.2.3 Efecto de tratamientos poscosecha y almacenamiento sobre la ultraestructura del fruto

En frutos testigo se observó que hubo diferencias morfológicas entre la cara expuesta al sol (Figura 11A, 12A y 13A) y la cara sombreada (11B, 12B y 13B) en todas las evaluaciones realizadas (entrada de cámara, salida de cámara y madurez de consumo) donde la cera epicuticular fue más lisa en esta última cara. Esto coincide con la conformación cuticular que se describió en el apartado 5.1.1.1.

Por otro lado, los frutos tratados con cera, tratamiento hidrotérmico y la combinación de tratamientos hidrotérmico + cera se observó que entre ambas caras no hubo diferencias morfológicas en la conformación de las ceras epicuticulares. En ambas caras las placas de cera epicuticular se observaron lisas, similares a la cara sombreada del fruto testigo.

No se observaron diferencias morfológicas entre la cera epicuticular de los frutos testigo evaluados a la entrada de cámara (Figura 11A y 11B) y los evaluados a la salida de cámara (Figura 12A y 12B). Cuando el fruto alcanzó la madurez de consumo la conformación epicuticular no varió (Figura 13A y 13B). Sin embargo, se observaron algunos hundimientos leves (Figura 15A), los cuales podrían estar relacionados con la deshidratación que se presentó en la fruta durante la vida en anaquel. Esta situación parece indicar que el período de almacenamiento podría llegar a afectar la morfología externa del fruto. Charles *et al.* (2008) también observaron hundimientos en la cáscara de tomates luego de 10 días de almacenamiento.

Las ceras epicuticulares de los frutos tratados con cera comercial se observaron muy lisas en la entrada de cámara (Figuras 11C y 11D), incluso más lisas que las ceras epicuticulares de la cara sombreada de frutos testigo (Figura 11B). Además, las separaciones entre placas de cera epicuticulares fueron menos notorias comparadas con el testigo. Según Bai y Plotto (2012), al aplicar cera, ésta forma una capa artificial para proteger la fruta, razón por la que posiblemente la morfología de la cera epicuticular del fruto se observó más lisa y homogénea comparada con la cera epicuticular del testigo.

Ambas caras de los frutos tratados con cera comercial a la salida de cámara (Figura 12C y 12D) y en madurez de consumo (Figura 13C y 13D) tuvieron ceras epicuticulares igual de lisas que las presentes en la cara sombreada de los frutos testigo (Figura 13A y 13A). Además, la morfología de las ceras epicuticulares de frutos tratados con cera fue la misma a la salida de cámara (Figura 12C y 12D) y durante la madurez (Figura 13C y 13D).

En el caso del tratamiento hidrotérmico en la evaluación de entrada a cámara (Figuras 11E y 11F) la superficie de la cara expuesta al sol se observó más lisa (Figura 11E) comparada con las ceras de frutos testigo (Figura 11A). Probablemente debido a la alta temperatura las ceras cuticulares se derritieron. Estos resultados coinciden con los encontrados por Pereira *et al.* (2012) en papaya Golden, quienes observaron un derretimiento de las ceras epicuticulares por lo que la conformación de estas ceras fue más lisa en las frutas tratadas en comparación con las frutas testigo, además, dichos

autores indican que fisuras presentes fueron selladas luego de la aplicación de este tratamiento.

En esta variedad de papaya no se observaron diferencias entre la cara sombreada (Figuras 11E, 12E y 13E) y la expuesta al sol (Figuras 11F, 12F y 13F) luego de aplicar el tratamiento hidrotérmico, caso contrario se ha reportado en otros frutos, por ejemplo en manzana. Tahir *et al.* (2009) observaron diferentes modificaciones en cada cara del fruto posterior a la aplicación de agua caliente, en donde la cara expuesta al sol sufrió modificaciones más notorias ya que se dio una mayor fusión de las placas de cera.

No se observaron diferencias entre las ceras epicuticulares de frutos a los cuales se les aplicó el tratamiento hidrotérmico en la salida de cámara (12E y 12F) y madurez de consumo (13E y 13F) con respecto a la cara sombreada del testigo (12B y 13B). Además, no se observaron diferencias entre la conformación de las ceras epicuticulares entre los frutos evaluados a la entrada (Figura 11E y 11F), salida de cámara (Figura 12E y 12F) y la madurez de consumo (Figura 13E y 13F). Sin embargo, en esta última evaluación se observaron algunos hundimientos leves (Figura 15B) posiblemente resultado de la deshidratación de la fruta.

Con respecto a las ceras epicuticulares de los frutos tratados con tratamiento hidrotérmico + Cera (Figuras 11G y 11H), estas se observaron menos lisas comparadas con aquellas donde solo se aplicó cera (Figura 11C y 11D), en la entrada a cámara fría. No hubo diferencias a la salida de cámara (12G y 12H) y madurez de consumo (13G y 13H) con respecto a la cara sombreada de frutos testigo.

En cuanto a los estomas (Figura 14), se observó que en frutos testigo estos se encontraban embebidos en cera epicuticular (Figura 14A, 14E, 14I). Además, no se observaron diferencias en la morfología de los estomas y zonas de cera epicuticular entre la evaluación de entrada (Figura 14A), salida de cámara (Figura 14E) y madurez (Figura 14I).

En los frutos tratados con cera se observaron algunos estomas ocluidos en el momento de la entrada a cámara (Figura 14B) probablemente debido al recubrimiento de la cera comercial. Esta oclusión podría provocar cambios como una baja en la respiración de la fruta ya que los estomas son estructuras que participan en este proceso. En la salida de cámara (Figura 14F) y en la madurez (Figura 14J) no se observaron estomas ocluidos ni diferencias morfológicas con respecto al testigo. Esto podría deberse a que durante el período de almacenamiento parte de la capa de cera tiende a desgastarse.

Con respecto al tratamiento hidrotérmico (Figura 14C, 14G y 14K), este no provocó modificaciones en ninguna de las evaluaciones realizadas ya que no se observaron diferencias con respecto al testigo. Esto es contrario a lo reportado por Pereira *et al.* (2012) quienes observaron estomas completamente cubiertos por la cera epicuticular en papaya Golden posterior a la aplicación de agua caliente.

En los frutos tratados con la combinación hidrotérmico + cera, se observaron estomas ocluidos en la entrada de cámara (Figura 14D) al igual que en los frutos tratados únicamente con cera (Figura 14B). En la evaluación de salida de cámara (Figura 14H) y en la madurez de consumo (Figura 14L) no se observaron diferencias con respecto al resto de los tratamientos.

Es importante señalar que las frutas evaluadas en todos los tratamientos no presentaron daños evidentes a simple vista a la entrada de cámara, de igual forma a nivel ultraestructural no se observaron rupturas o algún otro tipo de micro heridas. Posterior a la aplicación de tratamientos y al almacenamiento tampoco se observó ningún daño ya que los frutos conservaron una apariencia adecuada lo cual también se evidenció a nivel ultraestructural. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que durante el mes en el cual se realizaron las evaluaciones ultraestructurales el tratamiento hidrotérmico no provocó daños externos a la fruta, mientras que en otros meses este tratamiento sí causó daños a la cáscara.

Además, aunque no se observaron diferencias a nivel de conformación de ceras epicuticulares entre tratamientos, no se pudo determinar si hubo diferencias a nivel del grosor de estas ceras debido a que los cortes trasversales de la muestras colapsaron debido al método de criofractura utilizado.

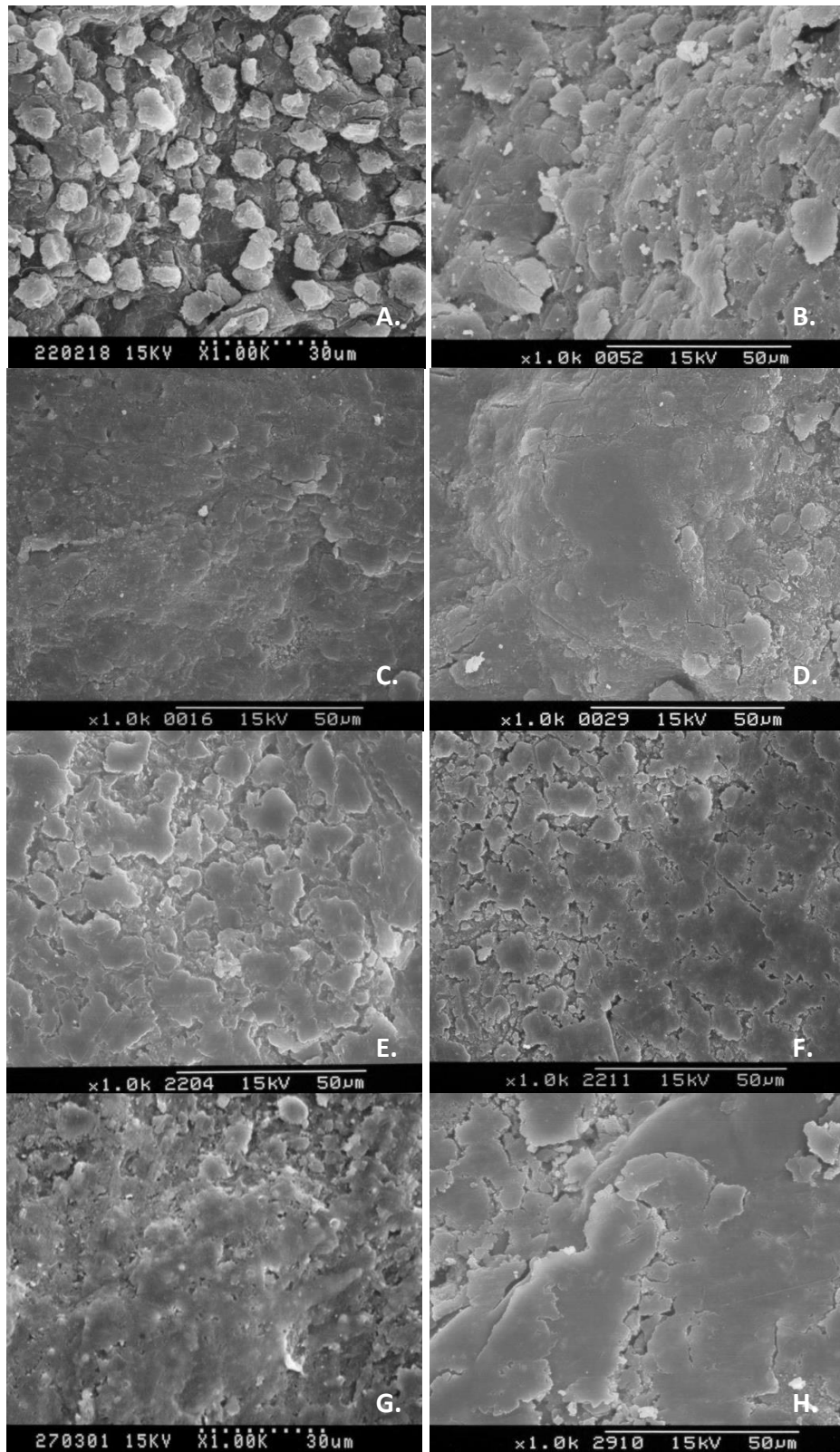


Figura 11. Efecto de tratamientos poscosecha sobre las ceras epicuticulares en frutos de papaya Pococí correspondientes al estado 2 de maduración y cosechados en el mes de Diciembre a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento). A: Testigo cara expuesta al sol, B: Testigo cara sombreada, C: Cera cara expuesta al sol, D: Cera cara sombreada, E: Hidrotérmico cara expuesta al sol, F: Hidrotérmico cara sombreada, G: Hidrotérmico + Cera cara expuesta al sol, H: Hidrotérmico + Cera cara sombreada. 1000x

