

Efecto del uso de lámina comestible en las propiedades fisicoquímicas de la *Carica papaya* almacenadas a temperatura ambiente

Por

Sandra Michelle Santiago Mena

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

En

CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
Recinto Universitario de Mayagüez
Facultad de Ciencias Agrícolas
2016

Aprobada por

María de L. Plaza, Ph.D
Presidente del Comité Graduado

Fecha

Lynette E. Orellana Feliciano, Ph.D
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Félix Román, M.S.
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Katherine Carrero Figueroa, M.S.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Aixa Rivera, Ph. D
Coordinadora
Programa Ciencia y Tecnología de Alimentos

Fecha

ABSTRACT

Papaya (*Carica papaya L.*), also known as “lechosa” in Puerto Rico, is a fruit cultivated in tropical and sub-tropical regions worldwide and consumed fresh or processed. The shape varies from round to ovoid and its weight depends on the variety. The papaya fruit have a relatively short postharvest shelf life due to rapid ripening and onset of decay. Our objective was to determine if the shelf life of whole papaya fruit could be extended with the use of edible films. Two edible film were used: carnauba wax with 2% potassium sorbate, and; 2% chitosan both applied by dipping method; an untreated control was included. After treatment the fruit were stored at $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ for twelve days. Microbial evaluation and physico-chemicals analysis were conducted every three days after treatment. Microbial evaluation included yeast and mold count using PetriFilms 3M®. Physical analysis included: weight loss (gravimetric method), external appearance, texture (TA-XT2) and color (MiniScan XE). Chemical analysis included: water activity (Aqualab CX-2), °Brix (AOAC 932.14 Method), pH (AOAC 981.12) and vitamin C (AOAC 967.21). Papayas treated with the film-based carnauba wax had a lower microbial load; however papayas treated with chitosan had better appearance throughout the storage period. No significant differences between treatments in weight loss, texture, color, pH were found, and °Brix; if there were slight differences in the values of a_w and vitamin C. This research showed that the use of an edible film made of carnauba wax with potassium sorbate reduce the yeast and mold growth in papayas surface without affecting the physico-chemical properties of papaya during storage at $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Key words: papaya, edible films, shelf life

RESUMEN

La papaya (*Carica papaya* L.), también conocido como "lechosa" en Puerto Rico, es una fruta cultivada en regiones tropicales y subtropicales en todo el mundo y se consume fresca o procesada. La forma varía de redondo a ovoide y su peso depende de la variedad. La fruta de papaya tiene una vida útil relativamente corta después de la cosecha debido a la rápida maduración y la aparición de deterioro. Nuestro objetivo fue determinar si la vida útil de la fruta de papaya entera se puede extender utilizando películas comestibles. Se utilizaron dos películas comestibles: cera de carnauba con sorbato de potasio al 2 %, y quitosano al 2 %, ambos aplicados por el método de inmersión; se incluyó un grupo sin tratar (grupo control). Luego de la aplicación de los tratamientos, los frutos fueron almacenados a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante doce días. La evaluación microbiana y análisis físico-químicos se llevaron a cabo cada tres días después de los tratamientos. La evaluación microbiana incluyó recuento de hongos y levaduras usando PetriFilms 3M[®]. Los análisis físicos incluyeron: pérdida de peso (método gravimétrico), aspecto externo, textura (TA-XT2) y color (MiniScan XE). Los análisis químicos incluyeron: actividad de agua (Aqualab CX-2), °Brix (AOAC 932.14), pH (AOAC 981.12) y Vitamina C (AOAC 967.21). Las papayas tratadas con la película a base de cera de carnauba tuvieron una menor carga microbiana; sin embargo, las papayas tratadas con quitosano tuvieron un mejor aspecto durante todo el período de almacenamiento. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en la pérdida de peso, textura, color, pH, y °Brix; si hubo leves diferencias en los valores de a_w y vitamina C. Esta investigación demostró que el uso de una película comestible de cera carnauba con sorbato de potasio reduce el crecimiento de hongos y levaduras en la superficie de las papayas sin afectar sus propiedades físico-químicas durante el periodo de almacenamiento a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Palabras clave: papaya, películas comestibles, vida útil

Derechos del Autor Reservados©
Sandra Michelle Santiago Mena
2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar al final de esta investigación, por ser mi guía y fortaleza.

A la Finca González por la donación de todas las papayas utilizadas en esta investigación.

Al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, en especial a la Dra. María Plaza, a la Dra. Lynette Orellana y al Sr. Jaime Reyes por brindarme su confianza, su total cooperación y ayuda durante todo el proceso investigativo en este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

Abstract	ii
Resumen	iii
Agradecimientos	vi
Lista de Figuras	x
Lista de Tablas	xi
Lista de Símbolos	xii
1. Introducción	1
2. Revisión de Literatura	2
2.1. <i>Carica papaya</i>	4
2.1.1. Variedad Tainung 1	5
2.1.2. Factores precosecha	5
2.1.3. Criterios de calidad	6
2.1.4. Operación de cosecha	6
2.1.5. Post-cosecha	7
2.1.6. Problemas post-cosecha	7
2.1.6.1. Antracnosis	8
2.1.7. Condiciones de almacenamiento	9
2.1.8. Respiración	10
2.2. Lámina comestible	10
2.2.1. Elaboración de láminas comestibles	11
2.2.2. Uso de láminas comestibles	12
2.3. Quitosano	13
2.4. Ceras	14
2.4.1. Cera de Carnauba	16
2.4.1.1. Composición	17
2.5. Parámetros de Calidad de la papaya.....	17
2.5.1. Apariencia externa	17
2.5.2. Textura	17
2.5.3. Color	18

2.5.4.	Vitamina C	19
2.5.5.	Sólidos solubles totales	20
2.5.6.	Actividad de agua	20
2.5.7.	pH	21
2.5.8.	Análisis microbiológico	22
3.	Materiales y Métodos	23
3.1.	Diseño experimental	23
3.2.	Obtención de la papaya	23
3.3.	Elaboración de lámina comestible	24
3.3.1.	Cera de Carnauba	24
3.3.2.	Quitano.....	25
3.3.3.	Aplicación de la lámina (película) comestible	25
3.4.	Pruebas Microbiológicas	25
3.5.	Pruebas Fisicoquímicas	25
3.5.1.	Pérdida de peso	25
3.5.2.	Color	26
3.5.3.	Textura	27
3.6.	Apariencia.....	27
3.7.	Análisis Químico	27
3.7.1.	pH	27
3.7.2.	Vitamina C (Ácido ascórbico)	27
3.7.3.	Sólidos solubles totales (Grados Brix)	28
3.7.4.	Actividad de agua (a_w)	29
3.7	Análisis Estadístico	29
4.	Resultados y Discusión	29
4.1.	Apariencia	29
4.2.	Análisis microbiológico	30
4.3.	Pérdida de peso y textura	34
4.4.	Color	37
4.5.	Análisis químico	40
5.	Conclusiones	44
	Literatura citada	46

Lista de Figuras

Figura 1. Apariencia de papayas con los diferentes tratamientos, y tiempo de almacenamiento.....	31
Figura 2: Crecimiento de hongos (log UFC/g) con respecto al día de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	33
Figura 3: Crecimiento de levaduras (log UFC/g) con respecto al día de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	34
Figura 4: Pérdida de peso (%) con respecto a días de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	36
Figura 5: Distancia de compresión (mm) con respecto a días de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	36
Figura 6: Luminosidad (L^*) de papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ con respecto al día de muestreo para cada tratamiento.....	38
Figura 7: Valor Chroma (saturación) de papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ con respecto al día de muestreo para cada tratamiento.....	39
Figura 8: Valor de $^{\circ}\text{Hue}$ (tono) de papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ con respecto al día de muestreo para cada tratamiento.....	39
Figura 9: Valor de pH con respecto al día de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	42
Figura 10: Valor de a_w con respecto al día de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	43
Figura 11: Valor de $^{\circ}\text{Brix}$ con respecto al día de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	43
Figura 12: Valor de vitamina C (mg/100g) con respecto al día de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	44
Figura 13 : Grado de maduración beta de la papaya tipo híbrida variedad Tainung-1.....	54

Lista de Tablas

Tabla 1. Recuento de hongos y levaduras en superficie de papayas con los diferentes tratamientos bajo el periodo de incubación a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	31
Tabla 2. Recuento de hongos y levaduras en superficie de papayas en el tiempo bajo el periodo de incubación a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	31
Tabla 3. Porcentaje de pérdida de peso y textura de papayas con los diferentes tratamientos.....	32
Tabla 4. Porcentaje de pérdida de peso y textura de papayas en el tiempo de almacenamiento.....	32
Tabla 5. Parámetros de color de la parte interna de papayas con los diferentes tratamientos.....	33
Tabla 6. Parámetros de color de la parte interna de papayas durante el tiempo de almacenamiento.....	33
Tabla 7. pH, a_w , %Brix, y vitamina C en papayas bajo los diferentes tratamientos.....	34
Tabla 8. pH, a_w , %Brix, y vitamina C de papayas durante el tiempo de almacenamiento.....	35
Tabla 9: Clasificación de productos hortícolas de acuerdo a sus tasas de respiración.....	43
Tabla 10: Clasificación de algunos frutos de acuerdo a su comportamiento respiratorio durante la maduración.....	43

Lista de Símbolos

L: litro

ml: mililitros

g: gramos

mg: miligramos

mm: milímetros

s: segundos

°C: grados Celsius

UFC: unidades formadoras de colonias

1. Introducción

La papaya (*Carica papaya*) es una fruta tropical originaria de América Central, con posterior extensión a todos los países tropicales, como las Antillas y Brasil, entre otros (Lobo, 1995). Debido a que la papaya se considera un alimento perecedero y el tiempo de vida útil es corto, es necesario crear algún tipo de recubrimiento que permita alargar el tiempo de duración en buen estado del fruto sin alterar sus propiedades físico-químicas, creándole así una apariencia atractiva y agradable al consumidor. Se sabe que la papaya es uno de los frutos más consumidos y apetecidos por las personas debido a las diversas propiedades nutricionales y medicinales que posee, además de su agradable sabor, aroma y textura.

Uno de los métodos más utilizados para la preservación de las frutas en su estado fresco es el recubrirlas con una lámina comestible. La misma se utiliza con el propósito de mantener las características organolépticas de las frutas, o del alimento en el que es utilizado, por una mayor cantidad de tiempo. La función de las láminas comestibles es brindarle una protección mecánica al alimento, prevenir la contaminación por microorganismos, prevenir la pérdida de calidad debido a la transferencia de masa, ya sea humedad, gases y sabor, entre otros. Además se utiliza para incorporarle al alimento agentes antimicrobiales (ya sean naturales o químicos), antioxidantes, enzimas o ingredientes funcionales como probióticos, minerales y vitaminas. Las láminas comestibles son clasificadas en tres categorías dependiendo de la naturaleza de sus componentes. Las mismas son hidrocoloides (contienen proteínas, polisacáridos o alginatos), lípidos (compuestos de ácidos grasos, acilgliceroles o ceras) y compuestos ("composites") (hechas por la combinación de sustancias de las dos categorías anteriores) (Skurtys et. al., 2010).

Los objetivos de la siguiente investigación son: general, se busca extender el largo de vida útil de las papayas frescas almacenadas a una temperatura de $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$; secundarios, determinar el largo de vida útil de las papayas mediante pruebas microbiológicas, y determinar el efecto de las láminas comestibles en las propiedades físico-químicas de las papayas.

2. Revisión de literatura

La papaya es también conocida comúnmente como lechosa en Venezuela y Puerto Rico, fruta bomba en Cuba y mamao en Brasil. Es una de las frutas tropicales más apetecidas por su suave y agradable sabor y las propiedades nutritivas, digestivas y medicinales que se le atribuyen. Su cultivo es atractivo para el agricultor ya que tiene ventajas sobre otros frutales, en especial su corto período entre siembra y cosecha, su alto rendimiento, una producción continua y el bajo desarrollo de la planta, que le permite ser intercalada con otros árboles frutales (Arango y Román, 1999a) . Fue descrita por primera vez por el cronista español Oviedo en 1526 en la Costa Caribe de Panamá y Colombia. A Panamá llegó en 1535, a Puerto Rico en 1540 y unos años después a Cuba. Para 1611 se cultivaba en la India y a partir del 1800 fue ampliamente distribuida en las islas del sur del Océano Pacífico (Arango, 1999).

La papaya es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia Caricaceae. Esta familia tiene 4 géneros con 71 especies. Un alto número de especies del género *Carica* son nativos de América Central y la zona noroccidental de América del Sur, principalmente de los valles húmedos de los Andes (Arango, 1999). Las condiciones óptimas para su desarrollo se encuentran en regiones donde la temperatura promedio de 22° y 28°C . La planta es sensible a las bajas temperaturas y es afectada severamente por temperaturas de 0°C pero se requieren exposiciones a

más bajas temperaturas para matar una planta adulta. Cuando se cultiva en regiones cálidas su crecimiento es más rápido y los frutos son de mejor calidad comparado con los cultivados en regiones más frías. Cuando la temperatura está por debajo de los requisitos óptimos se retarda el crecimiento de la planta y el fruto, causando una disminución en su producción y una desmejorada calidad del mismo (Arango y Román, 1999b).

Esta fruta se consume principalmente como fruta fresca, por su excelente sabor y textura. Es muy solicitada porque además de ser agradable, posee un alto contenido de nutrientes. Lo que hace sobresalir la papaya por sus características medicinales son: el contenido de vitaminas, minerales y proteínas, principalmente para el tratamiento de enfermedades gástricas. Su valor nutritivo es alto: 100 gramos de pulpa suministran los requerimientos mínimos diarios de vitamina C y la mitad de la vitamina A; además posee vitaminas del complejo B (B1, B6 y B12). Si se consume diariamente contribuye a estabilizar la presión arterial y el relajamiento muscular (Arango y Román, 1999a).

En la actualidad, la papaya se cultiva en todas las zonas tropicales y subtropicales del mundo. Según reportes de la FAO (Food and Agriculture Organization), la producción mundial de papaya es de unos 5 millones de toneladas al año, de los cuales Brasil produce 1.7 millones, un 34 %, ocupando el primer lugar. Le sigue México y la India con 500,000 toneladas en promedio. Indonesia, Perú, China y Tailandia producen entre 100,000 y 300,000 toneladas anuales. Filipinas, Venezuela y Colombia producen alrededor de 65,000 toneladas. Todos los países mencionados se destacan entre los 10 primeros países productores en el mundo (FAO, 1999).

2.1 *Carica papaya*

La papaya es un fruto (baya) de forma ovoide que varía de casi esférica a oblonga o periforme. La cavidad que posee puede ser de tamaño pequeño o mayor que la mitad del diámetro del fruto. En esta cavidad puede contener desde una gran cantidad de semillas a ninguna. Su pulpa es de color amarillo anaranjado o rojizo, succulenta, aromática, dulce y de un agradable sabor (Arias y Toledo, 2007d). Debido a las propiedades digestivas, nutricionales y medicinales, la papaya (*Carica papaya*) es una de las frutas más apetecidas por los consumidores.