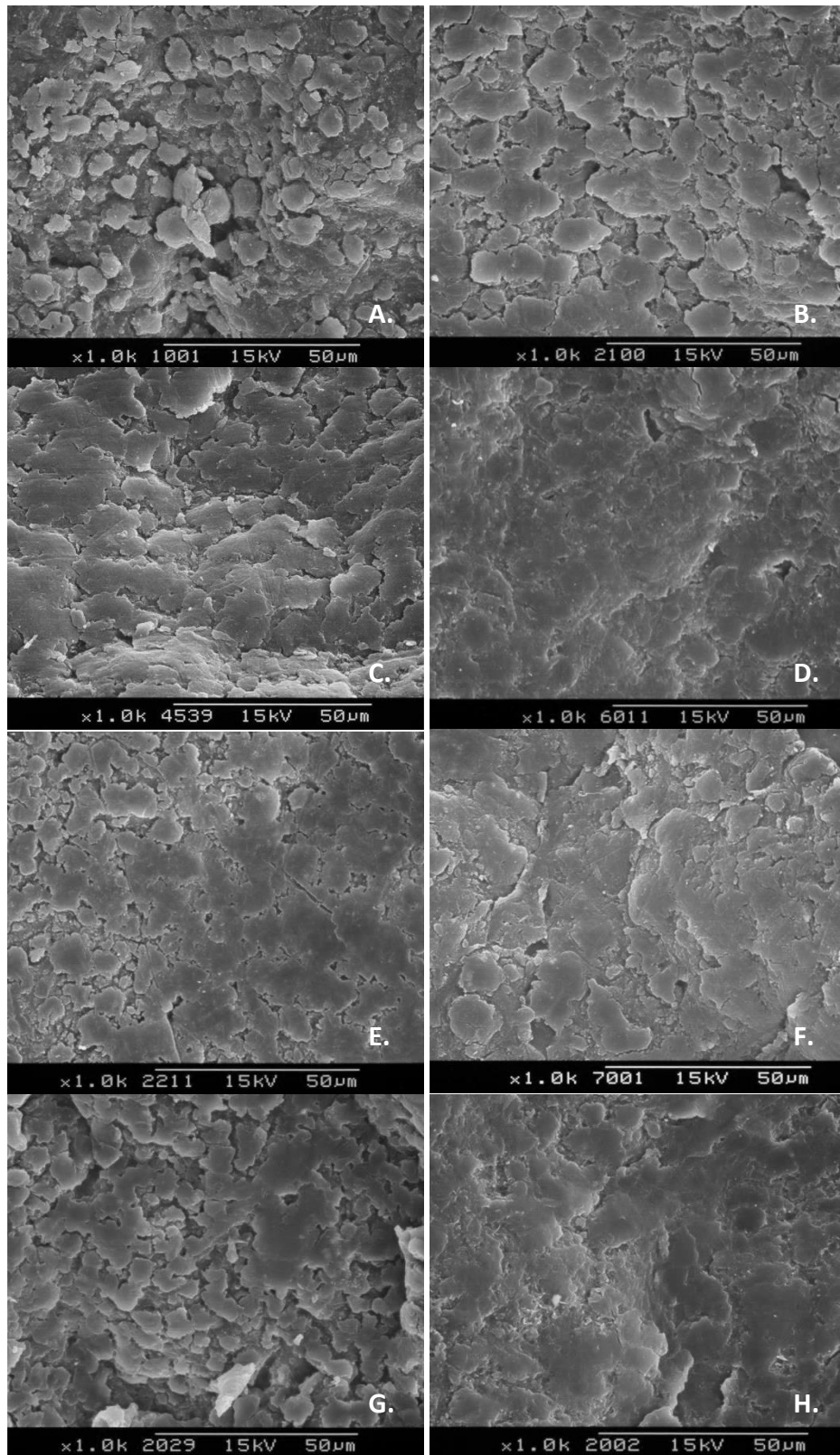


Figura 12. Efecto de tratamientos poscosecha sobre las ceras epicuticulares en frutos de papaya Pococí correspondientes al estado 3 de maduración y cosechados en el mes de Diciembre, luego de 14 días de almacenamiento a 14°C. A: Testigo cara expuesta al sol, B: Testigo cara sombreada, C: Cera cara expuesta al sol, D: Cera cara sombreada, E: Hidrotérmico cara expuesta al sol, F: Hidrotérmico cara sombreada, G: Hidrotérmico + Cera cara expuesta al sol, H: Hidrotérmico + Cera cara sombreada. 1000x

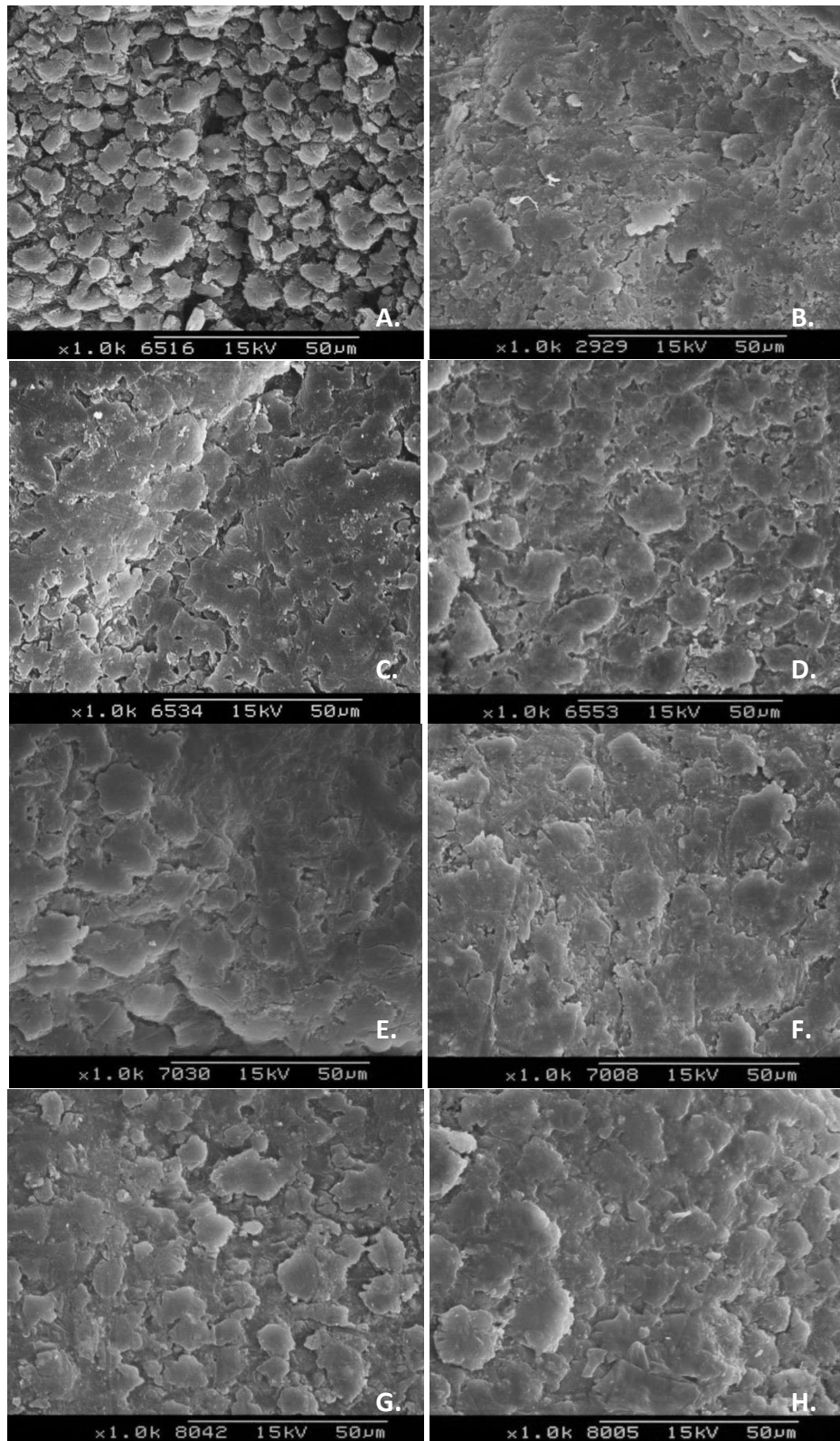


Figura 13. Efecto de tratamientos poscosecha sobre las ceras epicuticulares en frutos de papaya Pococí correspondientes al estado 7 de maduración y cosechados en el mes de Diciembre, luego de un período de almacenamiento de 14 días a 14°C + 7 días a 20°C. A: Testigo cara expuesta al sol, B: Testigo cara sombreada, C: Cera cara expuesta al sol, D: Cera cara sombreada, E: Hidrotérmico cara expuesta al sol, F: Hidrotérmico cara sombreada, G: Hidrotérmico + Cera cara expuesta al sol, H: Hidrotérmico + Cera cara sombreada. 1000x

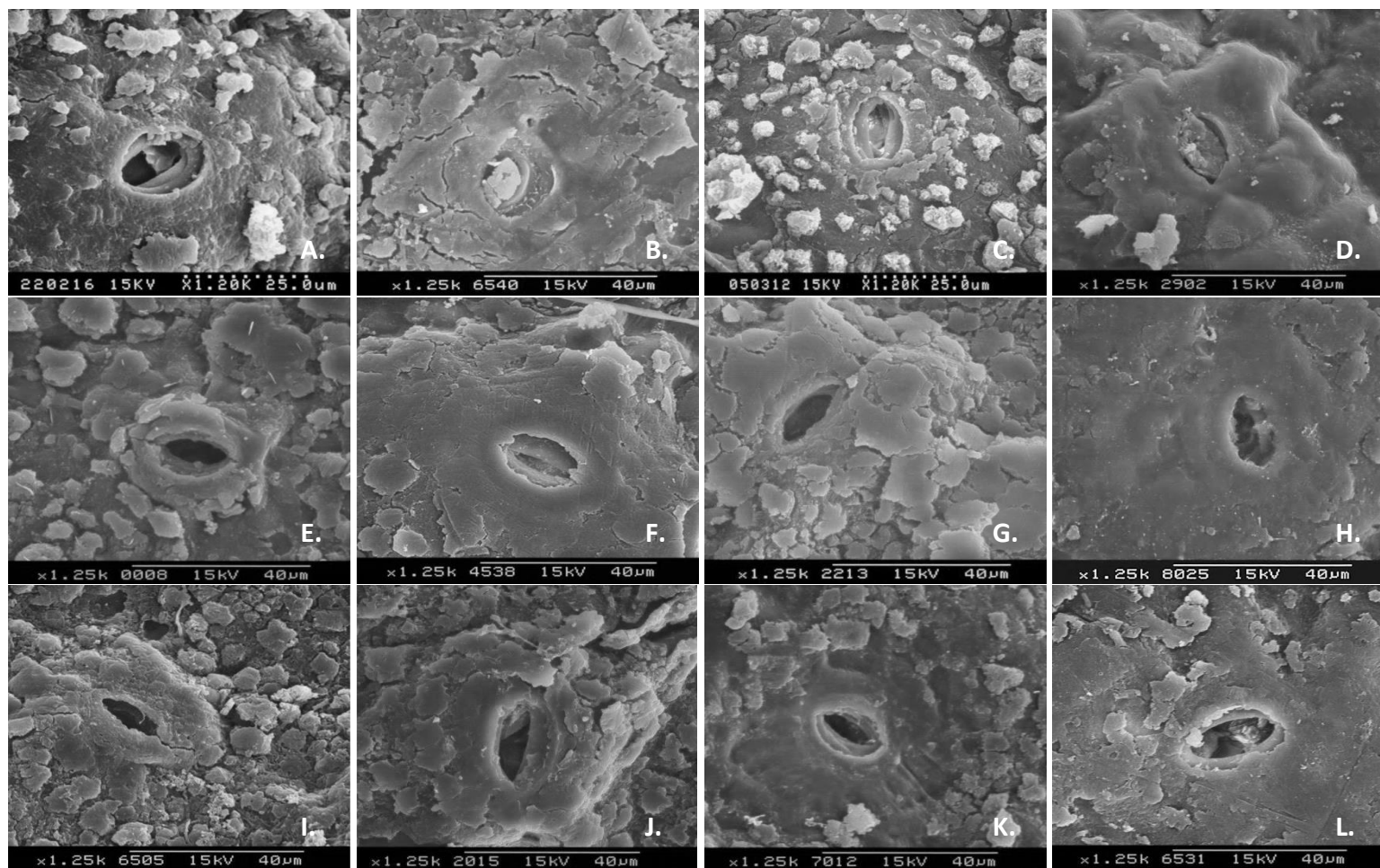


Figura 14. Efecto de tratamientos poscosecha sobre la morfología de los estomas de frutos de papaya Pococí cosechados en el mes de Diciembre. A, B, C, D: Frutos correspondientes al estado 2 de maduración y evaluados a la entrada a cámara fría, 0 días de almacenamiento. E, F, G, H: Frutos correspondientes al estado 3 de maduración y evaluados luego de un almacenamiento a 14°C por 14 días. I, J, K, L: Frutos maduros correspondientes al estado 7 de maduración luego de un almacenamiento 14°C por 14 días + 20°C por 7 días. A, E, I: Testigo. B, F, J: Cera. C, G, K: Hidrotérmico. D, H, L: Hidrotérmico + Cera. 1250X y 1220X

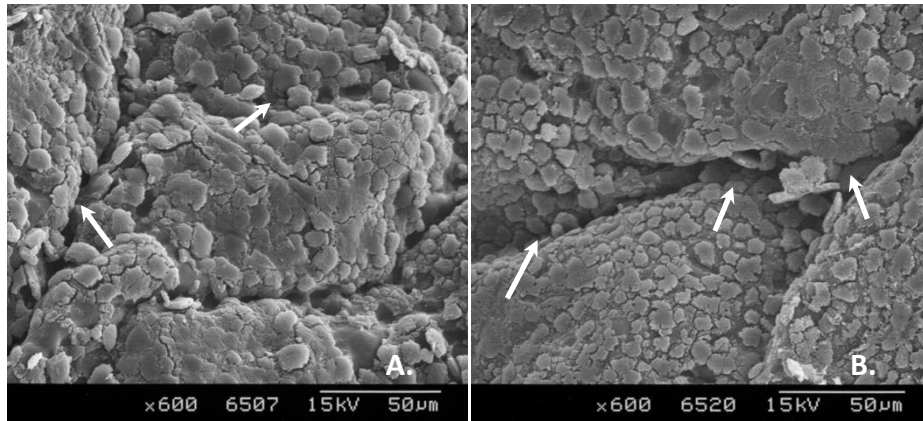


Figura 15. Hundimientos leves observados en frutos del estado 7 posterior al almacenamiento a 14°C por 14 días + 20°C por 7 días. A: Testigo. B: Hidrotérmico. Flechas indican hundimientos leves (600x)

6. Conclusiones

1. En general, las diferencias entre meses fueron altamente significativas para todas las variables de calidad analizadas, lo cual podría indicar que la calidad de la fruta varía a lo largo del año.
2. La aplicación del tratamiento hidrotérmico provocó un retraso en el desarrollo del color amarillo de la cáscara y un aumento de la pérdida de peso.
3. El tratamiento hidrotérmico causó daños externos como bronceados y hundimientos en la cáscara. Sin embargo, este comportamiento varió según el mes en el cual fue cosechada la fruta.
4. Los parámetros de hue, chroma y L* de pulpa, la firmeza de cáscara y pulpa y el porcentaje de sólidos solubles no fueron afectados por la aplicación del tratamiento hidrotérmico.
5. Las papayas que fueron sumergidas en agua caliente presentaron una reducción en la incidencia y severidad de enfermedades.
6. El porcentaje de amarillo externo, el color de pulpa, la firmeza de cáscara y pulpa, el contenido de sólidos solubles y la pérdida de peso no fueron alterados por la aplicación de cera.
7. Las frutas tratadas con cera presentaron un aumento en la incidencia y severidad de enfermedades, especialmente durante el almacenamiento a temperatura ambiente en cuatro de los ocho meses evaluados.
8. El contenido de fenoles totales presentó diferencias significativas entre tratamientos en cinco de los ocho meses evaluados. Sin embargo, no hubo un comportamiento consistente de esta variable.
9. Hubo diferencia morfológica en la conformación de la cera epicuticular de la cara sombreada del fruto y la cara expuesta al sol. En esta última cara las placas de cera se observaron más redondeadas y con más separaciones, en el caso de la cara sombreada, las placas de cera se observaron más lisas y con pocas separaciones.
10. Los estomas presentes en el fruto se encuentran embebidos en la cera epicuticular y son del tipo actinocítico.
11. Las frutas que presentan el punteado verde en la cáscara no mostraron diferencias ultraestructurales con respecto a frutas que desarrollaron un amarillamiento normal.

12. La aplicación de cera causó un cambio en la morfología de las ceras epicuticulares, ya que provocó que su apariencia fuera más lisa mientras que las frutas tratadas con agua caliente sufrieron de un leve derretimiento de las placas de cera epicuticulares. Por otro lado, la aplicación del tratamiento hidrotérmico seguido de la aplicación de cera provocó que las ceras epicuticulares fueran más lisas que el testigo.
13. Los estomas de frutos tratados con cera se observaron ocluidos mientras que la aplicación del tratamiento hidrotérmico y combinación del tratamiento hidrotérmico seguido de la aplicación de cera no generaron oclusiones en los estomas.
14. El almacenamiento no afectó la morfología de las ceras epicuticulares del fruto.

7. Recomendaciones

- ✓ Debido a la deshidratación que provocó el tratamiento hidrotérmico se recomienda la aplicación de una cera que permita reducir la pérdida de peso.
- ✓ Realizar evaluaciones de otros tipos de ceras que permitan alargar la vida útil de la fruta y que conserven adecuadamente la calidad.
- ✓ Investigar sobre cómo los factores climáticos afectan los diferentes parámetros de calidad de la fruta, realizando correlaciones y regresiones con el fin de predecir la calidad según las condiciones ambientales prevalecientes durante el desarrollo del fruto.
- ✓ Analizar si el desorden fisiológico asociado con el impedimento del suavizamiento se encuentra relacionado con factores climáticos específicos o con otros factores como edad de la planta y prácticas culturales.
- ✓ Investigar si el daño externo (Hundimientos, bronceados y zonas verde opaco) provocado por el tratamiento hidrotérmico está relacionado con condiciones ambientales específicas
- ✓ Investigar sobre el uso de tratamientos hidrotérmicos a menores temperaturas previo a la aplicación del tratamiento cuarentenario (inmersión de la fruta en agua a 49°C por 20 minutos) con el fin de acondicionar la fruta y evaluar su efecto sobre los daños externos.
- ✓ Realizar una validación de los resultados obtenidos en este trabajo con el fin de reconocer meses críticos en los cuales la calidad baja y así orientar prácticas agronómicas durante esos meses que permitan mejorar la calidad de la fruta.
- ✓ Evaluar otras metodologías para el procesamiento de muestras mediante la criofractura para evitar el colapso de los cortes transversales, tales como diferentes dosis y tiempos de inmersión en DMSO.