La papaya al ser un fruto climatérico es altamente perecedero y muy susceptible a ser atacado por microorganismos patógenos (organismos que pueden causar enfermedad), los cuales son los causales de las grandes pérdidas post-cosecha del mismo (Barrera et. al., 2012). Las frutas climatéricas incrementan su ritmo respiratorio y producción de etileno marcadamente durante la maduración organoléptica. Los cambios asociados con esta etapa de desarrollo (color, sabor, aroma, textura) son rápidos, intensos y variados (Arias y Toledo, 2007b). Los cambios se pueden clasificar en: (a) desarrollo del color: con la maduración por lo general disminuye el color verde de las frutas debido a que disminuye el contenido de clorofila y aumenta la síntesis de pigmentos color amarillo, anaranjado y rojo (carotenoides y antocianinas), dándole un aspecto más atractivo a la fruta (Arias y Toledo, 2007c); (b) desarrollo del sabor y aroma: debido a la hidrólisis de los almidones que se transforman en azúcares, la desaparición de los taninos y otros productos de sabor astringente, y por la disminución de la acidez por la degradación de ácidos orgánicos es que ocurre el cambio en sabor de las frutas. El olor o aroma característico de las frutas es desarrollado por la formación de compuestos volátiles (Arias y Toledo, 2007c); y (c)

cambios en firmeza: la textura de las frutas cambia debido a la hidrólisis de los almidones y las pectinas, por la reducción del contenido de fibra y por los procesos que degradan las paredes celulares. Durante el manejo post-cosecha es cuando las frutas se tornan blandas y con mayor susceptibilidad al daño (Arias y Toledo, 2007c). Luego de cosechadas, las frutas sufren deterioro debido a infecciones por hongos, desordenes fisiológicos y lesiones físicas (No et. al., 2007)

Con el fin de conservar y alargar la vida útil de la papaya se han observado y estudiado diferentes métodos, esto sin que se vea afectada las propiedades organolépticas y fisicoquímicas del fruto. Entre los métodos se encuentra la aplicación de bicarbonato de sodio (Gamage et. al., 2003), almacenamiento bajo atmósfera modificada (González et. al., 2003) y recubrimiento con láminas comestibles (Bourtoom, 2008), entre otros.

2.1.1 Variedad Tainung 1

Es una papaya tipo híbrida, también conocida como Formosa. Se obtuvo en la isla de Taiwán y surge del cruce de la variedad Solo y una selección de Costa Rica. Los frutos son alargados (hermafroditas) o redondeados (fémimas), de tamaño mediano a grande, con un peso de aproximadamente 1 kilogramo (kg). La pulpa de la misma es de color anaranjada-rojiza, de muy buen sabor, y apropiada para el consumo local y exportación a ciertos mercados (Arana y Quijano, 2012).

2.1.2 Factores pre-cosecha

Las características y la calidad de la papaya antes de ser cosechada van a depender en gran medida de la forma en que fue cultivada. Su tamaño, el color de la pulpa, la textura y el tamaño de la cavidad del fruto dependen de la variedad de la papaya cultivada. La forma va a estar influenciada por la procedencia de una flor femenina o hermafrodita. Las deficiencias

nutricionales van a producir algunas alteraciones en el aspecto y la calidad de la papaya, como por ejemplo la deficiencia en boro que le produce protuberancias en la fruta afectando su calidad y presentación. La obtención de frutos de tamaño y calidad adecuados para los mercados, son el resultado de un buen manejo en el cultivo (Arias y Toledo, 2007d).

2.1.3 Criterios de calidad

La calidad de la papaya depende de su modo de limpieza y de su aspecto en general. No debe contener daños, ni defectos objetables desde el punto de vista comercial y sanitario. La madurez debe ser tal que permita su comercialización en un tiempo razonable al igual que satisfaga los requerimientos del consumidor. Si la papaya es destinada a ser exportada, debe cumplir con los requisitos de calidad, sanidad, empaque y presentación que sean exigidos por el país que las reciba (Arias y Toledo, 2007d).

2.1.4 Operación de cosecha

La papaya es cosechada manualmente, haciendo una ligera torsión para poder ser desprendida de la planta. Sin embargo, esto puede ocasionar desgarramiento y heridas en el punto de desprendimiento de la fruta, por lo que es recomendado utilizar una cuchilla curva para cortar el pedúnculo del fruto. La cuchilla de cosecha deber ser desinfectada frecuentemente para así evitar la diseminación de enfermedades.

Una vez la fruta es cosechada debe ser transportada lo más rápido posible al centro de selección y empaque, o a los centros de distribución y consumo, evitando exponerlas directamente a los rayos del sol y protegiéndolas de las incidencias del tiempo, antes y durante el transporte. Por la fragilidad que posee la papaya en su cáscara y el fruto en general, debe ser manejada con el mayor cuidado para evitar cualquier daño físico. Los golpes, magulladuras,

abrasiones y cortes, aumentan el ritmo de maduración y deterioro fisiológico y patológico del producto cosechado desmereciendo su calidad comercial (Arias y Toledo, 2007d).

2.1.5 Post-cosecha

Entre la etapa de cosecha y consumo ocurren pérdidas las cuales afectan los productos hortícolas. La magnitud de estas pérdidas se estima que son entre un 5 a 25% en países desarrollados, y de una 20 a 50% en países en vías de desarrollo, y esto es dependiendo del tipo de producto (Kader, 1992).

Las frutas frescas son tejidos vivos los cuales sufren cambios continuos luego de cosechados. Estos cambios no pueden ser detenidos, pero si desacelerados dentro de ciertos límites. La senescencia es la etapa final en el desarrollo de los órganos vegetales y en donde ocurren una serie de cambios irreversibles los cuales llevan al fruto a la desintegración y muerte de sus células (Kader, 1992).

2.1.6 Problemas post-cosecha

Debido a que la papaya es una fruta muy perecedera, se ha reportado datos de pérdidas post-cosecha considerables, tanto físicas como de calidad. Para el 1991, según un estudio realizado por el Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA) de Costa Rica, en los primeros meses de dicho año, se presentaron en la papaya pérdidas totales hasta de un 52%. De éste 52%, el 33% fue debido a las pérdidas físicas (evaluadas en las fases desde cosecha hasta detallista) y un 19% se debió a las pérdidas por calidad (evaluadas en la fase mayorista y detallista) (Cerdas y Vinicio, 1993).

2.1.6.1 Antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz)

La antracnosis es una enfermedad causada por el hongo del género *Colletotrichum*. Esta ataca diferentes cultivos y se puede considerar como endémica. El principal efecto se da a nivel del fruto en post-cosecha; por lo tanto es un problema que se lleva al consumidor.

Los síntomas de esta enfermedad que se presentan en el cultivo son variados debido a que dependen del tipo de papaya y del patógeno que lo causa. Algunos de los síntomas que presenta el fruto con la enfermedad son: exudado gomoso y pequeñas manchas rojizas y de aspecto seco, hundimiento en los bordes, el centro tiende a levantarse, seguidamente coalescen y toman grandes áreas del fruto. Algunas lesiones toman un color café generalizado, mientras que otras se oscurecen en el centro de la lesión de color café o negro. La lesión puede penetrar mucho en la parte central, otras penetran poco presentando lesiones poco definidas. Puede darse el caso de que no ocurran penetraciones y solo se mantenga a nivel de la epidermis; ó la variación denominada "chorreadas", las cuales son lesiones color café de aspecto acuoso que corren a todo lo largo del fruto con muchos acérvulos en forma de "costra" (Guzmán, 1998).

Para el manejo de la enfermedad se debe ventilar el cultivo mediante prácticas como la disminución del número de plantas que se siembran, eliminación de la humedad excesiva del suelo, evitar el aumento de la humedad relativa; las hojas viejas y frutos afectados deben ser retirados de las plantas y del cultivo; se debe cosechar el fruto en el momento justo, según la variedad. Las aplicaciones preventivas de fungicidas se han recomendado como una medida para controlar el problema, así como también el tratamiento de la fruta con agua caliente (49°C por 20 minutos precedido de un tratamiento a 42°C por 30 minutos, con la posterior aplicación del fungicida) (Rey, 1999).

2.1.7 Condiciones de almacenamiento

La papaya debe ser almacenada bajo condiciones refrigeradas para alargar su vida de comercialización, transporte y consumo. Las frutas almacenadas bajo temperatura ambiente maduran y se deterioran rápidamente si no cuentan con algún tipo de tratamiento que le ayude a alargar el tiempo de vida útil bajo esta condición de temperatura. Antes de ingresar al almacén refrigerado la fruta debe enfriarse para eliminar el calor que trae del campo (Arias y Toledo, 2007e).

La papaya es susceptible al daño por enfriamiento, por lo cual no se debe almacenar a menos de 7°C. La fruta puede conservarse de 1 a 3 semanas a una temperatura entre 7°C y 13°C y una humedad relativa de 85 - 90 %, dependiendo del grado de maduración. Cuando la fruta está completamente madura es más resistente al frío que la parcialmente madura. La temperatura de maduración organoléptica, cuando el fruto ha alcanzado su máximo sabor y aroma que lo hacen apto para el consumo, es de 21° a 27°C (Arias y Toledo, 2007e). Los síntomas más evidentes del daño por enfriamiento en la papaya son: fallas en la maduración, aparición de pequeñas manchas de color marrón sobre la superficie de la fruta, decoloración de la cáscara, y la fruta se vuelve más susceptible al desarrollo de enfermedades (Arias y Toledo, 2007e).

Cuando la papaya es almacenada bajo una atmósfera controlada su vida útil aumenta hasta por tres semanas. Los parámetros recomendados para ello son: 3 a 5 % de dióxido de carbono, 3 % de oxígeno, 10° a 12°C de temperatura y 90 a 95 % de humedad relativa. Cuando se conserva bajo condiciones hipobáricas (20 mm Hg) se inhibe la maduración y el deterioro (Arias y Toledo, 2007f).

2.1.8 Respiración

La respiración es el proceso donde las reservas orgánicas, dígame carbohidratos, proteínas, grasas, etc., son degradadas a productos finales simples con una liberación de energía. El oxígeno es usado y el dióxido de carbono es producido en este proceso. Al perderse las reservas del material orgánico durante la respiración, nos indica una aceleración de la senescencia conforme las reservas que mantienen vivo al producto se agotan. A su vez ocurre una reducción en el valor nutritivo (valor energético) para el que lo consume, una pérdida en la calidad de sabor, dulzura especialmente, y una pérdida de peso seco vendible (importante para productos que vayan a ser deshidratados) (Kader, 1992).

La tasa de deterioro de los productos cosechados es generalmente proporcional a la tasa respiratoria. Basados en la respiración y la producción de etileno durante la maduración, los frutos pueden ser climatéricos o no climatéricos. En el caso de la papaya, es clasificada como una fruta de baja respiración (Refiérase Tabla 9, Anexos) y climatérico (Refiérase Tabla 10, Anexos) (Kader, 1992).

2.2 Lámina comestible

Una lámina comestible se define como una capa fina de un material el cual puede ser consumido, y provee una barrera para la humedad, el oxígeno y movimiento de solutos del alimento, controlando la difusión de sustancias desde o hacia el interior del alimento (Bourtoom, 2008). Además funciona como una barrera contra los gases (Kester y Fennema, 1986). La ventaja principal que poseen estas láminas, en comparación con las láminas sintéticas, es que pueden ser consumidas con el producto que cubre o empaca, contribuyendo así a disminuir la contaminación ambiental. Las láminas son creadas exclusivamente a base de materiales

renovables. Las láminas comestibles promueven las propiedades organolépticas del producto que empacan proveyéndole varios componentes, como lo son sabores, colores o edulcorantes. Estas láminas también pueden funcionar como portadores de agentes antioxidantes y antimicrobiales (Bourtoom, 2008).

2.2.1 Elaboración de láminas comestibles

Las láminas comestibles son hechas a base de materiales que tengan la habilidad de formar láminas. Estos materiales son dispersados o disueltos en un solvente como agua, alcohol o una mezcla de agua y alcohol, o una mezcla de otros solventes. Durante este proceso son añadidos plastificantes, agentes antimicrobiales, colores y sabores (Bourtoom, 2008). Cuando se trabaja con alimentos estas láminas se aplican por uno de los siguientes métodos: inmersión, rociado, cepillado o desplazamiento en superficie seguido de secado. Los componentes utilizados para realizar las láminas comestibles se clasifican en tres categorías: hidrocoloides (proteínas, polisacáridos, alginato), lípidos (ácidos grasos, acilglicerol, ceras) y compuestos ("*composites*") (Donhowe y Fennema, 1993).

Los polisacáridos que se utilizan para preparar láminas comestibles son la celulosa, derivados de almidón, derivados de pectina, extractos de algas, exudado gomoso, fermentaciones microbiales y quitosano (Krochta y Mulder-Johnson, 1997). Debido a que los polisacáridos son hidrofílicos, estos poseen propiedades de barrera deficientes contra el vapor de agua y los gases, pero pueden actuar como agentes que retrasan la pérdida de humedad de los productos que recubren (Kester y Fennema, 1986).

Las propiedades de barrera que poseen las láminas comestibles dependen de su composición, incluyendo plastificantes y solventes. Los plastificantes son añadidos para inducir flexibilidad, siendo el compuesto de mayor uso el glicerol (Wan et. al., 2005).

2.2.2 Usos de láminas comestibles

Las láminas comestibles, en general, son utilizadas para añadirle ciertos componentes a los alimentos en los cuales se utiliza, como por ejemplo agentes antioxidantes, sabores, colores, y agentes antimicrobiales, entre otros. Algunos investigadores han incorporado calcio (Han et. al, 2004, 2005; Hernández -Muñoz et. al, 2006), vitamina E (Han et. al, 2004, 2005), potasio (Park et. al, 2005), o ácido oleico (Vargas et. al., 2006) dentro de la formulación del quitosano para aumentar o prolongar la vida útil del alimento y además asegurar el valor nutricional de la fruta que utilizaron en sus estudios. Como ejemplo, en un estudio utilizando fresas (*Fragaria ananassa*) y frambuesas (*Rubus ideaus*), Han et. al. (2004) aplicaron a las frutas 3 capas derivadas de quitosano (quitosano, quitosano conteniendo 5% de Gluconal CAL (mezcla de lactato de calcio y gluconato de calcio), y quitosano conteniendo 0.2% DL- α - tocopheryl acetato). La adición de estas capas extendió el largo de vida útil de las frutas en este estudio, disminuyendo su deterioro y la pérdida de peso. También se retrasaron los cambios en color, pH y acidez durante su almacenamiento a 2°C. La adición de calcio o vitamina E a la capa de quitosano aumentó el contenido de estos nutrientes en las fresas y frambuesas (Han et. al., 2004).

2.3 Quitosano

Crear una lámina comestible a base de quitosano es conveniente debido a las diversas propiedades funcionales que posee. El quitosano es un carbohidrato modificado el cual se deriva de la deacetilación de quitina, componente principal de la cobertura ("*shells*") de los crustáceos (cangrejos, camarones, etc.), y es el segundo biopolímero natural de mayor abundancia, siendo número uno la celulosa. Entre las propiedades que caracterizan al quitosano están su solubilidad, siendo insoluble en agua pero soluble en soluciones orgánicas ácido-débiles. En adición presenta actividades biológicas como por ejemplo; antimicrobial, anti-tumor, y funciones hipocolesterolémicas. El quitosano es un buen antimicrobial debido a que protege contra un amplio rango de microorganismos, tales como hongos, levaduras y bacterias, preservando así los alimentos. Además de poseer las propiedades mencionadas anteriormente, posee también ciertas propiedades distintivas como emulsificador, enlazador de tintes y formador de geles. También posee la propiedad de formar una cobertura o lámina comestible ya que posee la propiedad de ser firme (No et. al., 2007).

Como fue mencionado, el quitosano es un preservativo para los alimentos de origen natural debido al amplio rango de protección que posee contra los microorganismos. El porqué de este mecanismo no se ha podido identificar por completo, pero se propuso una hipótesis la cual establece que la actividad anti-microbial se debe a las interacciones entre las cargas positivas de las moléculas del quitosano y las cargas negativas de las células de los microorganismos. Esta interacción causa la destrucción de los constituyentes intracelulares (Young et. al., 1982; Leuba y Stössel, 1986; Papineau et. al., 1991; Sudarshan et. al., 1992; Fang et. al., 1994). El quitosano tiene la habilidad de inhibir el crecimiento de muchos hongos induciendo la enzima quitinasa, la cual es una enzima defensora contra este tipo de

microorganismo. Según un estudio realizado en fresas (El Ghaouth et. al, 1992) para determinar la actividad anti-hongo del quitosano, se observó que la quitosina es producida cuando el quitosano está en contacto directo con el interior del fruto. La cubierta de quitosano en frutas intactas no es hábil en producción de quitosina debido a que no tiene una íntima interacción con el tejido como pudo ser observado en el estudio.