8. Literatura citada

- Adetuyi, F; Akinadewo, L; Omosuli S; Ajala, L. 2008. Antinutrient and antioxidant quality of waxed and unwaxed pawpaw *Carica papaya* fruit stored at different temperatures. *African Journal of Biotechnology* 7 (16):2920-2924.
- Agrios, G. 2005. *Plant Pathology*. Elsevier Academic Press, United States. 992 p.
- Ali, A; Muda, M; Sijam, K; Siddiqui, Y. 2011. Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. *Food Chemistry* 124: 620-626.
- Almeida, A; Reis, J; Santos, D; Vieira, T; Costa, M. 2011. Estudio de la conservación de la papaya (*Carica papaya* L.) asociado a la aplicación de películas comestibles. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 2 (1): 49-60.
- Ambuko, J; Sekozawa, Y; Sugaya, S; Itoh, F; Nakamura, K; Gemma, H. 2006. Effect of seasonal variation, cultivar and production system on some postharvest characteristics of the banana. *Acta Horticulturae* 712: 505-510.
- Arauz, F; Mora, D. 1983. Evaluación preliminar de los problemas postcosecha en seis frutas tropicales de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 7(1): 43-53.
- Arina, M; Boyce, A; Chandran, S. 2010. Effects of postharvest hot water treatment on physiological and biochemical properties of 'Eksotika' papaya during ripening. *Acta Horticulturae* 875: 177-184.
- Bai, J; Plotto, A. 2012. Coatings for fresh fruits and vegetables. In: *Edible coatings and films to improved food quality*, Second edition. Taylor & Francis Group, United States. 226 p.
- Bally, I. 1999. Changes in the cuticular surface during the development of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Kensington Pride. *Scientia Horticulturae* 79: 13-22.
- Belding, R; Blankenship, S; Young, E; Leidy, R. 1998. Composition and variability of epicuticular waxes in apple cultivars. *Journal American Society of Horticultural Science* 123 (3): 348-356.
- Ben-Yehoshua, S; Rodov, V. 2003. Transpiration and water stress. In: *Postharvest physiology and pathology of vegetables*. Marcel Dekker, United States.
- Bogantes, A; Mora, E; Umaña, G; Loría, C. 2011. *Guía para el cultivo de la papaya en Costa Rica*. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica. 51 p.
- Bron, I; Jacomino, A. 2006. Ripening quality of Golden papaya fruit harvested at different maturity stages. *Braz. J. Plant Physiol.* 18(3): 389-396.

- Campbell, R; Marini, R. 1992. Light environment and time of harvest affect 'Delicious' apple fruit quality characteristics. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(4):551-557.
- Campostrini, E; Valdevino, C; Yamanishi, O. 2010. Environmental factors causing physiological disorders in papaya plants. *Acta Horticulturae* 851: 453-458.
- Charles, M; Makhlouf, J; Arul, J. 2008. Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit II. Modification of fruit surface and changes in fungal colonization. *Postharvest Biology and Technology* 47: 21–26.
- Chávez, I; Carrillo, A; Vega, M; Yahia, E. 2011. The effect of antifungal hot-water treatments on papaya postharvest quality and activity of pectinmethylesterase and polygalacturonase. *Journal of Food Science and Technology*.
- Curry, E. 2003. Factors associated with apple lenticel breakdown. Tree fruit research and extension center. Washington State University. 9 p.
- Curry, E. 2008. Effects of 1-MCP applied postharvest on epicuticular wax of apples (*Malus domestica* Borkh.) during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: 996–1006.
- Deell, J; Prange, R; Peppelenbos, H. 2003. Postharvest physiology of fresh fruits and vegetables. In: *Handbook of postharvest technology: cereals, fruits, vegetables, tea and spices*. Marcel Dekker, United States. 866 p.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-Servicio de Inspección Agropecuaria (USDA-APHIS). 2003-2004. Plan de trabajo para el Programa de Certificación de Papaya de Panamá para la temporada de Exportación. 37 p. Material mimeografiado.
- Dickman, M.B; Alvarez, A.M. 1983. Latent infection of papaya caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Disease* 67: 748-750.
- Durán, A; Mora, D. 1986. Enfermedades del fruto de la papaya. Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. 21 p.
- Durán, A; Mora, D. 1987. Diagnóstico de las enfermedades poscosecha de la papaya en Costa Rica II. Cuantificación y epidemiología de las enfermedades del fruto. *Agronomía Costarricense* 12:7-18.
- Durán, A; Mora, D; Ramírez, L. 2000. Los peciolos de la papaya como fuente de inóculo de la antracnosis y su eliminación como práctica de control. *Agronomía Mesoamericana* 11(2): 07-14.
- Durán, A; Ramírez, L; Mora, D. 1998. Requerimientos de humedad relativa y tiempos de incubación para la infección de conidios de *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de papaya. *Agronomía Mesoamericana* 9(1): 81-85.

- Elizondo, A. 2011. Análisis del mercado de papaya. Servicio de información e inteligencia de mercados. Consejo Nacional de Producción. Boletín N° 1.
- Elizondo, A. 2012. Análisis del mercado de papaya. Servicio de información e inteligencia de mercados. Consejo Nacional de Producción. Boletín N° 1.
- Ergun, M; Sargent, S; Fox, A; Crane, J; Huber, D. 2005. Ripening and quality responses of mamey sapote fruit to postharvest wax and 1-methylcyclopropene treatments. *Postharvest Biology and Technology* 36 : 127–134.
- Evans, E; Ballen, F. 2012. Una mirada a la producción, el comercio y el consumo de papaya a nivel mundial. Consultado el 02 de Febrero del 2013. Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Evert, R. 2006. *Esau's plant anatomy Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: Their Structure, Function, and Development*. Wiley Interscience, United States. 601 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2011. Consultado el 14 de Octubre del 2012. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- Ferreira, R; Viña, S; Mugridge, A; Chaves, A. 2007. Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Selva. *Scientia Horticulturae* 112: 27-32.
- Fonseca, M; Rocha, N; Cenci, S; Cecon, P; Bressan, R. 2003. Comparación entre las papayas var. Sunrise Solo y var. Golden, durante siete estados de madurez. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha* 5 (2): 86-91.
- Gayosso, L. Yahia, E; Martínez, M; González, G. 2010. Effect of maturity stage of papaya maradol on physiological and biochemical parameters. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 5 (2): 194-203.
- Gayosso, L. Yahia, E; Martínez, M; González, G. 2011. Identification and quantification of phenols, carotenoids, and vitamin C from papaya (*Carica papaya* L., cv. Maradol) fruit determined by HPLC-DAD-MS/MS-ESI. *Food Research International* 44: 1284-1291.
- Gazzola, R; Alves, R; Filgueiras, H; Soares, A. 2004. Scanning electronic microscope-SEM Evaluation of epicuticular waxes in 'Tommy Atkins' mango with brown spots. *Acta Hort* 645: 651-654.
- Glenn, G; Chiou, B; Imam, S; Wood, D; Orts, W. 2005. Role of Cuticles in Produce Quality and Preservation. In: *Produce Degradation Pathways and Prevention*. Taylor & Francis Group, United State. 647 p.

- Gomes, A; Gonçalves, J; Pio, A; Gonzaga, M. 2008. Mancha fisiológica e produtividade do mamão Tainung 01: efeito da lâmina de irrigação e cobertura do solo. Ciênc. Agrotec., Lavras 32 (4): 1161-1167.
- Gomez, M; Lajolo, F; Cordenunsi, B. 2002. Evolution of soluble sugars during ripening of papaya fruit and its relation to sweet taste. Journal of food science 67(1): 442-447.
- Guzmán, G. 1998. Guía para el cultivo de la papaya *Carica papaya* L. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 74 p.
- Hong, S; Lee, H; Kim, D. 2007. Effects of hot water treatment on the storage stability of Satsuma mandarin as a postharvest decay control. Postharvest Biology and Technology 43: 271–279.
- Jacobi, K; Macrae, E; Hetherington, S. 2001. Postharvest heat disinfestations treatments of mango fruit. Scientia Horticulturae 89: 171-193.
- Jacomino, A; Zanotti, C; Soares, I; Pinto, W. 2010. Characterization and occurrence of early softening disorder in Golden papaya fruits. Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal 32 (4).
- Jakopic, J; Stampar, F; Veberic, R. 2009. The influence of exposure to light on the phenolic content of 'Fuji' apple. Scientia Horticulturae 123: 234–239.
- Jeong, S; Kim, S; Kim, D; Jo, S; Nam, K; Ahn, D; Lee, S. 2004. Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52 (11): 3389–3393.
- Jiménez, J. 2002. Manual práctico para el cultivo de la papaya Hawaiana. Editorial EARTH. Guácimo, Costa Rica. 126 p.
- Kumar, V; Gamage, T. 2007. Postharvest physiology of fruit and vegetables. In: Handbook of food preservation, Taylor & Francis Group, United States.
- Lara, I; P. García; P; Vendrell, M. 2006. Post-harvest heat treatments modify cell wall composition of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruit. Scientia Horticulturae 109:48–53.
- Loaiza, J; Tomás, F; Saltveit, M. 1997. Effect of intensity and duration of heat-shock treatments on wound-induced phenolic metabolism in iceberg lettuce. Journal American Society of Horticultural Science 122(6): 873-877.
- López, M. 2010. Tratamientos poscosecha en el control de la antracnosis y calidad de frutos de papaya Maradol. Tesis de maestría. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. 89 p.

- Maguire, K; Sabarez, H; Tanner, D. 2004. Postharvest preservation and storage. In: Handbook of vegetable preservation and processing. New York, United States.
- Mahmud, T; Hasan, M; Mohamad, A; Syed, S; Raqeeb, A. 2010. Pesticide Free Coating for Papaya (*Carica papaya* 'Eksotika II'). *Acta Horticulturae* 875: 177-184.
- Martins, D; Blum, L; Sena, M; Dutra, J; Freitas, L; Lopes, L. Yamanishi; O; Dianese, A. 2010. Effect of hot water treatment on the control of papaya (*Carica papaya* L.) postharvest diseases. *Acta Horticulturae* 864: 181-186.
- McDonald, R; Nordby, H; McCollum, G. 1993. Epicuticular wax morphology and composition are related to grapefruit chilling injury. *Hortscience* 28(4):311-312.
- Mlikota, F; Smilanick, J; Mansour, M; Ramming, D; Mackey, B. 2003. Correlations of morphological, anatomical, and chemical features of grape berries with resistance to *Botrytis cinerea*. *Phytopathology* 93 (10): 1263-1273.
- Moon, D; Cho, Y; Mizutani, F; Kipkorionry Laban, K; Ram Chandra, R. 2003. Wax deposition on the fruit surface of satsuma mandarin as affected by water stress. *Asian Journal of Plant Sciences* 2: 1138-1141.
- Mora, E; Bogantes, A. 2004. Evaluación de híbridos de papaya (*Carica papaya* L.) en Pococí, Limón, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 15(1): 39-44.
- Navarro, J; Arauz, F. 1999. Exactitud y repetibilidad de dos métodos para la evaluación de enfermedades fungosas en el fruto de la papaya (*Carica papaya*). *Agronomía Costarricense* 23(1): 89-96.
- Oliveira, F; Campostrini, E; Torres, A. 2008. Mancha fisiológica do mamão "Formosa": relações com o potencial hídrico do solo, o teor de sólidos solúveis totais do látex e as variáveis do clima. *Ciênc. Agrotec., Lavras* 32 (5): 1473-1480.
- Oliveira, J; Vitória, A. 2011. Papaya: Nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. *Food Research International* 44: 1306-1313.
- Özkan A., Gübbük H., Güneş E., Erdoğan A. 2011. Antioxidant capacity of juice from different papaya (*Carica papaya* L.) cultivars grown under greenhouse conditions in Turkey. *Turk. J. Biol.* 35: 619-625.
- Pailly, O; Tison, G; Amouroux, A. 2004. Harvest time and storage conditions of 'Star Ruby' grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.) for short distance summer consumption. *Postharvest Biology and Technology* 34: 65-73.
- Passam, H; Karapanos, I; Bebeli, P; Savvas, D. 2007. A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 1(1): 1-21.