Las láminas también pueden ser utilizadas para protección, ya que, estas reducen el ritmo de respiración y transpiración en la superficie de la fruta, a la vez que retrasa el crecimiento de microorganismos y los cambios en color que puedan sufrir. Es decir, ayudan a conservar la calidad de la textura de las mismas (Kester y Fennema, 1986). La cobertura de quitosano modifica la atmósfera interna de la fruta pero no promueve la respiración aeróbica. Esto se debe a que el quitosano tiene mayor permeabilidad a oxígeno (O_2) que para dióxido de carbono (CO_2) (Bai et. al., 1988). Esta es la razón por la cual las coberturas elaboradas con quitosano prolongan la vida útil de la fruta y controla su pudrición.

2.4 Ceras

Para la elaboración de láminas comestibles, además de materiales a base de polisacáridos, suelen utilizarse materiales a base de resinas, como por ejemplo, cera de abejas, cera de carnauba, cera de candelilla y cera de parafina, entre otros. Estas láminas a base de resinas poseen la característica de ser más permeables al vapor de agua, aunque en menor grado, que algunos recubrimientos a base de polisacáridos (Hagenmainer y Shaw, 1991). Este tipo de recubrimiento se ha experimentado en frutas y hortalizas enteras. Se ha reportado que pueden generar condiciones anaeróbicas debido a sus características de baja permeabilidad a gases. Además no se adhieren a superficies cortadas de naturaleza hidrofílica (Hagenmainer y Shaw, 1992; Baldwin et. al., 1995).

En un estudio realizado en papayas (Barrera et. al., 2012) se utilizaron dos recubrimientos, una solución de cera comercial y agua en una proporción 1:1; y otro formulado a partir de cera comercial, agua y EEP (extracto etanólico de propóleo) al 5% p/v. Estudiando la pérdida de peso se observó que las papayas recubiertas para ambas soluciones presentaron una mayor cantidad de pérdida en peso en comparación con las del grupo control después del tercer día. Sin embargo, al finalizar el periodo de estudio (12 días), el porcentaje de la pérdida de peso fue igual para ambos recubrimientos (~15%). Al evaluar los cambios en color, se observó que independientemente del tratamiento ocurrieron cambios en el color de la epidermis de los frutos durante el periodo de almacenamiento (11 días). Por los resultados obtenidos, para la coordenada a, se pudo observar una degradación gradual de la clorofila y una formación de carotenoides y antocianinas, los cuales aportan los colores característicos de la fruta madura. Los valores de la coordenada b, mostraron una intensificación del color amarillo, es decir, hubo maduración del fruto, indicación de la disminución en el contenido de clorofila y aumento en carotenoides como mencionado anteriormente. Se observó también una disminución en la firmeza de la papaya, la cual pudo estar relacionada con la deshidratación del fruto. De manera similar, la pulpa también sufrió cambios significativos en dureza. La disminución de la textura posiblemente es producida por la acción de pectinasas y celulasas, enzimas que contribuyen también al ablandamiento del fruto (De la Cruz et. al., 2007). Los resultados obtenidos indican que no hubo diferencia significativa entre el control y el tratamiento, por lo tanto la adición del EEP al recubrimiento no afectó la textura de la pulpa de los frutos, ni le otorgó mayor fuerza mecánica al recubrimiento. En términos de los sólidos solubles, acidez y pH, se observó un aumento gradual durante los primeros seis días de evaluación en el contenido de los sólidos en el grupo control y en el grupo con el tratamiento. En cuanto a la acidez, el grupo control presentó un aumento en la acidez hasta

el día tres; luego se observó una disminución y a partir del día seis permaneció constante, para las papayas no-tratadas. Para el pH se observó que los recubrimientos no presentaron diferencia significativa entre ellos. Para el índice de deterioro (ID), los principales daños fueron ocasionados por deshidratación y pudrición negra en el pedúnculo, formación de moho y lesiones superficiales. La incidencia de daños fue más severa en el grupo control que en el grupo con el tratamiento, para un mismo periodo de almacenamiento (12 días). Evaluando el conteo de mesófilos, mohos y levaduras, el recuento de aerobios (AC) para los frutos tratados con EEP presentó la mayor reducción logarítmica de los microorganismos entre los días 3 y 7, mostrando diferencias significativas con respecto al control para el día 7. Como pudo ser observado por los resultados obtenidos en este estudio, la incorporación de un extracto etanólico de propóleos (EPP) en un recubrimiento como tratamiento post-cosecha de frutas, puede ser una buena alternativa como prevención del deterioro microbiológico de los frutos. Esta conclusión fue basada en que ocurrió inhibición en el desarrollo de microorganismos en frutos de papaya durante los primeros siete días de almacenamiento.

2.4.1 Cera de Carnauba

La cera de Carnauba es el exudado de la planta Brazilian (*Copernicia cerifera*), conocida como el árbol de la vida. Es una cera fuerte, con un alto punto de ebullición. Se caracteriza por ser insoluble en agua, escasamente soluble en alcohol, pero muy soluble en cloroformo y éter. Es significativamente menos viscosa, con mayor elasticidad y más resistente a deformaciones cuando es comparada con otras ceras, como por ejemplo el "*beeswax*" (Shellhammer et. al, 1997). Esta cera en alimentos, es utilizada como una ayuda a la formulación, lubricante, agente de liberación, agente antiaglomerante y como un agente de acabado de superficie en alimentos

horneados y mezclas. Además es utilizada en la producción de goma de mascar, confecciones, glaseados, salsas, frutas procesadas y jugos, y dulces suaves (Milanovic et. al., 2010).

2.4.1.1 Composición

La cera de Carnauba es una mezcla compleja de componentes que consisten de ésteres alifáticos, ésteres de alfa hidróxilos y diésteres alifáticos cinámicos. Además, se compone de ácidos libres, alcoholes libres, hidrocarburos y resinas (EU, 2008).

2.5 Parámetros de calidad de la papaya

2.5.1 Apariencia externa

La papaya debe presentar las siguientes características para ser clasificada en buenas condiciones: deben estar entera, tener una consistencia firme, ser fresca y estar sana. En adición deben estar exentas de: materia extraña visible, daños causados por parásitos, magulladuras pronunciadas, daños causados por bajas temperaturas, humedad externa anormal (salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica), y de olores o sabores extraños. Si posee pedúnculo la longitud del mismo no debe ser mayor a un centímetro, deben de estar suficientemente desarrolladas y presentar un grado de madurez satisfactorio según la naturaleza del producto (Arias y Toledo, 2007g).

2.5.2 Textura

La textura es uno de los factores de calidad de un producto, la cual es considerada la respuesta del sentido del tacto a los estímulos físicos los cuales resultan del contacto entre alguna parte del cuerpo y el alimento (García, 2012). Según Szczesniak (2002), la textura se define como la “manifestación sensorial y funcional de la propiedad estructural, mecánica y de

superficie de los alimentos detectada a través de los sentidos de la vista, el oído, el tacto y cinestético”. Bello (2000), define textura como “la propiedad organoléptica que resulta de la disposición y combinación entre sí de elementos estructurales y diversos componentes químicos, dando lugar a unas micro y macroestructuras, definidas por diversos sistemas fisicoquímicos”.

Tanto las frutas como las verduras sufren de modificaciones en su textura durante el proceso de maduración, al igual que durante el proceso de recolección, el transporte y almacenamiento, y posteriormente durante el procesamiento, limpieza, clasificación, rebanado, escaldado y deshidratación, enlatado, fritura o congelación (Aguilar et al., 1999). Durante el proceso de maduración y almacenamiento ocurren ciertos cambios en la textura del fruto, los cuales son clasificados como cambios bioquímicos. Durante la recolección, transporte y procesamiento estos cambios se deben, principalmente, a alteraciones en la estructura celular del producto (Aguilar et al., 1999). Los cambios en la textura de las frutas les ocasiona la pérdida de firmeza de sus tejidos, situación que contrapone la preferencia de los consumidores, los cuales prefieren texturas más firmes en estos productos (Aguilar et al., 1999).

2.5.3 Color

Uno de los atributos de mayor importancia que poseen los alimentos para su comercialización es el color, ya que es el que provoca que el consumidor acepte o rechace el producto, muchas veces sin previa evaluación de sus características sensoriales y nutricionales. En la industria estas medidas de color son realizadas mediante evaluación sensorial visual o instrumental (llevada a cabo por colorímetros, espectrofotómetros o espectrorradiómetros) (González, 2010).

El color de las frutas se debe a la presencia de pigmentos como carotenoides, antocianinas y clorofilas, entre otros. Estos pigmentos les confieren las tonalidades amarillas, anaranjadas, rojizas, violetas o verdes características. Los carotenoides son los pigmentos naturales responsables de los colores amarillos, anaranjados y rojos en muchas frutas y vegetales. Estos compuestos cumplen un papel importante en la calidad de estos alimentos, ya que son compuestos relacionados con el estado de madurez, exhibiendo un contenido diferencial durante el proceso de maduración (González, 2010).

2.5.4 Vitamina C

La vitamina C, ó ácido L-ascórbico (AA), se considera uno de los más potentes agentes antioxidantes del organismo. Es una vitamina hidrosoluble, químicamente sintetizada a partir de glucosa, catalizada por enzimas (Serra y Cafaro, 2007).

En humanos, la vitamina C es un micronutriente esencial muy necesario para todas las funciones biológicas, en las que se incluyen las reacciones enzimáticas y las antioxidantes. Esta vitamina es clave en la síntesis de colágeno, además interviene en la síntesis de lípidos, proteínas, serotonina, entre otros, y en el metabolismo de tirosina, histamina y fenilalanina. La deficiencia de vitamina C en los humanos produce el escorbuto, problema que se produce en la síntesis del colágeno (Serra y Cafaro, 2007), la cual se manifiesta en la falta de cicatrización, y es por esta razón la gran importancia de su consumo en la dieta (Tortora y Grabowski, 1998).

Entre las fuentes naturales de la vitamina C se encuentran las frutas y vegetales frescos. La acerola, soja, brócoli, pimientos, kiwi, pomelo, naranja, y tomate son los que poseen un mayor contenido de vitamina C (Serra y Cafaro, 2007). Esta vitamina se oxida de manera rápida y es por esto que requiere de diversos cuidados al momento de exponerla al aire, calor y agua. En

los jugos, zumos y néctares, la oxidación se da por la exposición prolongada con el aire y por no conservarlos en recipientes oscuros (World Health Organization, 2004). Además, la oxidación ocurre durante el procesamiento, almacenamiento y la cocción de los alimentos (Ball, 2005).

En los alimentos, la concentración de vitamina C puede ser afectada por múltiples factores antes y después de cosechados. El cultivar, el clima, la práctica durante la producción, la posición que se encuentre la fruta en el árbol y el grado de madurez son factores que influyen antes de la cosecha. Tratamientos post-cosecha, tales como irradiación y la refrigeración pueden considerablemente reducir la pérdida de la vitamina C, la cual, según reportado, aumenta proporcionalmente con la temperatura de almacenamiento (Terry, 2010).

2.5.5 Sólidos solubles totales

Los grados Brix ($^{\circ}$ Brix) es una medida de la cantidad de sólidos solubles totales que están presentes en un jugo o pulpa, y son expresados en porcentaje de sacarosa. Éstos están compuestos por los azúcares, ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua que están presentes en los jugos de las células de una fruta. Para la medición de la cantidad de los sólidos solubles totales presentes en la muestra se utiliza un refractómetro calibrado, mayormente a una temperatura de 20°C (“Control de Calidad”, s.f.).

2.5.6 Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua (a_w) se define como la relación entre la presión de vapor de agua del alimento (p) y la del agua pura (p_0) a una misma temperatura (1). Este valor de a_w depende de la composición, la temperatura y el contenido de agua en el alimento. Se expresa como una fracción decimal con precisión de tres cifras significativas, dentro de una escala que va de 0.00 a 1.00 (Novasina, s.f.).

$$a_w = p/p_o \quad (1)$$

La actividad de agua es un parámetro que indica la disponibilidad de agua en un alimento para que puedan existir reacciones químicas, reacciones bioquímicas y desarrollo de microorganismos. Es por esta razón que a_w es un parámetro bastante utilizado como indicador para predecir la vida útil de un alimento (Vega et. al., 2006). Puede ser un factor intrínseco que posibilita o dificulta el crecimiento microbiano en los alimentos. Es por esta razón que es muy importante llevar a cabo la medición de este parámetro para controlar dicho crecimiento. Además porque tiene incidencia en las características de calidad de un alimento, como por ejemplo textura, sabor, color, y tiempo de conservación, entre otras (Novasina, s.f.). Alimentos perecederos, tales como frutas, carnes, hortalizas y leche, entre otros, poseen un valor de a_w alrededor de 0.950, lo cual indica que estos alimentos son susceptibles al crecimiento microbiano por su alta disponibilidad de agua para el desarrollo de los mismos (LabFerrer, 2014).

2.5.7 pH

El pH es definido en términos de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) (Buck et. al., 2002). También se utiliza para referirse a la acidez de un alimento, la cual se mide en una escala de 0 a 14. Productos con un pH bajo (menor a 7.0) son clasificados como ácidos, y los productos con un pH alto (7.0 o mayor) son clasificados como básicos o alcalinos. Dependiendo del pH que posea el producto, es el tipo de microorganismo que va a crecer en el mismo. Por ejemplo, los hongos crecen a pH menor que 2 a 3, las levaduras crecen a pH intermedio y las bacterias crecen a pH de 6 a 7 (Clayton et. al., s.f.).

2.5.8 Análisis microbiológico

Durante las etapas de cosecha y procesamiento, las papayas tienden a sufrir lesiones las cuales las hace susceptibles al deterioro microbiano. Además, el daño al tejido de la planta aumenta la susceptibilidad al ataque de microorganismos patogénicos de la fruta (Oms-Oliu et al., 2010).

La papaya es una fruta de alto volumen en producción en América y es altamente distribuida en el mismo. Debido a esto su almacenamiento tiene serias limitaciones, lo cual resulta en su rápido deterioro y una alta incidencia de descomposición. Se ha estimado que la pérdida post-cosecha de la papaya a causa de daños microbiológicos es de 93%, y es por esto que debe ser manejada cuidadosamente (Dotto et al., 2015).

Los microorganismos que comúnmente atacan a las papayas son los hongos y levaduras. Los hongos poseen un micelio vegetativo aéreo y profundo. El micelio posee estructuras llamadas “hifas” las cuales pueden estar o no septadas (divididas). Las levaduras no poseen micelios (pseudomicelios) a diferencia de los hongos (Giusiano, s.f.)

Algunos de los hongos que afectan a las papayas post-cosecha son: *Colletrichum gloeosporoides*, el cual es el causante de la antracnosis y es considerado mundialmente como el patógeno más común de la papaya; *Fusarium* spp., *Alternaria solari*, *Rhizopus stolonifer*, entre otros (Bautista-Baños et. al., 2013).

Existen varios métodos tradicionales los cuales ayudan al control del hongo en la post-cosecha de papaya. Estos se clasifican en control químico, tratamiento de calor y otros. El control químico, utiliza fungicidas como benzimidazole, imidazole, strobulinas y chlorothlonil. Además, Thiabendazole y benomyl los cuales son los más comúnmente aplicados durante la

post-cosecha, mostrando un control de la enfermedad en las papayas de más de un 50%. En el tratamiento de calor, a la papaya se le aplica agua caliente, vapor caliente o aire caliente forzado para controlar el hongo superficial. La irradiación, se utiliza para el control de insectos. Los tratamientos con antagonistas, utiliza la aplicación de agentes de bio-control a la fruta como bacterias y levaduras dependiendo del antagonismo que tenga con el microorganismo de la fruta. El quitosano, se puede utilizar para el control de hongos post-cosecha debido a sus propiedades anti-fúngicas en la fruta. La atmósfera modificada, en la cual se aplica al empaque de la fruta una mezcla de gases, ayuda a extender el largo de vida útil de la fruta (Bautista-Baños et. al., 2013).