- Paul, V; Srivastava, G. 2006. Role of surface morphology in determining the ripening behaviour of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits. *Scientia Horticulturae* 110: 84–92.
- Paull, R; Chen, N. 1990. Heat shock response in field-grown, ripening papaya fruit. *Journal of American Society of Horticultural Science* 115(4):623-631.
- Paull, R; Chen, N. 2000. Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 21: 21–37.
- Paull, R; Irikura, B; Wu, P; Turano, H; & Chen, N; Blas, A; Fellman, J; Gschwend, R; Wai, C; Yu, Q, Presting, G; Alam, M; Ming, R. 2008. Fruit development, ripening and quality related genes in the papaya genome. *Tropical Plant Biol.* 1: 246–277.
- Payasi, A; Nath, N Soares, A; Singh, R. 2009. Biochemistry of fruit softening : an overview. *Physiol. Mol. Biol. Plants*, 15(2): 103-113.
- Pereira, C; Scherrer, C; Ramos, P; Zapata, C; Ferreira, L; Tessaro, I; João, R. 2012. Effects of ozonized water and heat treatment on the papaya fruit epidermis. *Food and Bioproducts Processing* 90: 118–122.
- Petit, D; Bringas, E; González, A; García, J; Báez, R. 2009. Efecto del tratamiento hidrotérmico sobre la ultraestructura de la cutícula del fruto de mango. *Revista UDO Agrícola* 9(1): 96-102.
- Petit, J; Terán, Y; Salinas, R; García, J; Baéz, R. 2010. Efecto de las ceras comestibles sobre la calidad en frutos de papaya. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha* 11(1): 37-42.
- Poll, L; Petersen, M; Nielsen, G. 2003. Influence of harvest year and harvest time on soluble solids, titrateable acid, anthocyanin content and aroma components in sour cherry (*Prunus cerasus* L. cv. “Stevnsbar”). *European Food Research and Technology* 216:212–216.
- Ramírez, C. 2011. Evaluación del efecto del 1-Metilciclopropeno y del ácido giberélico sobre la maduración y calidad de frutos de papaya (*Carica papaya* L) híbrido "Pococi". Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 106p.
- Ribeiro, C; Bandeira-Tavares, P; Rosa, E; Meireles, O; Silva, A. 2005. Using scanning electron microscopy for quality evaluation of apples after cold storage. *Acta Hort.* 682: 715-722.
- Rocha, C; Carvalho, S; Barbosa, J; Souza, G; Oliveira, E. 2005. Qualidade pós-colheita do mamão formosa armazenado sob refrigeração. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal.* 27 (3): 386-389.

- Roy, S; Conway, W; Watada, A; Sams, C; Erbe, E; Wergin, W. 1994. Heat treatment affects epicuticular wax structure and postharvest calcium uptake in “Golden delicious” apples. *HortScience* 29 (9): 1056-1058.
- Roy, S; Conway, W; Watada, A; Sams, C; Erbe, E; Wergin, W. 1999. Changes in the ultrastructure of the epicuticular wax and postharvest calcium uptake in apples. *HortScience* 34(1):121-124.
- Salazar, D. 2012. Establecimiento de la escala de madurez y potencial de vida útil durante el almacenamiento de papaya (*Carica papaya* L.). Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 91p.
- Santamaría, F; Díaz, R; Sauri, E; Espadas, F; Santamaría, J; Larqué, A. 2009. Características de calidad de frutos de papaya Maradol en la madurez de consumo. *Agricultura Técnica en México* 35 (3): 347-353.
- Scherrer, C; Antes, B; Pires, R; Cunha, Salette, C; João, R. 2010. Alterações na cutícula de maçãs ‘Fuji’ e ‘Gala’ em função do tratamento térmico e da armazenagem refrigerada. *Acta Scientiarum. Agronomy* 32 (3): 441-447.
- Schweiggert, R; Steingass, S; Mora, E; Esquivel, P; Carle, R. 2011. Carotenogenesis and physico-chemical characteristics during maturation of red fleshed papaya fruit (*Carica papaya* L.). *Food Research International* 44:1373–1380.
- Shahidu, F; Nacz, M. 2004. Contribution of phenolic compounds to flavor and color characteristics of food. *In: Phenolics in food and nutraceuticals*. CRC Press, United States. 557 p.
- Shepherd, T; Griffiths, D. 2006. The effects of stress on plant cuticular waxes. *New Phytologist* 171: 469-499.
- Singleton, V; Rossi, J. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Society for Enology and Viticulture* 16(3):144-158.
- Sopondilok, T; Srilaong, V; Uthairatanakij, A; Wongs-Aree, C; Jitareerat, P. 2010. Effect of glucomanan coating on ripening and quality of papaya cultivar ‘Red Maradol’. *Acta Horticulturae* 875: 89-96.
- Spayd, S; Tarara, J; Mee, D; Ferguson, J. 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *American Journal of Enology and Viticulture*. 53 (3): 171-182.
- Storey, R; Price, W. 1999. Microstructure of the skin of d'Agén plums. *Scientia Horticulturae* 81: 279-286.

- Tahir, I; Johansson, E; Olsson, M. 2009. Improvement of apple quality and storability by a combination of heat treatment and controlled atmosphere storage. *HortScience* 44(6): 1648–1654.
- Tang, J; Mitcham, E; Wang, S; Lurie, S. 2007. Heat treatments for postharvest pest control: theory and practice. CAB International, United States. 349 p.
- Teixeira, J; Rashid, Z; Tan, D; Sivakumar, D; Gera, A; Teixeira, M; Tennant, P. 2007. Papaya (*Carica papaya* L.) Biology and Biotechnology. *Tree and Forestry Science and Biotechnology* 1(1): 47-73.
- Thumdee, S; Manenoi, A; Chen, N; Paull, R. 2010. Papaya fruit softening: role of hydrolases. *Tropical Plant Biol.* 3:98–109.
- Umaña, G; Loría, C; Gómez, J. 2011. Efecto del grado de madurez y las condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de la papaya híbrido Pococí. *Agronomía Costarricense* 35(2): 61-73.
- Valero, D; Serrano, M. 2010. Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. CRC Press, United States. 255 p.
- Vermerris, V; Nicholson, R. 2006. Phenolic compound biochemistry. Springer, United States. 276p.
- Vitti, F; Natale, W; Ferreira, C; de Mello, R. 2003. Morfologia de frutos de goiabeira. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal* 25 (1): 32-34.
- Wang, S. 2006. Effect of pre-harvest conditions on antioxidant capacity in fruits. *Acta Horticulturae* 712: 299-306.
- Wang, S. 2007. Antioxidant capacity and phenolic content of berry fruits as affected by genotype, preharvest conditions, maturity, and postharvest handling. In: *Berry fruit: Value-added products for health promotion*. Taylor & Francis Group, United States. 410pp.
- Woolf, A; Bowen, J; Ferguson, I. 1999. Preharvest exposure to the sun influences postharvest responses of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology* 15: 143–153.
- Workneh, T; Azene, M; Tesfay, S. 2012. A review on the integrated agro-technology of papaya fruit. *African Journal of Biotechnology* 11(85): 15098-15110.
- Yingsanga, P; Srilaong, V; Kanlayanarat, S; McGlasson, W; Kabanoff, E; Noichinda, S. 2006. Morphological differences associated with water loss in rambutanfruit cv. 'Rongrien' and 'See-Chompoo'. *Acta Hort.* 712: 453-460.

- Yusof, S; Salleh. 1992. Physico-chemical response of papaya to waxing. *Acta Horticulturae* 292: 223-230.
- Zamora, J. 2012. Control de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en frutos de papaya (*Carica papaya* L) cv. Pococí mediante aplicaciones poscosecha de agua caliente y cloruro de calcio. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 104p.
- Zhang, Y ; Shu, H. 2003. The ultrastructure of epicuticular wax of cool-stored apples and superficial scald development. *Acta Hort.* 628: 509-512.
- Zhou, L; Christopher, D; Paull, R. 2000. Defoliation and fruit removal effects on papaya fruit production, sugar accumulation and sucrose metabolism. *Journal American Society of Horticultural Science* 125(5):644–652.
- Zhou, R; Mo, Y; Li, Y; Zhao, Y; Zhang, G; Hu, Y. 2008. Quality and internal characteristics of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua) treated with different kinds of coatings during storage. *Postharvest Biology and Technology* 49: 171–179.
- Zhou,L; Paull, R. 2001. Sucrose metabolism during papaya (*Carica papaya*) fruit growth and ripening. *Journal American Society of Horticultural Science* 126(3):351–357.

Anexos



Figura 1. Frutos de papaya Pococí en madurez de consumo. A: Fruto que presentó el punteado verde. B: Fruto con apariencia normal en la cáscara.

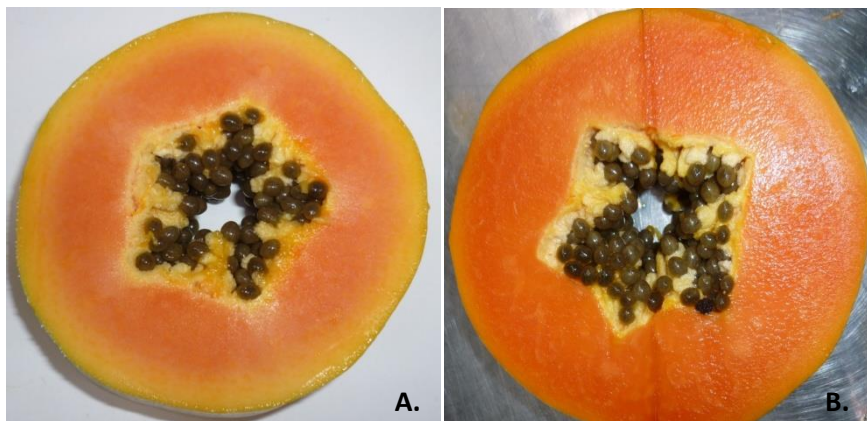


Figura 2. Cortes transversales de papaya Pococí en madurez de consumo y que fueron cosechadas en el mes de Julio. A: Pulpa que presenta problemas de suavizamiento. B: Pulpa con firmeza normal (Menor a 12N).