3. Materiales y Métodos

3.1 Diseño experimental

El diseño experimental fue un factorial de 3x5 en un arreglo de bloques completos. Consistió de 3 tratamientos en los cuales se realizaron todas las pruebas por triplicado. Los tratamientos bajo estudio constaron de una lámina, de polisacárido, de quitosano al 2% con agente emulsificante al 2%, y otra lámina, tipo lípida, de cera de carnauba al 33% con sorbato de potasio al 2%, y un grupo clasificado como control. Para cada uno de los grupos los muestreos realizados fueron cada 3 días para un periodo total de 12 días.

3.2 Obtención de la papaya

Las muestras de papaya, de la variedad Tainung-1 con grado de maduración 2 beta (Ver Anexos, Figura 13), se obtuvieron de una finca comercial localizada en Guánica, Puerto Rico. Luego fueron transportadas hasta la Planta Piloto en el edificio Alfredo Ramírez de Arellano y

Rosell (CITAI) de la Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez, donde inmediatamente cada grupo fue lavado y sanitizado con un detergente comercial Tsunami 100™® (575ppm) (Ecolab). Luego de ser sanitizadas, las papayas se dejaron secar al aire, luego fueron tratadas, pesadas, identificadas, y guardadas en el laboratorio doctoral en la Finca Alzamora a una temperatura de $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

La elaboración y aplicación de las láminas comestibles a las papayas se llevó a cabo en la Planta Piloto de CITAI. Para cada tiempo de muestreo, para cada tratamiento, se seleccionaron al azar tres papayas con las cuales se realizó el análisis microbiológico el cual se realizó en el Laboratorio de Microbiología de Alimentos (CTA-219). Se realizaron pruebas fisicoquímicas, tales como pérdida de peso (realizado en el laboratorio doctoral en la Finca Alzamora), color ($^{\circ}\text{Hue}$ y Chroma) y el análisis de textura (las dos anteriores realizadas en el Laboratorio de Análisis Sensorial), pH, y grados Brix. Las pruebas químicas realizadas incluyeron actividad de agua y vitamina C, las cuales fueron realizadas en el Laboratorio de Química de Alimentos (CTA-220).

3.3 Elaboración de las láminas comestibles

3.3.1 Cera de Carnauba

Se preparó una solución de cera de Carnauba al 33% con 2% de sorbato de potasio disolviendo 41 gramos de sorbato de potasio en 1,500mL de agua, y luego fue añadido 500mL de cera de Carnauba (DECCO LUSTR® 231). La solución fue preparada en un recipiente desinfectado previamente.

3.3.2 Quitosano

Se preparó una solución de quitosano al 2% disolviendo 40 gramos de quitosano en 1,958 mililitros de agua destilada que contenía diez mililitros de ácido acético glacial. La solución fue agitada y calentada constantemente por tres horas. Luego se le añadió dos mililitros de Tween-20 como emulsificante.

3.3.3 Aplicación de la lámina (película) comestible

Las papayas se sumergieron en cada solución por dos minutos, se dejaron secar al ambiente y fueron identificadas. Luego se envolvieron en papel estéril y fueron colocadas en cajas de cartón. Las muestras se almacenaron en incubadora a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 12 días.

3.4 Apariencia

La apariencia se determinó por medio de observaciones y fotografías realizadas a la superficie de las papayas para cada uno de los días de muestreo.

3.5 Pruebas microbiológicas

Esta prueba se realizó utilizando PetriFilms 3M[®] para detección de hongos y levaduras. Para esto se pesaron 25.0 gramos de cáscara de cada muestra de papaya en 225mL de amortiguador de agua de peptona, y se realizó una dilución seriada hasta 10^{-4} , del día 0 hasta el día 6 de muestreo, y del día 9 hasta el día 12 se realizó la dilución seriada hasta 10^{-6} para cada uno de los tratamientos. Luego se inocularon los PetriFilms 3M[®] (dos por dilución) con 1.0mL de cada una de las diluciones de muestra de papaya y fueron incubados a $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 5 días. Luego se realizó el conteo de hongos y levaduras. Este procedimiento se realizó en duplicado para cada tratamiento.

3.6 Pruebas fisicoquímicas

3.6.1 Pérdida de peso

Por medio de esta prueba se determinó la efectividad de las láminas comestibles contra la pérdida de humedad mediante la técnica gravimétrica. Se tomaron seis papayas al azar para cada tratamiento y, con el uso de una balanza, se le determinó su peso a temperatura ambiente. Los resultados de la pérdida de peso fueron obtenidos utilizando la siguiente fórmula con cada una de las muestras por cada día de muestreo:

$$\% \text{ Peso perdido} = \frac{\text{Peso inicial (g)} - \text{Peso final (g)}}{\text{Peso inicial (g)}} * 100 \quad (2)$$

3.6.2 Color

Para la realización de esta prueba se utilizó un colorímetro MiniScan XE previamente calibrado (con platos de porcelana negro y blanco). Se cortó un pedazo de papaya de forma horizontal y se tomaron datos, en triplicado, por dentro (pulpa) de las papayas en lugares diferentes. Se registraron las variables L^* , a^* y b^* , las cuales representan: L^* es el valor de luminosidad con valores que van de 0 (negro) a 100 (blanco); los parámetros a^* y b^* fueron utilizados para encontrar el Chroma (saturación) y $^{\circ}\text{Hue}$ (tono) (McGuire, 1992). Ambos valores, Chroma y $^{\circ}\text{Hue}$ fueron calculados utilizando las siguientes fórmulas en Infostat:

$$\text{Chroma} = \text{SQRT}((a^*a^*) + (b^*b^*)) \quad (3)$$

$$^{\circ}\text{Hue} = (\text{ARCOTAN}(b^*/a^*)/6.2832) * 360 \quad (4)$$

Donde:

a^* = verde/rojo

b^* = azul/amarrillo

SQRT = raíz cuadrada

ARCOTAN = arcotangente

3.6.3 Textura

La textura se determinó por compresión utilizando un texturómetro TA-XT2 previamente calibrado, con el cual se realizaron medidas de fuerza (g), distancia (mm) y tiempo (seg) en papayas escogidas de cada grupo. Para esta prueba se utilizó un "probe" TA-52. La fuerza que fue aplicada para cada determinación fue de 5g, la velocidad del "probe" durante la prueba fue de 1.50 mm/s. Se tomaron 6 mediciones por tratamiento y fueron reportadas como distancia de compresión en milímetros (mm), o cuan el "probe" penetra hacia el interior de la fruta.

3.7 Análisis químico

3.7.1 pH

Para realizar esta prueba se licuó 40 g de muestra papaya para cada tratamiento. Luego de ser calibrado el metro de pH Sartorius con soluciones amortiguadoras con pH estándar de 4.0, 7.0 y 10.0 a 24.5°C respectivamente, se procedió a tomar las medidas directamente del licuado de las diferentes muestras siguiendo el método de la AOAC 981.12 (1997).

3.7.2 Vitamina C (Ácido Ascórbico)

El contenido de vitamina C o ácido ascórbico fue determinado según el método oficial de la AOAC 967.21 (1998), método de titulación 2,6-dicloroindofenol. Se tomó una alícuota de 2 mL del filtrado de licuado de papaya (10 g), previamente licuada con solución ácido metafosfórico y acético, filtrada y diluída en 125 mL de agua destilada, y se transfirió cuantitativamente a un matraz Erlenmeyer de 50 mL y luego se le agregaron 5.00 mL de una solución de ácido metafosfórico y ácido acético a la muestra. Se procedió a titular con una solución del tinte 2,6-dicloroindofenol previamente estandarizada.

Para la estandarización del tinte se tomaron dos mililitros de una solución estándar de ácido ascórbico (1 mg/mL) y se transfirió a un matraz Erlenmeyer de cincuenta mililitros. A los dos mililitros se le añadieron cinco mililitros de una solución de ácido metafosfórico y ácido acético. A la misma vez se tituló un blanco, donde se añadieron siete mililitros de una solución de ácido metafosfórico y ácido acético y ocho mililitros de agua destilada.

El ácido ascórbico o vitamina C de la muestra reduce el tinte indicador, 2,6-dicloroindofenol, a una solución incolora hasta llegar al punto final de la titulación (cambio de un color rosa pálido el cual persistió por cinco segundos). Las determinaciones fueron realizadas por triplicado para cada muestra y la concentración de vitamina C se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de ácido ascórbico (mg) en 100g de muestra} = \frac{C*V*100g}{\text{gramos muestra}} \quad (5)$$

$C = \text{mg de ácido ascórbico/mL de tinte} = 2\text{mL} * (1\text{mg/ml}) / \text{volumen de tinte usado para titular}$

$V = \text{ml de tinte usado para titular la muestra}$

3.7.3 Sólidos solubles totales (Grados Brix)

Para la determinación de los sólidos solubles totales se utilizó un refractómetro digital Abbemat 200 (Anton Par) a 20.00°C. Las muestras de licuado de papaya fueron colocadas en el refractómetro previamente calibrado con unas gotas de agua destilada. Los resultados fueron expresados como grados Brix (°Brix). La prueba se realizó por triplicado para cada muestra siguiendo el método oficial de la AOAC 932.14 (1998).

3.7.4 Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua de las muestras fue determinada con un hidrómetro de punto de rocío a 25°C, Aqua Lab CX-2. Se tomaron pequeños pedazos de muestra con cáscara para realizar la medición. Antes de cada lectura, el equipo fue calibrado con un estándar de $a_w = 0.9840$. La prueba se realizó por triplicado para cada muestra.

3.8 Análisis estadístico

Se utilizó un análisis de varianza para detectar interacciones y diferencias significativas entre los factores para las diferentes variables. Las variables consideradas como independientes fueron: pH, vitamina C, actividad de agua, color, sólidos solubles totales, textura, pérdida de peso, y recuento de hongos y levaduras. Para comparar las medidas de los tratamientos se utilizó la prueba de separación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$).

4. Resultados y Discusión

4.1 Apariencia

Los resultados de apariencia de las papayas demostraron que para todos los tratamientos las mismas permanecían aún con una coloración verdosa y brillante en la superficie hasta el día 6 (representado por fotos g a la i, Figura 1) de almacenamiento. En los días 9 y 12 de almacenadas (representadas por fotos j a la o de la Figura 1) las papayas mostraron una superficie más amarilla, lo cual indica que el proceso de maduración de la fruta ocurrió. El tratamiento que obtuvo mejor apariencia durante los 12 días de almacenamiento fue el grupo con el tratamiento de quitosano como puede observarse en la representación n de la Figura 1.

Cuando realizamos un análisis de costos, a modo de comparar cuál de los recubrimientos sería de mayor beneficio para el agricultor que lo utilice, el recubrimiento que más costo-efectivo resulta es el de cera de carnauba. El mismo tuvo un costo estimado de \$0.05 por papaya, mientras que el recubrimiento de quitosano tuvo un costo estimado de \$0.22 por papaya. Como se puede observar en la Figura 1, ambos recubrimientos serían de beneficio para el agricultor ya que extendieron el largo de vida útil de las papayas por 3 días, al compararlos con las papayas control. Esto demuestra que si las frutas son recubiertas con uno de los tratamientos bajo estudio, tendrían un mayor tiempo de duración en el puesto de venta (lo que generaría una cantidad de venta mayor) presentando una menor cantidad de pérdida de las mismas (debido a mayor compra por el cliente). Calculando para un periodo de treinta días en base a cualquiera de los dos tratamientos (coberturas), el comerciante compraría las papayas tratadas 2.5 veces dentro de este periodo de tiempo; mientras que las papayas no tratadas serían compradas 3.3 veces. Esto significa que, independientemente del precio que sean vendidas las papayas al comerciante, las papayas no tratadas serían un mayor gasto. Las papayas tratadas, tendrían una mayor ganancia para el agricultor. Esto se debe a que al estar puestas en venta por más tiempo en comercio, mayor cantidad serían vendidas.

4.2 Análisis microbiológico

En general, todos los tratamientos tuvieron un bajo conteo de hongos y levaduras, pero el más notable fue la cera de carnauba (Tabla 1) (Figura 2; Figura 3), la cual contenía el sorbato de potasio al 2%. El sorbato de potasio es una sustancia que es reconocida como GRAS (“Generally Recognized as Safe”). Es ampliamente utilizada en los alimentos como método de prevención del crecimiento de hongos y de esta forma se utiliza para extender el largo de vida útil de los

alimentos a los que les sea aplicado (Valencia-Chamorro et al., 2008). La efectividad de reducción en crecimiento microbiano, de hongos y levaduras, del sorbato de potasio ha sido
















Día	Tratamiento		
	Cera de Carnauba	<u>Quitosano</u>	Control
0			
3			
6			
9			
12			

Figura 1. Apariencia de papayas con los diferentes tratamientos y tiempo de almacenamiento.

reportada en diversos estudios. En un estudio realizado en fresas por García et. al., (1998) fue observado una reducción en el crecimiento microbiano y una prolongación del largo de vida útil de dicha fruta. La misma fue cubierta usando una película a base de almidón con sorbato de potasio. En otro estudio realizado en naranja dulce *Citrus sinensis* var. Valencia, las cuales

fueron tratadas con una simulación de aplicaciones comerciales con sorbato de potasio al 1, 2 y 3 %, se demostró también una reducción significativa de levadura con respecto al grupo control al día 15 de observación (Lado et. al., 2011). En la presente investigación se confirmó la efectividad del sorbato de potasio en la prolongación de la vida útil y el bajo crecimiento microbiano, a pesar de que no obtuvo el menor recuento (Tabla 1), en las papayas cubiertas con la lámina de cera de carnauba, así como fue reportado y observado en otras frutas en estudios anteriores, mejorando así la seguridad microbiana. Debido a la buena solubilidad en agua que tiene el sorbato de potasio, facilita el uso en solución tipo acuosas (Montesino-Herrero et al., 2009). La acción microbiana de los sorbatos va a depender del pH, teniendo mayor efectividad a bajos pH (en un rango de 3 a 6.5, mayormente), aunque pueden tener efectividad a altos pH (como por ejemplo, 7) (Montesino-Herrero et. al., 2009); (Valencia-Chamorro et. al., 2008). Un pH bajo permite que la molécula esté en un estado no disociado lo que hace más fácil permear la membrana plasmática. Luego al encontrarse con un pH más alto en el interior de la célula, se disocia la molécula dando como resultado la liberación de aniones y protones acumulados dentro de la célula (Brul y Coote, 1999).

Por otra parte, podemos observar también que el tratamiento a base de quitosano tuvo un menor crecimiento de levaduras en su superficie en comparación con el grupo control, obteniendo 2.03 log UFC/g y 2.25 log UFC/g respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1. Recuento de hongos y levaduras en superficie de papayas con los diferentes tratamientos bajo el periodo de incubación a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Tratamiento	Hongos (log UFC/g)	Levaduras (log UFC/g)
Película de Quitosano	2.32b	2.03a
Película Cera de Caranauba	1.29a	1.98a
Control	2.10b	2.25a

Medias seguidas por letra similar no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de diferencia significativa de Tukey.

UFC = unidades formadoras de colonias

Debido al proceso de maduración de las papayas es de esperarse que el conteo microbiano aumente con el pasar del tiempo. Como pudo observarse en las papayas, el recuento microbiano tanto para hongos y levaduras tuvo un aumento progresivo durante los doce días de incubación. Para hongos hubo un aumento de 1.38 a 2.46 log UFC/g del día 0 al día 12, respectivamente. Similar para levaduras, hubo un aumento de 1.28 a 2.92 log UFC/g del día 0 al día 12, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Recuento de hongos y levaduras en superficie de papayas en el tiempo bajo el periodo de incubación a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Tiempo (Día)	Hongos (log UFC/g)	Levaduras (log UFC/g)
0	1.38a	1.28a
3	1.35a	1.46ab
6	1.97ab	2.11bc
9	2.36b	2.67cd
12	2.46b	2.92d

Medias seguidas por letra similar no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de diferencia significativa de Tukey.

UFC = unidades formadoras de colonias

Como se puede apreciar en la Figura 2, el crecimiento de hongos (log UFC/g) es menor para las papayas tratadas con la lámina de quitosano al 2% durante el inicio de los días de muestreo (Día 0). Por otra parte, al finalizar los días de muestreo (Día 12), el crecimiento menor fue para las papayas tratadas con la lámina de cera de carnauba al 33% con sorbato de potasio al 2%, lo que demuestra la efectividad del preservativo añadido.

En cuanto al crecimiento de levaduras (log UFC/g) podemos observar que el grupo de papayas que fueron tratadas con la lámina a base de quitosano al 2% obtuvo el menor crecimiento durante los primeros nueve días de muestreo (Figura 3). Para el día doce, las papayas tratadas con la lámina de cera de carnauba al 33% con sorbato de potasio al 2% obtuvieron el menor crecimiento de levaduras, demostrando la efectividad del preservativo añadido.

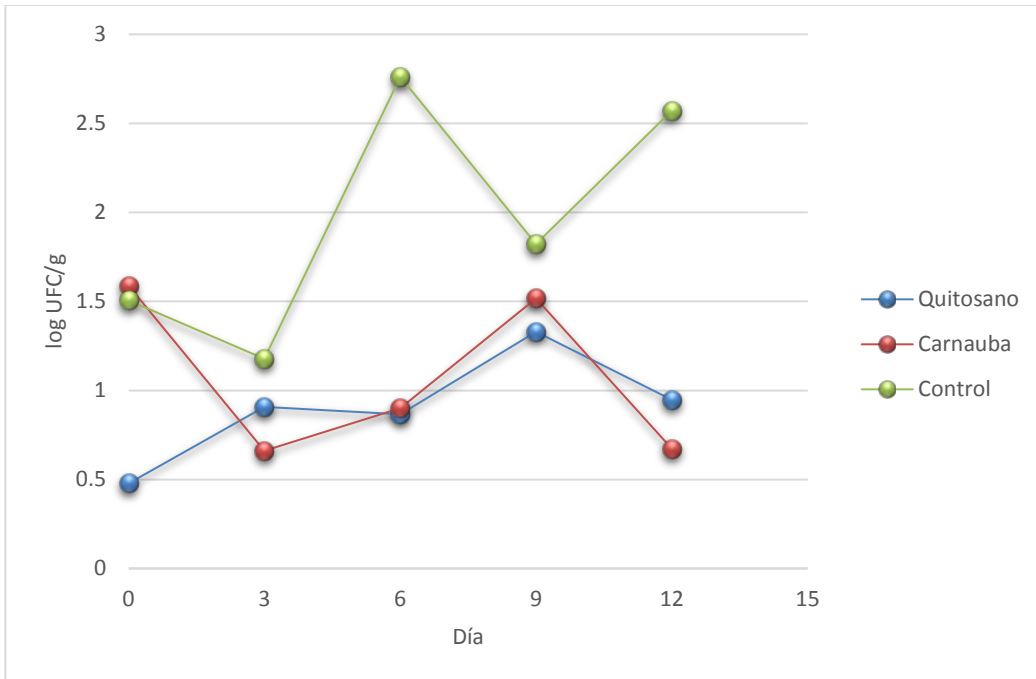


Figura 2: Crecimiento de hongos (log UFC/g) con respecto al día de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

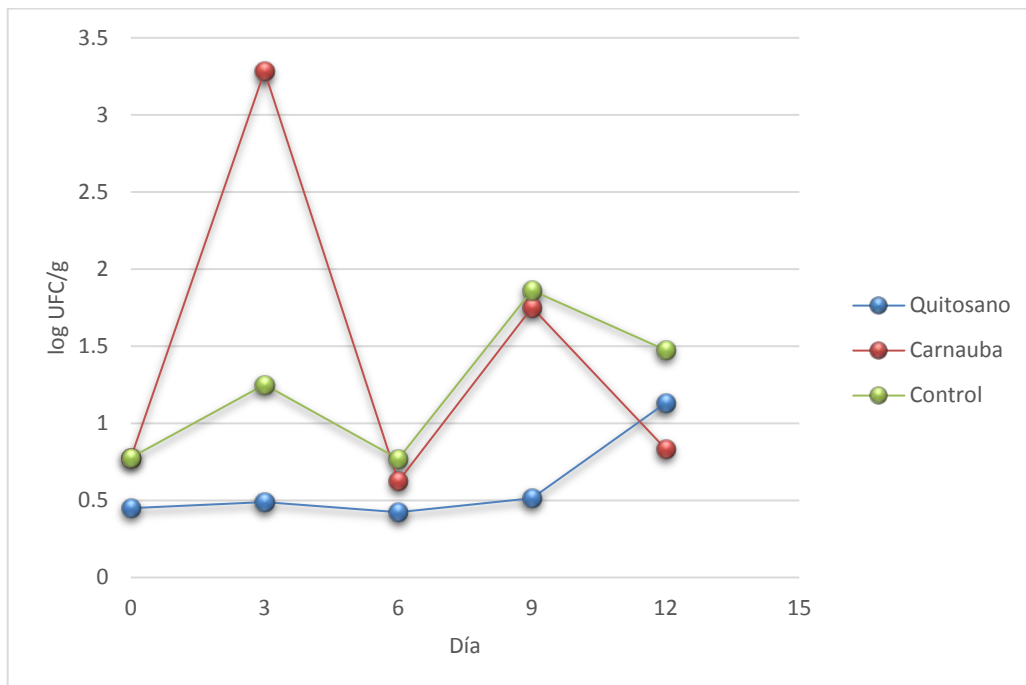


Figura 3: Crecimiento de levaduras (log UFC/g) con respecto al día de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

4.3 Pérdida de peso y textura

Como puede observarse en la Tabla 3, no se encontró diferencia significativa para pérdida de peso y textura bajo los diferentes tratamientos. De la misma manera, en la Tabla 4 puede observarse que no hay diferencias en los porcentajes de pérdida de peso y textura a medida que pasa el tiempo. El porcentaje de pérdida de peso fue mayor para el grupo control, con un 1.07 %. Este resultado era el esperado debido a la carencia de un recubrimiento en la fruta, permitiendo así un ritmo de respiración normal en la fruta.

Tabla 3. Porcentaje de pérdida de peso y textura de papayas con los diferentes tratamientos.

Tratamiento	% Pérdida de Peso	Textura (mm)
Película de Quitosano	0.79a	2.61a
Película Cera de Caranauba	0.81a	2.29a
Control	1.07b	3.08b

Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de diferencia significativa de Tukey.

Tabla 4. Porcentaje de pérdida de peso y textura de papayas en el tiempo de almacenamiento.

Tiempo (Día)	% Pérdida de peso	Textura (mm)
0	0.00a	2.27a
3	0.99b	2.43a
6	1.11b	2.63ab
9	1.12b	2.78ab
12	1.22b	3.18b

Medias seguidas por letra similar no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de diferencia significativa de Tukey.

Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por otros investigadores, donde fue observado una reducción de la pérdida de peso en fresas donde les fue aplicada una lámina a base de quitosano (Han et. al. 2004). De igual forma Tezotto-Ultana et. al. (2014) demostraron que la pérdida de peso en frambuesas tratadas con quitosano (0.5, 1 y 2 %) fue una de lenta reducción, pero no significativamente diferente a la pérdida de peso del grupo control. Como

resultado en este estudio, el grupo con el menor porcentaje en pérdida de peso fue el grupo recubierto con la película de quitosano al 2% (Tabla 3).

Las Figura 4 y Figura 5 demuestran que, los porcentajes en pérdida de peso y las distancias de compresión (mm) tuvieron un aumento para el último día de muestreo tanto en las papayas tratadas como en el grupo control. El grupo de papayas que presentó una menor cantidad de pérdida de peso fue el grupo tratado con la lámina a base de quitosano al 2%. Esto demuestra que el tratamiento tuvo efectividad en el control de pérdida de humedad debido a la baja permeabilidad a gases que posee (Figura 4). En la Figura 5 podemos observar que las papayas tratadas con el recubrimiento o lámina a base de cera de carnauba al 33% con sorbato de potasio al 2% se mantuvieron más firmes durante los días de muestreo, demostrando la baja permeabilidad a gases que posee la lámina. Esto es así ya que la distancia de compresión fue menor con respecto a los otros dos grupos bajo estudio.

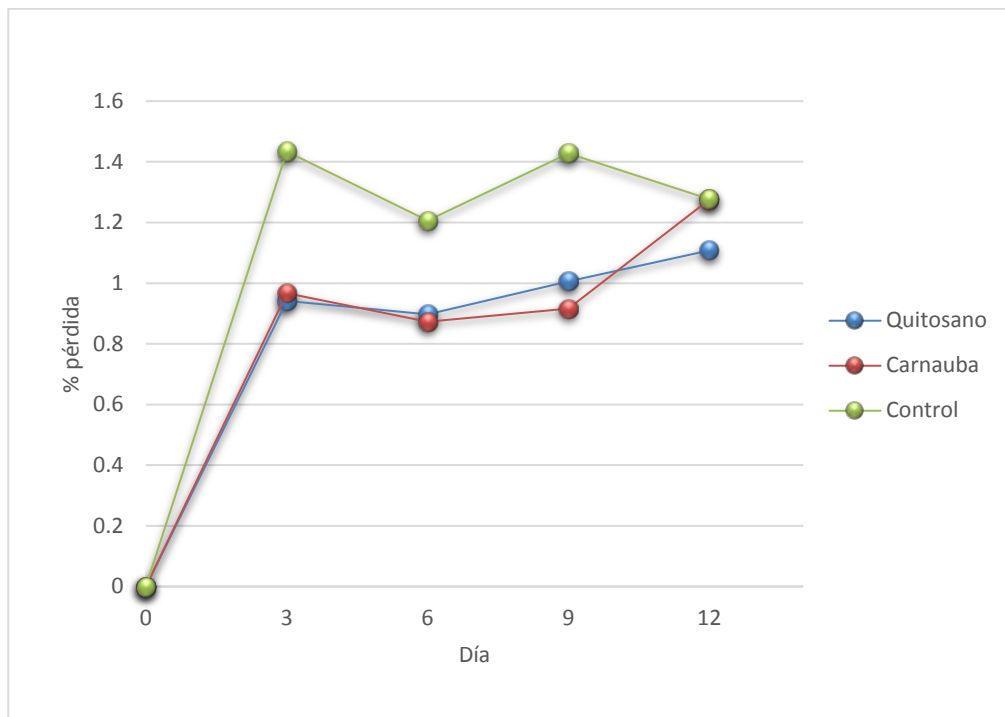


Figura 4: Pérdida de peso (%) con respecto a días de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

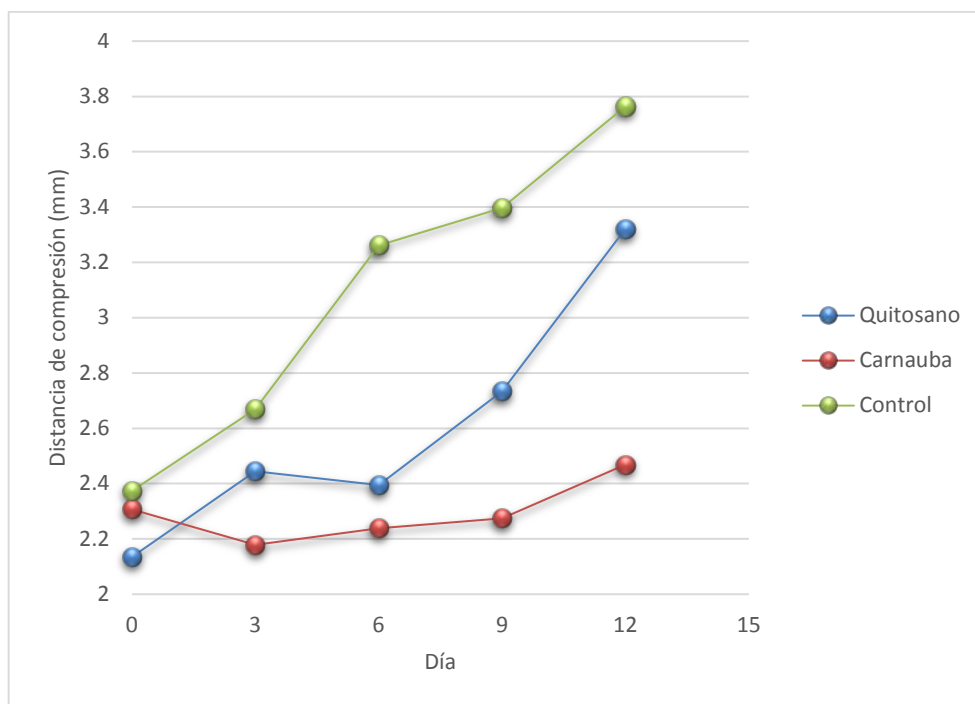


Figura 5: Distancia de compresión (mm) con respecto a días de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

4.4 Color

Para los tratamientos aplicados a las papayas del cultivar o variedad Tainung-1 no hubo diferencias significativas en los parámetros L^* (luminosidad), Chroma (saturación) y $^{\circ}\text{Hue}$ (tono), como se muestra en la Tabla 5 para el color interno de las mismas. Durante el tiempo de almacenamiento de las papayas hubo pequeñas variaciones en los tres parámetros bajo estudio, pero estas diferencias no son significativamente diferentes (Tabla 6). Los valores de L^* permanecieron en un rango de 59.37 a 64.92. Los valores de Chroma permanecieron en un rango de 42.41 a 51.99, y los valores de $^{\circ}\text{Hue}$ permanecieron en un rango de 49.76 a 52.23. Estos resultados se asemejan a los encontrados por Rodríguez et. al., (2014) donde se demuestra que hay variaciones en el color interno para todos los parámetros evaluados en papayas de los cultivares “Silvestre” y “Maradol Roja”. Por ejemplo, para la papaya del cultivar “Maradol Roja” mostró valores de 52.3, 48.5 y 3.5 para L^* , Chroma y $^{\circ}\text{Hue}$, respectivamente. Por otra

parte, la papaya del cultivar “Silvestre” mostró valores de 59.9, 49.0 y 12.2 para L*, Chroma y °Hue, respectivamente.

Tabla 5. Parámetros de color de la parte interna de papayas con los diferentes tratamientos.

Tratamiento	L*	Chroma	°Hue
Película de Quitosano	62.17ab	46.86a	49.64a
Película Cera de Caranauba	59.67a	51.14b	49.74a
Control	64.91b	47.45ab	53.67b

Medias seguidas por letra similar no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de diferencia significativa de Tukey.

Tabla 6. Parámetros de color de la parte interna de papayas durante el tiempo de almacenamiento.

Tiempo (Día)	L*	Chroma	°Hue
0	64.92a	42.41a	52.23a
3	63.09a	48.46b	52.08a
6	60.15a	50.70b	49.92a
9	63.71a	48.87b	51.09a
12	59.37a	51.99b	49.76a

Medias seguidas por letra similar no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de diferencia significativa de Tukey.

En la Figura 6 podemos observar que las papayas de todos los grupos tuvieron una disminución en la luminosidad (brillo) de la pulpa durante el tiempo de muestreo teniendo un color más opaco mientras pasa el tiempo.