Figura 3. Daño provocado debido a la aplicación de tratamiento hidrotérmico en papaya Pococí cosechada en el mes de Noviembre luego de 14 días a 14°C. A: Cara expuesta al sol de un fruto tratado. B: Cara sombreada de un fruto tratado. C: Cara expuesta al sol de un fruto sin tratar (testigo). D: Cara sombreada de un fruto sin tratar (testigo).

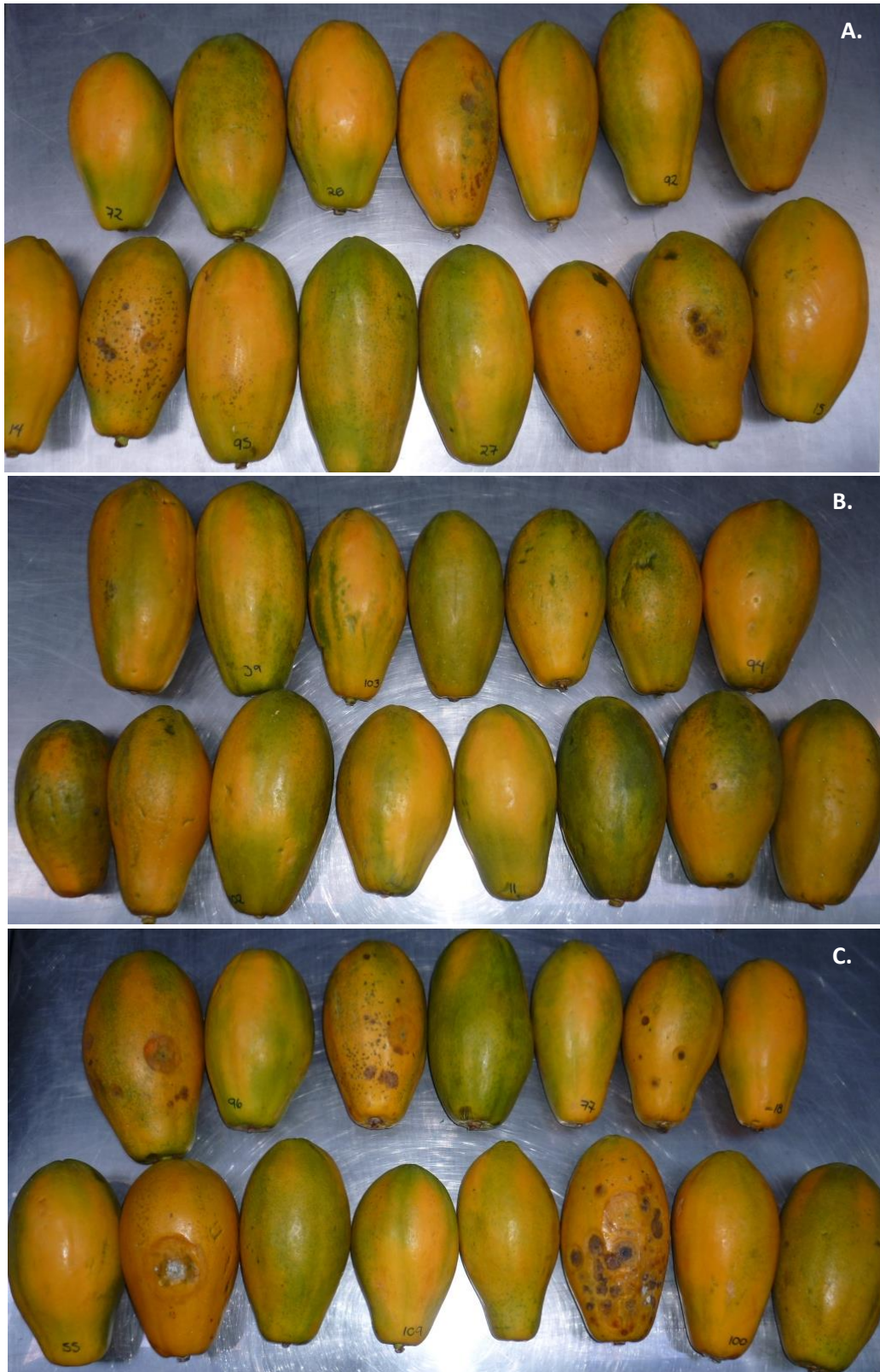


Figura 4. Comportamiento de diferentes tratamientos aplicados en Papaya Pococí en la madurez de consumo cosechada en el mes de Enero. A: Testigo. B: Tratamiento hidrotérmico. C: Aplicación de cera.

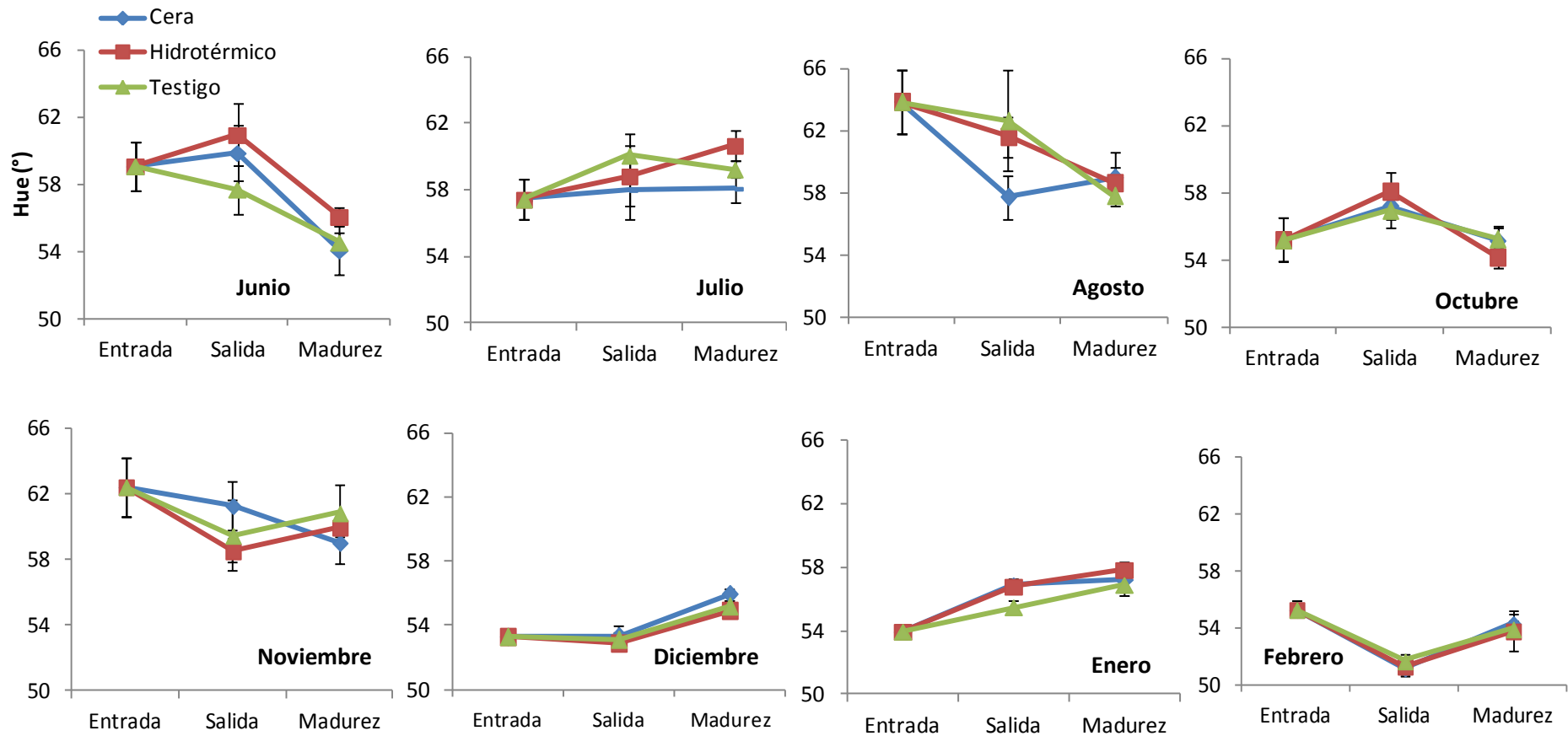


Figura 5. Hue en pulpa de papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara). Barras indican error estándar.

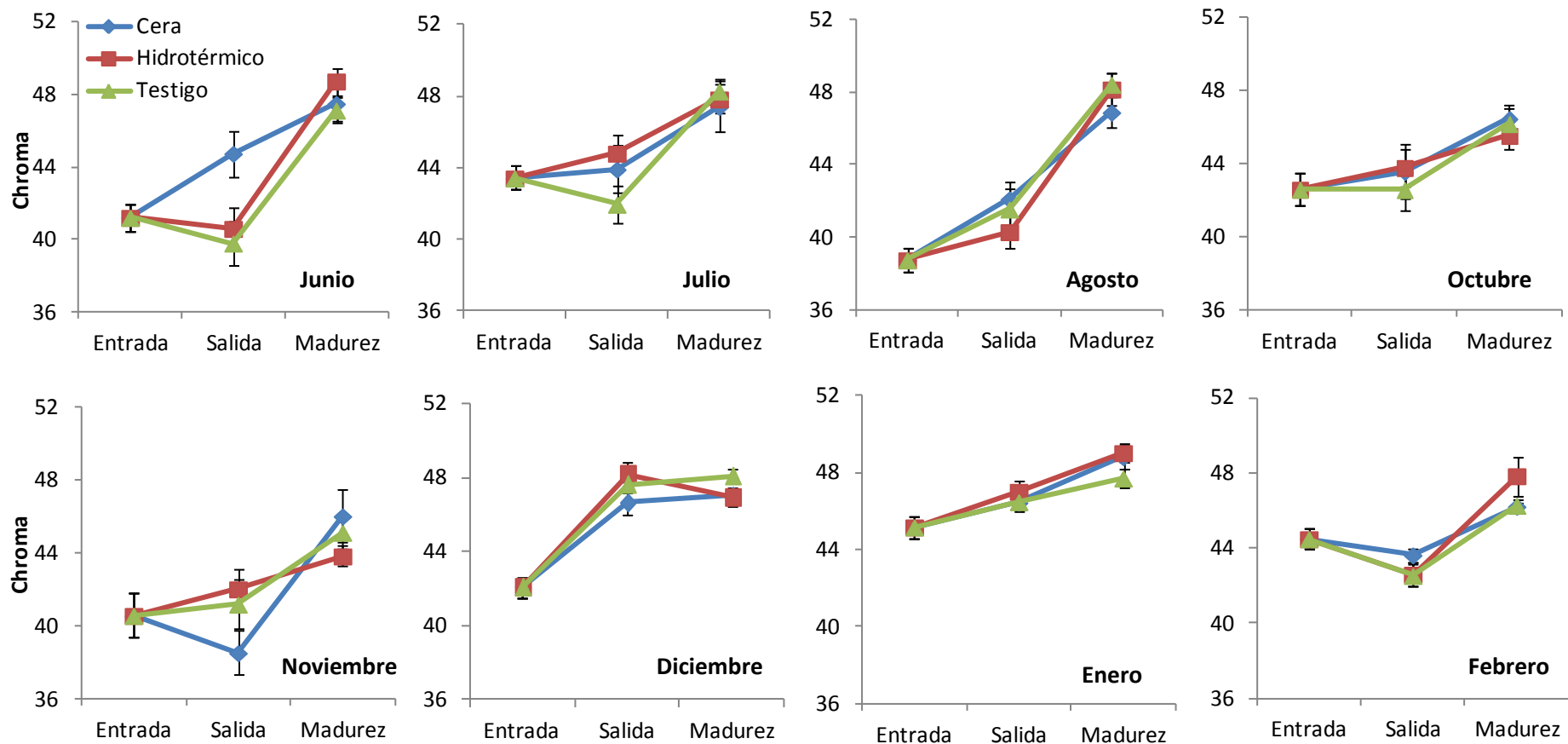


Figura 6. Chroma en pulpa de papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara). Barras indican error estándar.

Cuadro 1. L* de pulpa en papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Tratamientos	Evaluaciones		
		Entrada	Salida	Madurez
Jun	Cera	59,93	61,36 a	54,91 a
	Hidrotérmico	59,93	63,57 a	53,36 a
	Testigo	59,93	62,86 a	53,96 a
		$p \leq 0,05$	0,3906	0,4003
Jul	Cera	57,32	56,1 a	58,81 a
	Hidrotérmico	57,32	60,34 b	59,85 a
	Testigo	57,32	62,1 b	59,03 a
		$p \leq 0,05$	0,0028	0,6331
Ago	Cera	63,74	59,76 a	54,56 ab
	Hidrotérmico	63,74	62,16 a	57,49 b
	Testigo	63,74	61,63 a	54,16 a
		$p \leq 0,05$	0,3139	0,0327
Oct	Cera	58,85	58,53 a	52,78 b
	Hidrotérmico	58,85	59,47 a	50,98 a
	Testigo	58,85	58,34 a	50,28 a
		$p \leq 0,05$	0,6884	0,0203
Nov	Cera	59,18	61,27 a	54,92
	Hidrotérmico	59,18	60,07 a	58,26
	Testigo	59,18	60,04 a	57,27
		$p \leq 0,05$	0,6836	0,0626
Dic	Cera	54,93	51,93 a	55,71 a
	Hidrotérmico	54,93	50,2 a	54,75 a
	Testigo	54,93	52,12 a	55,06 a
		$p \leq 0,05$	0,1005	0,3163
Ene	Cera	58,17	56,38 b	54,11 a
	Hidrotérmico	58,17	54,35 a	54,31 a
	Testigo	58,17	54,34 a	53,95 a
		$p \leq 0,05$	0,0018	0,8998
Feb	Cera	56,67	53,84 b	52,17 a
	Hidrotérmico	56,67	50,13 a	52,72 a
	Testigo	56,67	52,33 ab	52,9 a
		$p \leq 0,05$	0,0157	0,7958

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Cuadro 2. Firmeza de cáscara en papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C+20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Tratamientos	Evaluación		
		Entrada	Salida	Madurez
Jun	Cera	86,48	72,64 a	54,35 b
	Hidrotérmico	86,48	74,83 a	31,83 a
	Testigo	86,48	74,95 a	44,54 ab
		$p \leq 0,05$	0,9058	0,0021
Jul	Cera	88,07	69,48 a	29,25 a
	Hidrotérmico	88,07	71,27 a	47,52 a
	Testigo	88,07	75,36 a	40,90 a
		$p \leq 0,05$	0,5285	0,2462
Ago	Cera	90,46	84,04 a	40,95 a
	Hidrotérmico	90,46	95,81 b	52,31 a
	Testigo	90,46	87,73 a	47,53 a
		$p \leq 0,05$	0,0012	0,5236
Oct	Cera	89,95	70,82 a	28,57 a
	Hidrotérmico	89,95	69,09 a	32,43 a
	Testigo	89,95	72,14 a	30,55 a
		$p \leq 0,05$	0,8884	0,7385
Nov	Cera	81,49	64,83 a	17,17 a
	Hidrotérmico	81,49	58,92 a	19,79 a
	Testigo	81,49	60,00 a	20,88 a
		$p \leq 0,05$	0,7299	0,6404
Dic	Cera	76,08	26,03 a	8,71 a
	Hidrotérmico	76,08	23,37 a	8,97 a
	Testigo	76,08	26,97 a	8,87 a
		$p \leq 0,05$	0,7647	0,9823
Ene	Cera	73,57	27,90 a	28,05 b
	Hidrotérmico	73,57	29,90 a	16,10 a
	Testigo	73,57	34,90 a	22,53 b
		$p \leq 0,05$	0,2155	0,0005
Feb	Cera	72,45	57,75 a	26,00 a
	Hidrotérmico	72,45	54,08 a	25,96 a
	Testigo	72,45	48,48 a	33,78 a
		$p \leq 0,05$	0,2506	0,3128

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Cuadro 3. Firmeza en pulpa en papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Tratamientos	Evaluación		
		Entrada	Salida	Madurez
Jun	Cera	74,75	59,93 a	43,65 b
	Hidrotérmico	74,75	65,80 a	24,37 a
	Testigo	74,75	64,64 a	35,46 ab
		$p \leq 0,05$	0,4718	0,0022
Jul	Cera	77,6	57,63 a	23,50 a
	Hidrotérmico	77,6	60,41 a	33,35 a
	Testigo	77,6	62,95 a	31,37 a
		$p \leq 0,05$	0,5638	0,6768
Ago	Cera	78,55	72,60 ab	27,50 a
	Hidrotérmico	78,55	79,19 b	39,50 a
	Testigo	78,55	70,45 a	35,66 a
		$p \leq 0,05$	0,0333	0,4285
Oct	Cera	73,82	55,14 a	15,14 a
	Hidrotérmico	73,82	59,25 a	24,80 b
	Testigo	73,82	56,68 a	21,07 ab
		$p \leq 0,05$	0,8384	0,0758
Nov	Cera	67,33	53,05 a	11,17 a
	Hidrotérmico	67,33	45,29 a	11,31 a
	Testigo	67,33	46,71 a	12,00 a
		$p \leq 0,05$	0,5812	0,9473
Dic	Cera	61,73	17,20 a	4,13 a
	Hidrotérmico	61,73	14,43 a	4,42 a
	Testigo	61,73	17,17 a	4,67 a
		$p \leq 0,05$	0,7766	0,7806
Ene	Cera	63,19	18,40 a	18,07 b
	Hidrotérmico	63,19	19,03 ab	8,37 a
	Testigo	63,19	25,67 b	13,48 b
		$p \leq 0,05$	0,08	0,0006
Feb	Cera	63,65	41,05 a	18,44 a
	Hidrotérmico	63,65	39,05 a	16,48 a
	Testigo	63,65	37,67 a	24,38 a
		$p \leq 0,05$	0,8062	0,207

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Cuadro 4. Porcentaje de pérdida de peso en papaya Pococí tratada con cera, tratamiento hidrotérmico y frutos sin tratar (testigo) cosechada en diferentes meses y evaluada a la entrada de cámara (0 días de almacenamiento), salida de cámara (14 días de almacenamiento a 14°C) y madurez (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar al menos 75% de color amarillo en la cáscara).

Mes	Testigo		Cera		Hidrotérmico	
	Salida	Madurez	Salida	Madurez	Salida	Madurez
Jul	1,87 a	4,08 b	1,89 a	3,56 a	2,33 a	4,61 bc
Ago	2,17 ab	4,46 cd	2,06 ab	3,84 ab	2,78 bcd	5,53 d
Oct	2,21 b	3,53 a	2,12 bc	3,42 a	2,48 ab	4,11 a
Nov	2,64 c	4,72 d	2,43 de	4,92 c	3,05 cde	6,02 e
Dic	2,46 bc	3,96 ab	2,47 e	4,23 b	3,16 e	4,63 bc
Ene	2,34 b	3,88 ab	2,24 bcd	3,53 a	2,69 bc	4,39 ab
Feb	2,48 bc	4,20 bc	2,32 cde	3,80 ab	3,12 de	4,96 c
<i>p</i> ≤ 0,05	0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Mes	<0,0001	<0,0001				
Trat	<0,0001	<0,0001				
Mes x Trat	0,5426	0,0160				

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

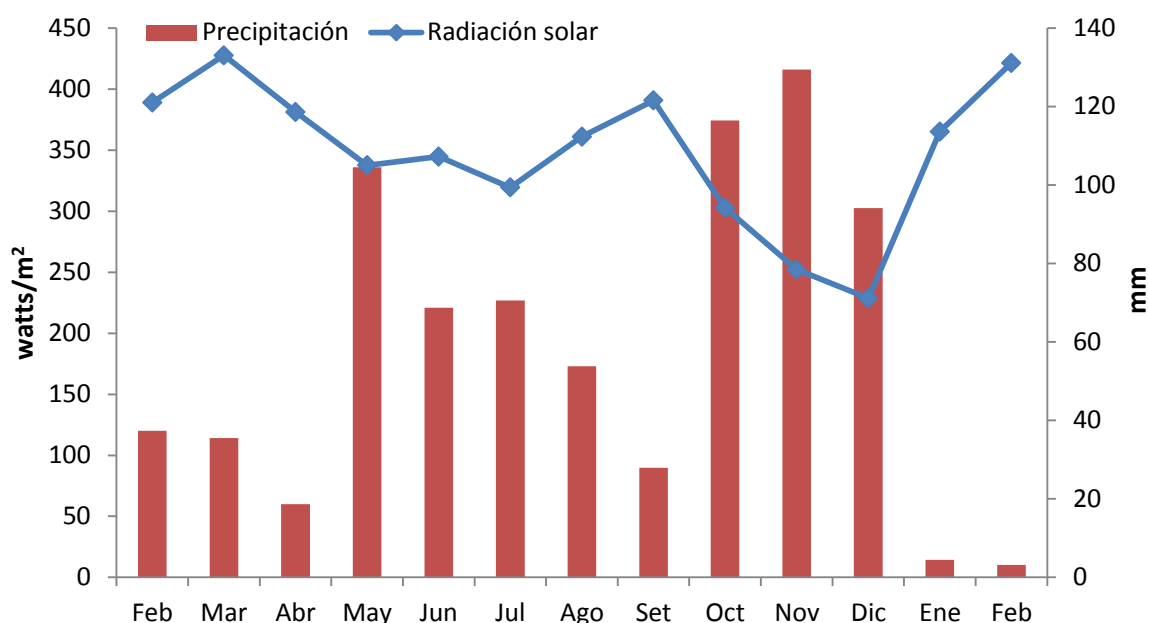


Figura 7. Promedios mensuales de radiación solar y precipitación durante el periodo de Febrero del 2011 y Febrero del 2012 en la zona de La Rita, Pococí, Limón.