La Figura 7 nos muestra que todos los tratamientos de las papayas bajo estudio mostraron un aumento en la saturación del color de la pulpa. Esto se debió al aumento de carotenoides en la fruta, uno de los pigmentos responsables de la coloración anaranjada-rojiza en la pulpa de la papaya, haciendo del color uno más oscuro a medida que transcurre la maduración del fruto.

En la Figura 8 podemos observar que todos los grupos de papayas tuvieron leves cambios en el valor de su tono, pero permaneciendo el mismo en uno rojizo a través de los días de

muestreo. Esto se debe a la presencia de carotenoides, el cual es el responsable de dicho color en la papaya.

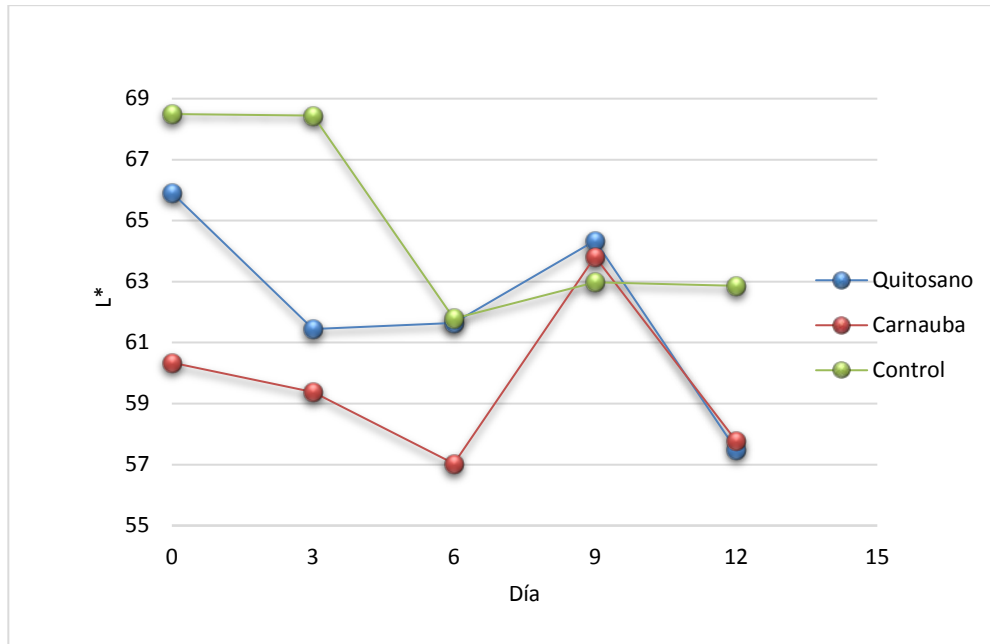


Figura 6: Luminosidad (L*) de papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ con respecto al día de muestreo para cada tratamiento.

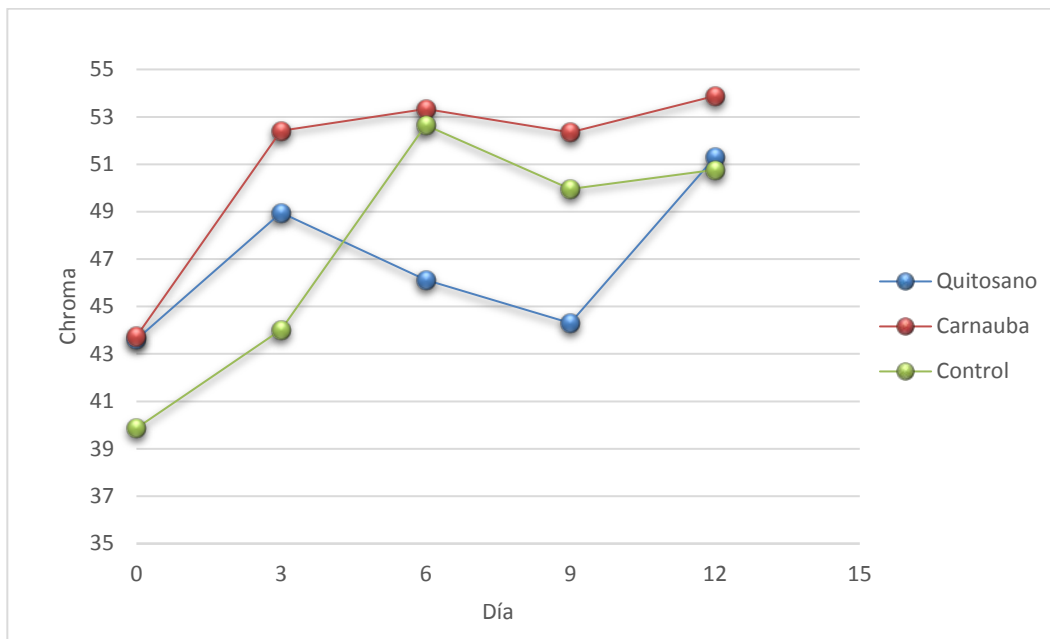


Figura 7: Valor Chroma (saturación) de papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ con respecto al día de muestreo para cada tratamiento.

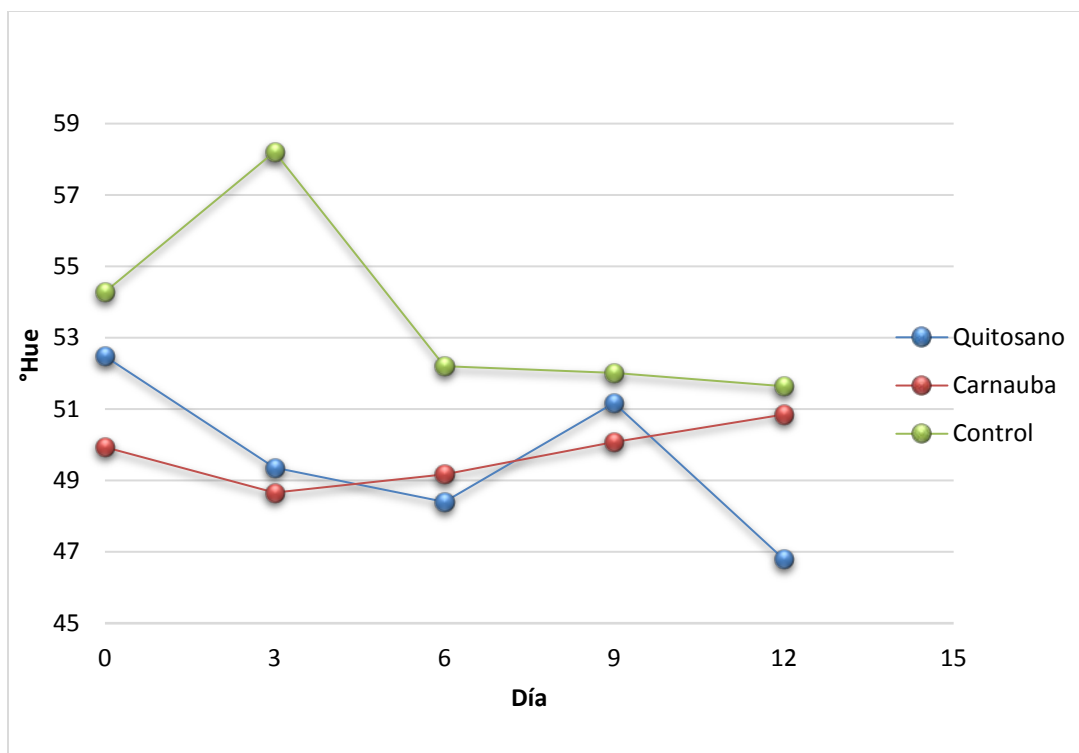


Figura 8: Valor de °Hue (tono) de papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ con respecto al día de muestreo para cada tratamiento.

4.5 Análisis químico

Para los resultados de pH, a_w , grados Brix y vitamina C para los diferentes tratamientos en las papayas hubo diferencias en los valores de a_w y vitamina C. Los grados Brix en el grupo control fue de 8.85, mientras que los grupos con la película de quitosano y los grupos con la película de cera de carnauba obtuvieron 9.37 y 9.62 grados, respectivamente (Tabla 7). Para vitamina C, con la película de quitosano se obtuvo 2.52 mg/100g, mientras que para los grupos control y los grupos con la película de cera de carnauba obtuvieron 3.52 y 3.58 mg/100g, respectivamente. Los valores de pH estuvieron en un rango de 5.26 a 5.43, mientras que los valores de a_w estuvieron en un rango de 0.98 a 0.99.

Los valores de pH y a_w no presentaron cambios a través del tiempo de almacenamiento. En cambio, para los grados Brix se mostró un aumento durante el tiempo de almacenamiento,

aunque del día 6 al día 9 se mostró una ligera disminución. Esto nos explica el comportamiento que presentan las frutas durante su proceso fisiológico de maduración en donde el contenido de grados Brix tiende a aumentar (Palacios, 1978).

Tabla 7. pH, a_w , grados Brix, y vitamina C en papayas bajo los diferentes tratamientos.

Tratamiento	pH	a_w	°Brix	Vit. C (mg/100g)
Película de Quitosano	5.43a	0.98a	9.37a	2.52a
Película Cera de Caranauba	5.26a	0.99b	9.62a	3.58b
Control	5.36a	0.99b	8.85a	3.52b

Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de diferencia significativa de Tukey.

En el caso de vitamina C hubo pequeñas fluctuaciones entre los valores, siendo la mayor del día 0 al día 3 con un aumento de 2.05 a 3.16, respectivamente (Tabla 8). Resultados similares fueron observados por Almeida-Castro et, al. (2011), en donde no hubo diferencias entre los valores obtenidos en pH en papayas recubiertas con película a base de almidón de yuca al 2% y su grupo control a través del tiempo de almacenamiento. Similarmente, para los valores de grados Brix se mostró un aumento a través del tiempo de almacenamiento para todos los grupos (recubiertos con almidón de yuca 2% y control), como pudo ser observado en éste estudio, aunque presentando valores más altos. Para el contenido de vitamina C, se mostró un aumento a través de los días de almacenamiento para todos los grupos con la película de almidón de yuca y el control, de la misma forma que se observó en éste estudio aunque presentando valores mucho menores (Almeida-Castro et al., 2011). En el caso de la actividad de agua (a_w) se obtuvieron resultados similares a los observados por Salamanca et. al., (2011) en donde reportaron resultados similares (0.972) en papayas de la variedad Maradol Roja. Los resultados obtenidos para el tiempo de almacenamiento, en este estudio se demostró que los valores de pH estuvieron

en un rango de 5.12 a 5.45, los valores de a_w se mantuvieron en 0.99, los valores de porcentaje de grados Brix estuvieron en un rango de 5.60 a 11.02 y los valores de Vitamina C estuvieron en un rango de 2.05 a 3.89 mg/100g. Contrario fue demostrado en el este estudio, Tezotto-Ultana et. al., (2014), similarmente demostró que el contenido de Vitamina C en frambuesas tratadas con quitosano sufrieron una reducción constante desde el día uno hasta el día 15 de observación (de 66.7 a 48.2 %, respectivamente).

Tabla 8. pH, a_w , grados Brix, y vitamina C de papayas durante el tiempo de almacenamiento.

Tiempo (Día)	pH	a_w	°Brix	Vit. C (mg/100g)
0	5.36a	0.99bc	5.60a	2.05a
3	5.12a	0.99c	8.88b	3.16b
6	5.41a	0.99ab	10.66c	3.89b
9	5.45a	0.99ab	10.22c	3.12b
12	5.36a	0.99a	11.02c	3.80b

Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de diferencia significativa de Tukey.

La Figura 9 nos muestra que al pasar los días de muestreo el valor de pH o la cantidad de acidez en las papayas se mantuvo relativamente constante en todos los grupos, siendo más notable del día 6 al 9 de muestreo. El mismo patrón lo podemos observar en los valores de actividad de agua (a_w), donde todos los grupos obtuvieron un valor constante durante todos los días de muestreo (Figura 10).

En la Figura 11 se observa que, en todos los grupos de papayas, tuvieron un aumento en el valor de sólidos solubles totales (°Brix) al finalizar en tiempo de muestreo. Este resultado se debió a que durante el proceso de maduración de las papayas, por medio de reacciones químicas, hubo formación de azúcares solubles en agua, como por ejemplo glucosa.

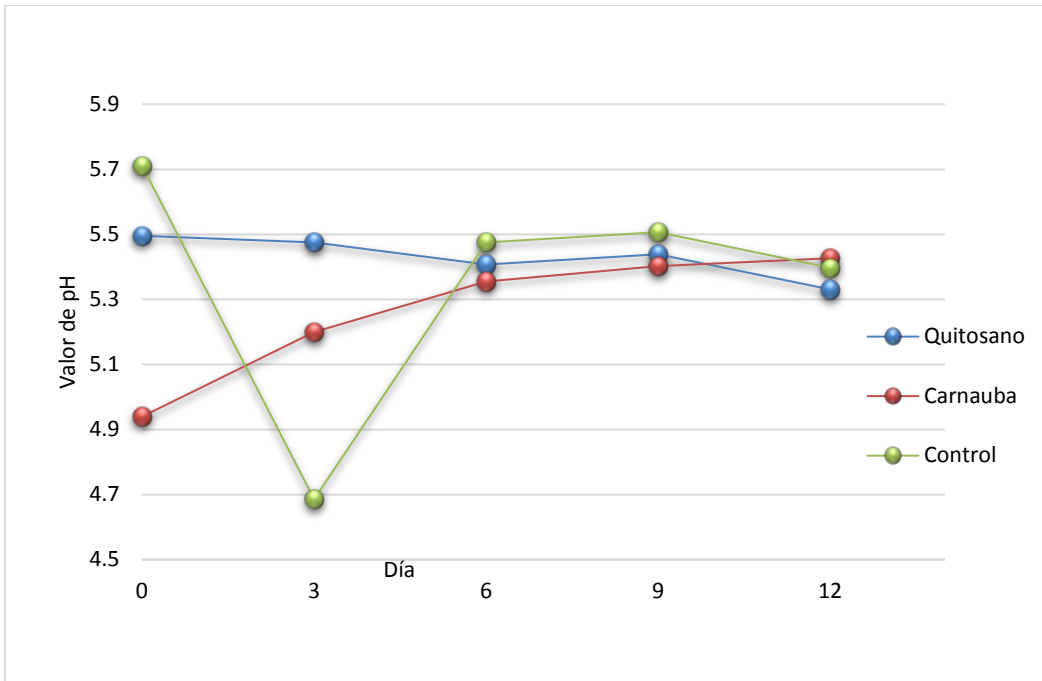


Figura 9: Valor de pH con respecto al día de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

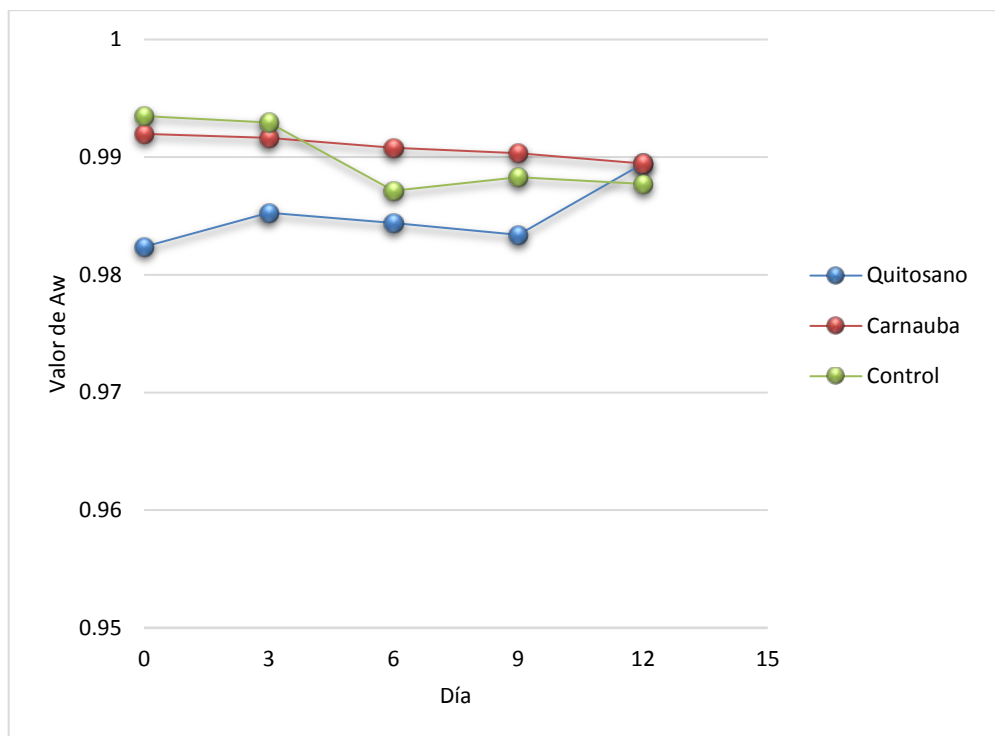


Figura 10: Valor de a_w con respecto al día de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