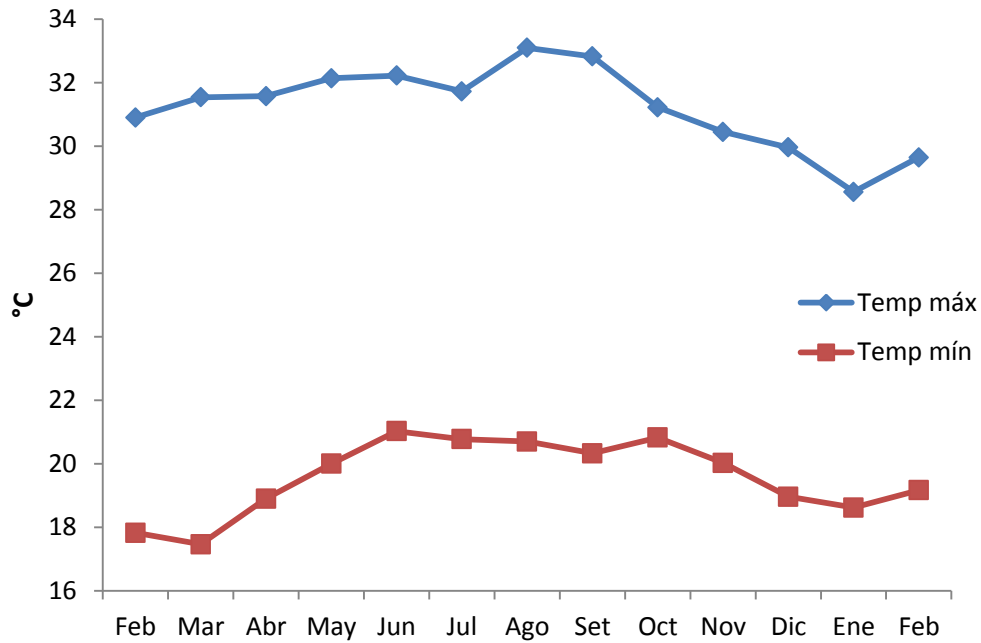


Figura 8. Promedios mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de Febrero del 2011 y Febrero del 2012 en la zona de La Rita, Pococí, Limón.

Cuadro 5. Datos climáticos de la zona de La Rita, Pococí, Limón, durante el periodo de Junio del 2011 a Febrero del 2012 7 días antes de la cosecha de papaya Pococí.

Cosecha	Mes	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humedad (%)	Radiación solar (watts/m ²)	Precipitación (mm)
24 Jun	Junio	32,20	21,20	92,40	315,00	82,00
28 Jul	Julio	31,95	20,35	92,97	302,00	78,70
30 Ago	Agosto	33,30	20,50	88,34	412,00	55,80
3 Oct	Octubre	33,40	20,60	89,78	373,00	13,40
2 Nov	Noviembre	31,30	20,50	91,04	303,00	116,60
5 Dic	Diciembre	29,40	19,20	92,26	166,00	78,60
12 Ene	Enero	27,49	18,41	90,21	341,00	5,26
13 Feb	Febrero	29,59	20,19	88,84	388,71	6,89

Cuadro 6. Promedios y desviación estándar para las diferentes variables poscosecha evaluadas en frutos de papaya híbrido Pococí (testigo) a la entrada de cámara, salida de cámara (14 días a 14°C) y madurez de cosecha (14 días a 14°C + 20°C hasta alcanzar 75% de amarillamiento en la cáscara), en diferentes meses de cosecha

Mes	Evaluación	% Amarillamiento	Escala	% Pérdida Peso	Firmeza Cáscara	Firmeza pulpa	Hue pulpa	Chroma pulpa	L* pulpa	Brix
Jun	Entrada	24,69 ± 4,17	2,00 ± 1,03	0,00 ± 0,00	86,48 ± 6,00	74,75 ± 6,04	59,08 ± 5,72	41,19 ± 3,14	59,93 ± 3,27	9,89 ± 0,78
	Salida	36,82 ± 7,51	3,18 ± 0,00	0,00 ± 0,00	74,95 ± 16,07	64,64 ± 11,92	57,69 ± 4,87	39,77 ± 4,09	62,86 ± 4,59	9,54 ± 0,64
	Madurez	75,71 ± 6,07	6,00 ± 0,60	0,00 ± 0,00	44,54 ± 23,14	35,46 ± 20,02	54,53 ± 1,47	47,12 ± 1,90	53,96 ± 3,27	8,26 ± 0,75
Jul	Entrada	24,71 ± 3,74	2,00 ± 0,58	0,00 ± 0,00	88,07 ± 6,12	77,60 ± 7,65	57,45 ± 5,06	43,43 ± 2,68	57,32 ± 3,19	8,31 ± 1,02
	Salida	37,73 ± 7,54	3,18 ± 0,00	1,87 ± 0,19	75,36 ± 5,53	62,95 ± 8,00	60,09 ± 4,3	41,96 ± 3,53	62,10 ± 3,11	9,25 ± 0,8
	Madurez	83,46 ± 5,91	6,54 ± 0,60	4,08 ± 0,57	40,90 ± 15,39	31,37 ± 15,09	59,26 ± 1,85	48,29 ± 2,34	59,03 ± 1,65	9,08 ± 0,75
Ago	Entrada	22,56 ± 4,96	2,00 ± 0,52	0,00 ± 0,00	90,46 ± 8,90	78,55 ± 11,10	63,86 ± 9,31	38,75 ± 2,84	63,74 ± 3,82	8,36 ± 0,66
	Salida	31,36 ± 12,67	2,73 ± 0,00	2,17 ± 0,29	87,73 ± 7,16	70,45 ± 5,02	62,63 ± 10,7	41,56 ± 3,83	61,63 ± 6,26	8,86 ± 0,82
	Madurez	86,25 ± 7,91	6,63 ± 1,01	4,46 ± 0,22	47,53 ± 15,05	35,66 ± 12,23	57,82 ± 1,81	48,46 ± 1,78	54,16 ± 1,80	8,66 ± 1,01
Oct	Entrada	22,84 ± 3,89	2,00 ± 0,52	0,00 ± 0,00	89,95 ± 7,13	73,82 ± 8,52	55,17 ± 5,69	42,62 ± 3,83	58,85 ± 3,40	8,81 ± 0,68
	Salida	42,27 ± 10,81	3,45 ± 0,00	2,21 ± 0,22	72,14 ± 15,09	56,68 ± 15,32	56,93 ± 3,39	42,60 ± 3,80	58,34 ± 3,84	9,61 ± 1,05
	Madurez	80,00 ± 11,83	6,18 ± 0,82	3,88 ± 0,37	30,55 ± 10,36	21,07 ± 9,59	55,23 ± 2,55	46,22 ± 2,74	50,28 ± 2,05	9,74 ± 0,79
Nov	Entrada	23,42 ± 4,65	2,00 ± 1,08	0,00 ± 0,00	81,49 ± 13,44	67,33 ± 13,53	62,49 ± 7,82	40,59 ± 5,24	59,18 ± 5,26	10,39 ± 0,97
	Salida	38,75 ± 9,08	3,25 ± 0,00	2,64 ± 0,56	60,00 ± 20,03	46,71 ± 21,72	59,51 ± 7,34	41,21 ± 4,83	60,04 ± 4,73	8,98 ± 0,78
	Madurez	78,33 ± 6,83	6,00 ± 0,75	4,72 ± 0,61	20,88 ± 8,62	12,00 ± 7,67	60,89 ± 4,15	45,16 ± 2,34	57,27 ± 2,57	9,50 ± 0,99
Dic	Entrada	21,29 ± 3,69	2,00 ± 0,63	0,00 ± 0,00	76,08 ± 11,72	61,73 ± 13,32	53,29 ± 1,58	42,07 ± 2,69	54,93 ± 6,58	10,31 ± 0,96
	Salida	38,33 ± 4,50	3,20 ± 0,00	2,46 ± 0,29	26,97 ± 14,71	17,17 ± 13,11	53,12 ± 1,62	47,63 ± 1,76	52,12 ± 2,20	10,20 ± 0,83
	Madurez	84,00 ± 7,12	6,47 ± 0,41	3,96 ± 0,56	8,87 ± 4,51	4,67 ± 2,67	55,20 ± 1,33	48,09 ± 1,45	55,06 ± 1,46	9,82 ± 0,64
Ene	Entrada	18,21 ± 3,05	2,00 ± 0,64	0,00 ± 0,00	73,57 ± 7,32	63,19 ± 5,40	53,94 ± 2,06	44,88 ± 2,13	58,17 ± 2,16	11,24 ± 1,03
	Salida	32,67 ± 6,78	2,80 ± 0,00	2,34 ± 0,50	34,90 ± 16,05	25,67 ± 14,77	55,49 ± 1,71	46,47 ± 1,66	54,34 ± 2,00	10,22 ± 0,78
	Madurez	71,00 ± 16,92	5,67 ± 0,56	4,07 ± 0,58	22,53 ± 7,98	13,48 ± 6,39	56,90 ± 2,38	47,70 ± 1,84	53,95 ± 2,15	10,65 ± 0,94
Feb	Entrada	20,52 ± 3,57	2,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	72,45 ± 7,51	63,65 ± 7,15	55,31 ± 2,94	44,48 ± 2,53	56,67 ± 2,45	11,31 ± 0,96
	Salida	45,67 ± 13,87	3,80 ± 1,08	2,48 ± 0,38	48,48 ± 15,60	37,67 ± 14,38	51,68 ± 1,71	42,52 ± 2,27	52,33 ± 2,55	12,37 ± 0,93
	Madurez	83,67 ± 13,82	6,27 ± 1,40	4,20 ± 0,58	33,78 ± 15,34	24,38 ± 14,06	53,94 ± 2,26	46,26 ± 1,13	52,90 ± 2,04	10,55 ± 0,59