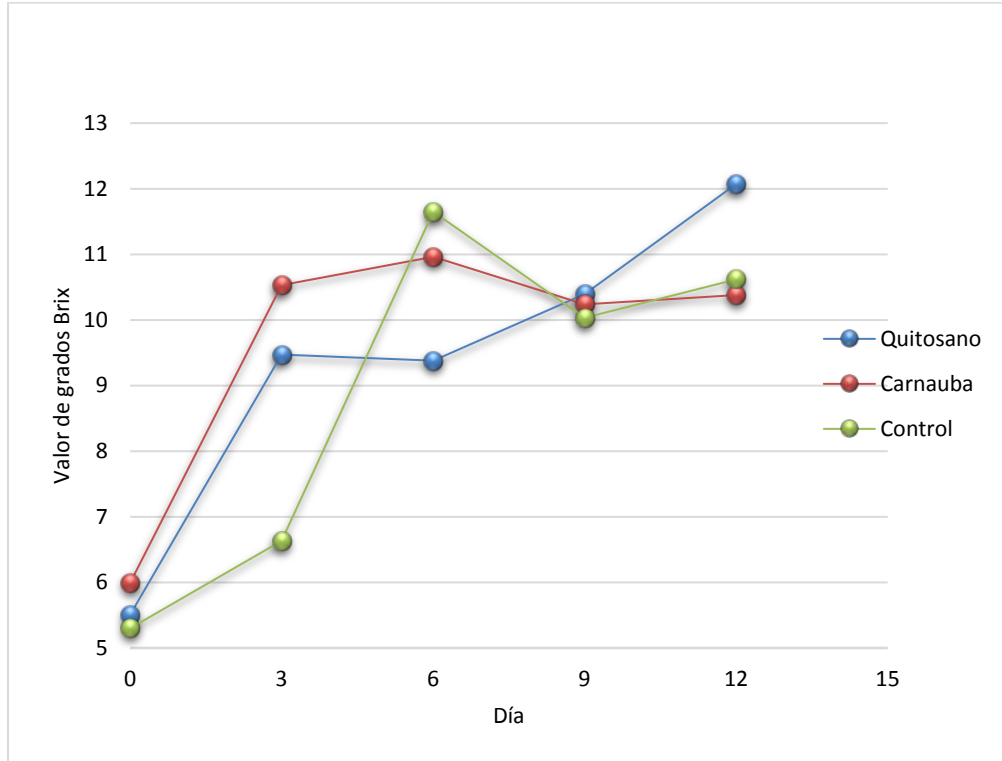


Figura 11: Valor de °Brix con respecto al día de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Durante el tiempo de muestreo, la cantidad menor de vitamina C ($\text{mg}/100\text{g}$) fue menor para las papayas tratadas con el recubrimiento a base de quitosano al 2% (Figura 12). En las papayas control y las tratadas con el recubrimiento a base de cera de carnauba al 33% con sorbato de potasio al 2% se mostraron fluctuaciones más notables durante los días de muestreo en comparación con las papayas tratadas con el recubrimiento a base de quitosano al 2%. Se observa una mayor cantidad de vitamina C, menor oxidación, en las papayas tratadas con el recubrimiento a base de cera de carnauba al 33% con sorbato de potasio al 2% en comparación con las tratadas a base de quitosano al 2%.

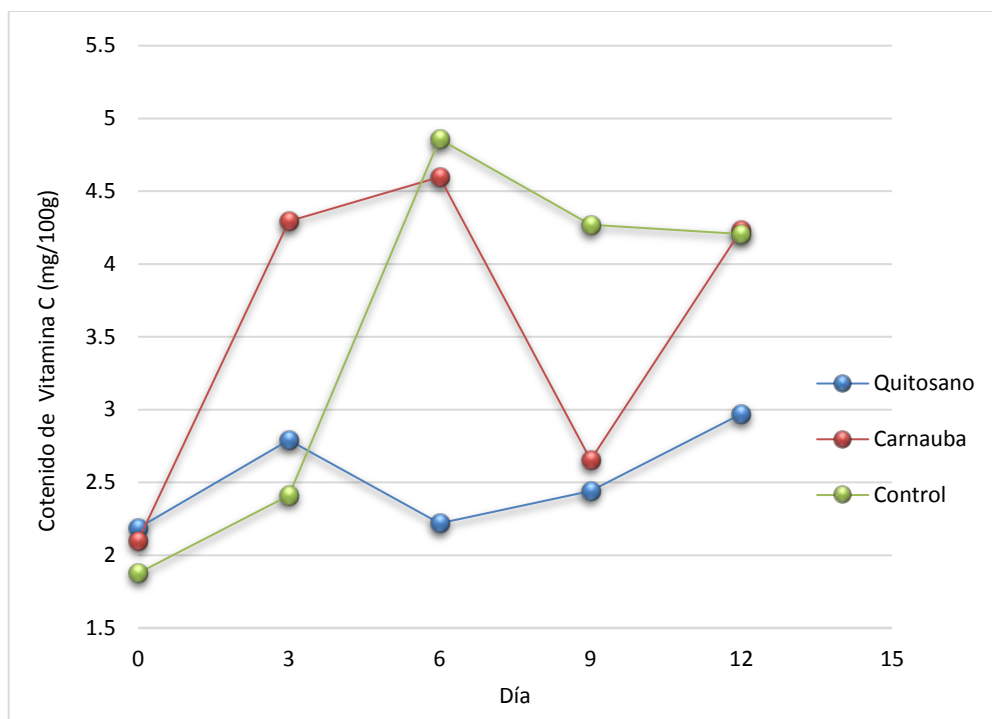


Figura 12: Contenido de Vitamina C (mg/100g) con respecto al día de muestreo para cada tratamiento en papayas almacenadas a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

5. Conclusiones

La película comestible que mostró una mayor inhibición en el crecimiento de microorganismos en las papayas fue la película a base de cera de carnauba con sorbato de potasio al 2%, demostrando así la efectividad del preservativo. El tratamiento a base de quitosano al 2% tuvo un recuento de hongos y levaduras de 2.32 y 2.03 log UFC/g, respectivamente. Por otro lado, para el grupo control el recuento de hongos y levaduras resultaron en 2.10 y 2.25 log UFC/g, respectivamente.

El tratamiento que mostró mejor apariencia al final del tiempo de almacenamiento a $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (12 días) lo fue el grupo tratado con la película de quitosano, en comparación con el grupo tratado con la cera de carnauba y el grupo control.

En general, ambos tratamientos, la película a base de quitosano y la película a base de cera de carnauba, presentaron buenas características debido a que las papayas presentaron mejor apariencia durante el periodo de almacenamiento. Además, los recuentos de hongos y levaduras fueron bajos, y no hubo diferencias significativas en las pruebas fisicoquímicas realizadas en comparación con el grupo control. Esto demuestra que la aplicación de las películas comestibles no afectan los parámetros de calidad de la fruta fresca, sino que mejora la calidad de las papayas.

Para futuras investigaciones con los mismos tratamientos utilizados en este estudio, se recomienda almacenar las papayas bajo otras condiciones y utilizar diferentes preservativos para evaluar su efecto en las características físico-químicas de las frutas. También se recomienda la aplicación de las películas por la técnica de aspersion y el uso de una corriente de aire estéril para poder reducir el tiempo de secado de las películas, de manera que se disminuye el riesgo de contaminación en las mismas. Además, estudiar el efecto del uso de plaguicidas con respeto a los tratamientos, y comparar con los resultados obtenidos en éste y otros estudios realizados en papayas, para beneficio de mercados orgánicos.

Literatura citada

- Aguilar, C., Reyes, M., De la Garza, H., y Contreras-Esquivel, J. (1999). Aspectos bioquímicos de la relación entre el escaldado TB-TL y la textura de vegetales procesados. *Revista de la Sociedad Química de México*. Vol. 43. Núm. 2. 54p.
- Almeida-Castro, A, Reis-Pimentel, J., Santos-Souza, D., Vieira de Oliveira, T. y da Costa-Oliveira, 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): 049-060.
- AOAC (1997). Official methods of analysis of AOAC International. Gaithersburg, MD, Estados Unidos. AOAC International.
- AOAC (1998). Official methods of analysis of AOAC International. Gaithersburg, MD, Estados Unidos. AOAC International.
- Arana, P. y Quijano, M. (2012). Extracción, caracterización y comparación de látex obtenido, en secado por aspersión, de tres variedades de Papaya (*Carica papaya* L.). Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. 18 -19 pp.
- Arango, L. (1999). Capítulo 2: Aspectos Botánicos. El cultivo de la papaya en los llanos orientales de Colombia. Manual de Asistencia Técnica No. 04. 14 pp.
- Arango, L. y Román, C. (1999a). Capítulo 1: Aspectos Agroeconómicos. El cultivo de la papaya en los llanos orientales de Colombia. Manual de Asistencia Técnica No. 04. 8 pp.
- Arango, L. y Román, C. (1999b). Capítulo 3: Requerimientos de clima y suelo. El cultivo de la papaya en los llanos orientales de Colombia. Manual de Asistencia Técnica No. 04. 25 pp.
- Arias, C. y Toledo, J. (2007b). Manual de Manejo Postcosecha de Frutas Tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 12 pp.
- Arias, C. y Toledo, J. (2007c). Manual de Manejo Postcosecha de Frutas Tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 14 - 15 pp.
- Arias, C. y Toledo, J. (2007d). Manual de Manejo Postcosecha de Frutas Tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 44 - 47 pp.
- Arias, C. y Toledo, J. (2007e). Manual de Manejo Postcosecha de Frutas Tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 51 - 52 pp.

- Arias, C. y Toledo, J. (2007f). Manual de Manejo Postcosecha de Frutas Tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 52 pp.
- Arias, C. y Toledo, J. (2007g). Manual de Manejo Postcosecha de Frutas Tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 54 - 55 pp.
- Bai RK, Huang MY y Jiang YY. (1988). Selective permeability's of chitosan-acetic acid complex membrane and chitosan-polymer complex membranes for oxygen and carbon dioxide. *Polym Bull* 20:83–8.
- Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O. y Baker, R.A. (1995). Edible Coatings for Lightly Processed Fruits and Vegetables. *HortScience*, 30 (1): 35-38.
- Ball, G.F.M. (2005). Vitamina C. *Vitamins in foods: analysis, bioavailability, and stability*. CRC Press. Boca Raton, Florida. 289-308 pp.
- Barrera, E., Gil, M., García, C.M., Durango, D.L., y Gil, J.H. (2012). Empleo de un Recubrimiento Formulado con Propóleos para el Manejo Poscosecha de Frutos de Papaya (*Carica papaya* L. cv. Hawaiana). *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* 65(1): 6497-6506.
- Bautista-Baños, S., Sivakumar, D., Bello-Pérez, A., Villanueva-Arce, R. y Hernández-López, M. (2013). A review of the management alternatives for controlling fungi on papaya fruit during the postharvest supply chain. *Crop Protection* 49, 8-20.
- Bello Gutiérrez, J. (2000). *Ciencia bromatológica. Principios generales de los alimentos*. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid.
- Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*. Vol.15(3).
- Brul, S., y Coote, P. (1999). Preservative agents in foods: mode of action and microbial resistance mechanisms. *International Journal of Food Microbiology* 50, 1-17.
- Buck, R. P., Rondinini, S., Covington, A. K., Baucke, F. G. K., Brett, C. M. A., Camões, M. F., Milton, M. J. T., Mussini, T., Naumann, R., Pratt, K. W., Spitzer, P. y Wilson, G. S. (2002). Measurement of pH. Definition, Standards, and Procedures. *Pure Appl. Chem.*, Vol. 74, No. 11, 2172p.
- Cerdas, M. y Vinicio, M. (1993). Diagnóstico sobre Manejo Poscosecha de Papaya (*Carica papaya*) en Paquera, Puntarenas. *Agronomía Costarricense* 17(2): 49 pp.
- Clayton, K., Bush, D. y Keener, K. (s.f). *Métodos para la conservación de alimentos. Emprendimientos alimentarios*. Recuperado de: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/FS/FS-15-S-W.pdf>

- Control de Calidad. s.f.. Recuperado el 17 de mayo de 2015, de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obpulpfru/p7.htm>
- De la Cruz, J., P. Ramírez y H. García. (2007). Estudio del efecto de la maduración acelerada y la refrigeración sobre la fisiología de la papaya Maradol (Carica papaya L.). 199-206 pp.
- Donhowe, I. G. y Fennema, O. R. (1993). The effects of plasticizers on crystallinity, permeability, and mechanical properties of methylcellulose films. *Journal of Food Processing and Preservation* 17:247-257pp.
- Dotto, G., Vieira, M. y Pinto, L. (2015). Use of chitosan solutions for the microbiological shelf life extension of papaya fruits during storage at room temperature. *LWT-Food Science and Technology* 64, 126-130.
- El Ghaouth A, Arul J, Grenier J. y Asselin A. (1992). Antifungal activity of chitosan on two postharvest pathogens of strawberry fruits. *Phytopathology* 82(4):398–402pp.
- EU, (2008). Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives. OJ L 354, 16-33pp.
- Fang S.W., Li C.F. y Shih D.Y.C. (1994). Antifungal activity of chitosan and its preservative effect on low-sugar candied kumquat. *J Food Prot* 57:136–40.
- FAO. (1999). *Production Yearbook*.
- Gamagae, S.U., Sivakumar D., Wilson Wijeratnam, R.S. y Wijesundera, R.L. (2003). Use of sodium bicarbonate and *Candida oleophila* to control anthracnose in papaya during storage. *Crop Protection* 22(5):775–779pp.
- García Calabuig, G. (2012). *Texturometría Instrumental: Puesta a punto y aplicación a la Tecnología de Alimentos*. Proyecto de Tesis. Universidad de Oviedo. 2-9 pp.
- García, M. A., Martino, M. N., y Zaritzky, N. E. (1998). Plasticized starch-based coatings to improve strawberry (*Fragaria* × *Ananassa*) quality and stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46(9), 3758-3767.
- Giusiano, G. (s.f.). *Micología general*. Cátedra de Microbiología, Parasitología e Inmunología. Recuperado el 21 de junio de 2016 de: <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/catmicromed/APUNTE%20Micologia%20general.pdf>
- González Cárdenas, I. (2010). Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) colombiana. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. 1-11pp.
- González, G.A., Buta, J.G. y Wang, C.Y. (2003). Methyl jasmonate and modified atmosphere packaging (MAP) reduce decay and maintain postharvest quality of papaya. 'Sunrise'. *Postharvest Biology and Technology* 28(3): 361-370pp.

- Guzmán, G. (1998). *Guía para el cultivo de la papaya : Carica papaya L.* San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Sistema Unificado de Información Institucional Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria en Costa Rica. 48- 51pp.
- Hagenmaier, R.D. y Shaw, P.E. (1991). Permeability of Shellac Coatings to Gases and Water Vapor. *J. Agric. Food. Chem.* 39:825-829pp.
- Hagenmaier, R.D. y Shaw, P.E. (1992). Gas Permeability of Fruit Coating Waxes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 105-109pp.
- Han, C., Zhao, Y., Leonard, S.W. y Traber, M.G. (2004). Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biol Technol* 33:67–78pp.
- Han, C., Lederer, C., McDaniel, M. y Zhao, Y. (2005). Sensory evaluation of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) coated with chitosan-based edible coatings. *J Food Sci* 70(3):S172–8.
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Ocio, M.J. y Gavara, R. (2006). Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Postharvest Biol Technol* 39:247–253pp.
- Kader, A. (1992). *Postharvest Technology of Horticultural Crops.* Univ. Calif. Publ. 3311. 311-314 pp.
- Kester, J.J. y Fennema, O.R. (1986). Edible films and coatings: a review. *Food Technol* 60:47–59pp.
- Krochta, J. M. y Mulder-Johnston, C. D. (1997). Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technology* 51(2): 61-74pp.
- LabFerrer – AquaLab. (2014). Fundamentos de actividad de agua. Recuperado el 21 de junio de 2016 de: <http://blog.actividaddeagua.com/wp-content/uploads/2014/05/Fundamentos-de-actividad-de-agua.pdf>
- Lado, J., Luque, E., Oribe, B. y Pérez, E. (2011). Evaluación de alternativas para el control poscosecha de aislamientos de *Penicilium digitatum* resistentes a imazalil. *Agrociencia Uruguay.* Vol. 15. 1:55-63 pp.
- Leuba, J.L. y Stössel, P. (1986). Chitosan and other polyamines: antifungal activity and interaction with biological membranes. In: Muzzarelli R, Jeuniaux C, Gooday GW, editors. *Chitin in nature and technology.* New York: Plenum Press. 215–222pp.
- Lobo, M. (1995). Caracterización Bioquímica de Frutos de Papaya (*Carica papaya*, cv. *Sunrise*), Hembra y Hermafrodita, en Relación con su Aptitud al Procesado por Congelación. Tesis Doctoral de Universidad Complutense de Madrid. 1p.

- McGuire, R. (1992). Reporting of objective color measurements. *Hort-Science* 27. 1254-1255pp.
- Milanovic, J. Manojlovic, V., Levic, S., Rajic, N., Nedovic, V. y Bugarski, B. (2010). Microencapsulation of Flavors in Carnauba Wax. *Sensors Journal*, 10, 901-912pp.
- Montesinos-Herrero, C., del Río, M.Á., Pastor, C., Brunetti, O., y Palou, L. (2009). Evaluation of brief potassium sorbate dips to control postharvest penicillium decay on major citrus species and cultivars. *Postharvest Biology and Technology* 52, 117-125.
- No, H.K., Meyers, S.P, Prinyawewatkul, W. y Xu, Z. (2007). Applications of Chitosan for Improvement of Quality and Shelf Life of Foods: A Review. *Journal of Food Science*. Vol. 72. Nr. 5.
- Novasina. s.f. La importancia de la aw-Actividad del Agua. Equinlab. Recuperado de <http://www.equinlab.com/pdf /La%20importancia%20de%20la%20actividad%20de%20agua%20%28aw%29.pdf>
- Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M. A., González L. A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M. I., Pérez, I., Fiszman, S., y Martín-Belloso, O. (2010). Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: a review. *Postharvest Biology and Technology* 57, 139-148.
- Palacios, J. (1978). *Citricultura moderna*. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 409 p.
- Papineau, A.M., Hoover, D.G., Knorr, D. y Farkas, D.F. (1991). Antimicrobial effect of water soluble chitosans with high hydrostatic pressure. *Food Biotechnol* 5:45–57pp.
- Park, S.I., Stan, S.D., Daeschel, M.A. y Zhao, Y. (2005). Antifungal coatings on fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) to control mold growth during cold storage. *J Food Sci* 70(4):M202–7.
- Rey, V. (1999). Capítulo 8: Enfermedades y su manejo. El cultivo de la papaya en los llanos orientales de Colombia. Manual de Asistencia Técnica No. 04. 66 - 67pp.
- Rodríguez, J., Díaz, Y., Pérez, A., Natali, Z. y Rodríguez, P. (2014). Evaluación de la calidad y el rendimiento en papaya Silvestre (*Carica papaya* L.) de Cuba. *Cultivos Tropicales*. Vol. 35. Núm 39 p.
- Salamanca, G., Osorio, T., Nelson, R. y Abril, R. (2011). Propiedades fisicoquímicas termofísicas y reológicas de cremogenados de frutas tropicales. Recuperado de http://www.acyja.com/documentos/Comunicaciones_Congresos/2011/PA%20054.pdf

- Serra, H. y Cafaro, T. (2007). Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*. Vol. 41. Núm 4. 526 – 529 pp.
- Shellhammer, T., Rumsey, T. y Krochta, J. (1997). Viscoelastic properties of edible lipids. *J Food Eng.* 33. 305-320pp.
- Skurtys, O., Acevedo, C., Pedreschi, F., Enrione, J., Osorio, F., y Aguilera, J. (2010). Introduction. *Food Hydrocolloid Edible Films and Coatings*. 1p.
- Sudarshan, N.R., Hoover, D.G. y Knorr, D. (1992). Antibacterial action of chitosan. *Food Biotechnol* 6:257–72.
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*. 13. 215 – 225pp.
- Terry, L. (2010). Health-promoting properties of fruits and vegetables. CABI Publishing. Cambridge. 400p.
- Tezotto-Uliana, J., Possati, G., Geerdink, G. y Kluge, R. (2014). Chitosan applications pre- or postharvest prolong raspberry shelf-life quality. *Postharvest Biology and Technology*. 91:72-77 pp.
- Tortora, G. y Grabowski, S. (1998). Principios de anatomía y fisiología. Harcourt Brace. Séptima edición. 849p.
- Valencia-Chamorro, S. A., Pérez-Gago, M. B., del Río, M. Á. y Palou, L. (2009). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)–lipid edible composite coatings on postharvest decay development and quality attributes of cold-stored ‘Valencia’ oranges. *Postharvest Biology and Technology* 54 (2), 72-79 pp.
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A. y González-Martínez, C. (2006). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biol Technol* 41:164–71 pp.
- Vega Galvéz, A., Lara Aravena, E. y Lemus Mondaca, R. (2006). Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.). *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 26(4): 821p.
- Wan, V.C.H., Kim, M.S. y Lee, S.Y. (2005). Water vapor permeability and mechanical properties of soy protein isolate edible films composed of different plasticizer combinations. *J Food Sci* 70:E387–91.
- World Health Organization. (2004). Vitamin and mineral requirements in human nutrition. Segunda edición. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241546123_chap7.pdf

Young, D.H., Kohle, H. y Kaus, H. (1982). Effect of chitosan on membrane permeability of suspension cultured *Glycinemax* and *Phaseolusvulgaris* cells. *PlantPhysiol*70:1449–54.

Anexos:

Tabla 9: Clasificación de productos hortícolas de acuerdo a sus tasas de respiración.

Clase	Rango a 5°C (41°F) (mg CO ₂ /kg-hr)*	Productos
Muy baja	<5	Nueces, dátiles, frutas y hortalizas secas
Baja	5-10	Manzana, cítricos, uva, kiwi, ajo, cebolla, papa (madura), camote, betabel, apio, arándano, melón, honeydew, papaya, persimonia, piña, sandía
Moderada	10-20	Chabacano, banana, cereza, Durazno, nectarine, pera, ciruela, higo, col, zanahoria (sin hojas), lechuga "iceberg", pimiento, tomate, papa (inmadura), pepino, aceituna, rábano (sin hojas), calabacita, arándano azul, melón cantalup, celeriac, mango
Alta	20-40	Fresa, zarzamora, frambuesa, coliflor, zanahoria (con hojas), poro, aguacate, lechugas, frijol lima, rábano (con hojas)
Muy alta	40-60	Alcachofa, germinados, brocoli, col de bruselas, florescortados, cebollín, oca, ejote, endivia, berro, col de hoja
Extremadamente alta	>60	Espárragos, champiñón, perejil, chícharo, espinaca, maíz dulce

*Calor vital (btu/ton/24horas) = mg CO₂/kg-hr x 220.

Calor vital (kcal/1000kg/24 horas) = mg CO₂/kg-hr x 61.2.

(Recuperado de: Kader, A. 1992. Postharvest Technology of Horticultural Crops. Univ. Calif. Publ. 3311. 312p.)

Tabla 10: Clasificación de algunos frutos de acuerdo a su comportamiento respiratorio durante la maduración.

Frutas Climatéricas		Frutas No-Climatéricas	
Aguacate	Higo	Aceitunas	Loquat
Arándano azul	Jaca	Berenja	Mandarina
Bananos	Kiwi	Cacao	Marañón
Biriba	Mango	Calabacita	Naranja
Chabacano	Manzana	Carambola	Oca
Cherimoya	Melón Cantalup	Cereza	Pepino
Chicosapote	Membrillo	Chícharo	Pimenton
Ciruela	Nectarina	Dátil	Piña
Durazno	Papaya	Frambuesa	Sandía
Durian	Pera	Fresa	Tangarina
Feijoa	Persimonia	Granada	Tomate de árbol
Fruta del pan	Plátano Rambutan	Jujube	Toronja
Fruta de la pasión (Parcha)	Sapotes	Limón	Tunas
Guanábana	Tomate	Limón amarillo	
Guayaba		Litchi	Uva
		Longan	Zarzamora

(Recuperado de: Kader, A. 1992. Postharvest Technology of Horticultural Crops. Univ. Calif. Publ. 3311. 313p.)

Figura 13: Grados de maduración beta de la papaya tipo híbrida variedad Tainung-1



Foto suministrada por Finca González

Resultados obtenidos en programa estadístico Infostat

Conteo de Hongos en Petrifilm 3M

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
log CFU/g	135	0.16	0.06	120.29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	56.84	14	4.06	1.63	0.0816
Dia	7.49	4	1.87	0.75	0.5602
TRAT	29.46	2	14.73	5.90	0.0036
Dia*TRAT	19.90	8	2.49	1.00	0.4427
Error	299.66	120	2.50		
Total	356.50	134			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.63149

Error: 0.7209 gl: 128

Dia	Medias	n	E.E.		
3	1.35	27	0.16	A	
0	1.38	27	0.16	A	
6	1.97	27	0.16	A	B
9	2.36	27	0.16		B
12	2.46	27	0.16		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.42014

Error: 0.7209 gl: 128

TRAT	Medias	n	E.E.		
2	1.29	45	0.13	A	
3	2.10	45	0.13		B
1	2.32	45	0.13		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Conteo de Levaduras en Petrifilm 3M

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
log CFU/g	135	0.11	0.01	203.59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	73.30	14	5.24	1.06	0.4048
Dia	22.65	4	5.66	1.14	0.3404
TRAT	17.50	2	8.75	1.76	0.1758
Dia*TRAT	33.15	8	4.14	0.84	0.5733
Error	595.32	120	4.96		
Total	668.62	134			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.68864

Error: 0.8573 gl: 128

Dia	Medias	n	E.E.				
0	1.28	27	0.18	A			
3	1.46	27	0.18	A	B		
6	2.11	27	0.18		B	C	
9	2.67	27	0.18			C	D
12	2.92	27	0.18				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.45816

Error: 0.8573 gl: 128

TRAT	Medias	n	E.E.	
2	1.98	45	0.14	A
1	2.03	45	0.14	A
3	2.25	45	0.14	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Pérdida de Peso

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Per.Peso	45	0.90	0.86	21.56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10.29	14	0.74	20.03	<0.0001
Dia	9.12	4	2.28	62.12	<0.0001
TRAT	0.73	2	0.37	10.00	0.0005
Dia*TRAT	0.44	8	0.05	1.50	0.2005
Error	1.10	30	0.04		
Total	11.39	44			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.27169

Error: 0.0405 gl: 38

Dia	Medias	n	E.E.		
0	0.00	9	0.07	A	
6	0.99	9	0.07		B
3	1.11	9	0.07		B
9	1.12	9	0.07		B
12	1.22	9	0.07		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.17927

Error: 0.0405 gl: 38

TRAT	Medias	n	E.E.		
1	0.79	15	0.05	A	
2	0.81	15	0.05	A	
3	1.07	15	0.05		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Textura

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Textura	45	0.71	0.57	14.61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11.04	14	0.79	5.21	0.0001
Dia	4.45	4	1.11	7.36	0.0003
TRAT	4.72	2	2.36	15.63	<0.0001
Dia*TRAT	1.86	8	0.23	1.54	0.1851
Error	4.53	30	0.15		
Total	15.57	44			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.55378

Error: 0.1684 gl: 38

Dia	Medias	n	E.E.		
0	2.27	9	0.14	A	
3	2.43	9	0.14	A	
6	2.63	9	0.14	A	B
9	2.78	9	0.14	A	B
12	3.18	9	0.14		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.36540

Error: 0.1684 gl: 38

TRAT	Medias	n	E.E.		
2	2.29	15	0.11	A	
1	2.61	15	0.11	A	
3	3.08	15	0.11		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Color

Parámetro L*

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
L	45	0.40	0.12	8.37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	544.79	14	38.91	1.43	0.1975
Dia	203.73	4	50.93	1.88	0.1402
TRAT	206.44	2	103.22	3.81	0.0337
Dia*TRAT	134.62	8	16.83	0.62	0.7538
Error	813.66	30	27.12		
Total	1358.45	44			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.74219

Error: 24.9547 gl: 38

Dia	Medias	n	E.E.	
12	59.37	9	1.67	A
6	60.15	9	1.67	A
3	63.09	9	1.67	A
9	63.71	9	1.67	A
0	64.92	9	1.67	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.44863

Error: 24.9547 gl: 38

TRAT	Medias	n	E.E.		
2	59.67	15	1.29	A	
1	62.17	15	1.29	A	B
3	64.91	15	1.29		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Parámetro Chroma

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Chroma	45	0.63	0.46	8.28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	838.27	14	59.88	3.71	0.0013
Dia	488.54	4	122.14	7.57	0.0002
TRAT	161.61	2	80.81	5.01	0.0132
Dia*TRAT	188.12	8	23.51	1.46	0.2140
Error	483.74	30	16.12		
Total	1322.01	44			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.74453

Error: 17.6805 gl: 38

TRAT	Medias	n	E.E.		
1	46.86	15	1.09	A	
3	47.45	15	1.09	A	B
2	51.14	15	1.09		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.67507

Error: 17.6805 gl: 38

Dia	Medias	n	E.E.		
0	42.41	9	1.40	A	
3	48.46	9	1.40		B
9	48.87	9	1.40		B
6	50.70	9	1.40		B
12	51.99	9	1.40		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Parámetro Hue

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hue	45	0.52	0.30	6.10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	317.58	14	22.68	2.34	0.0249
Dia	48.34	4	12.09	1.25	0.3128
TRAT	158.53	2	79.27	8.17	0.0015
Dia*TRAT	110.71	8	13.84	1.43	0.2261
Error	290.99	30	9.70		
Total	608.57	44			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.38814

Error: 10.5709 gl: 38

Dia	Medias	n	E.E.	
12	49.76	9	1.08	A
6	49.92	9	1.08	A
9	51.09	9	1.08	A
3	52.08	9	1.08	A
0	52.23	9	1.08	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.89539

Error: 10.5709 gl: 38

TRAT	Medias	n	E.E.	
1	49.64	15	0.84	A
2	49.74	15	0.84	A
3	53.67	15	0.84	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

pH

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	45	0.51	0.28	5.36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.59	14	0.18	2.25	0.0306
Dia	0.62	4	0.16	1.89	0.1387
TRAT	0.20	2	0.10	1.24	0.3030
Dia*TRAT	1.76	8	0.22	2.68	0.0237
Error	2.47	30	0.08		
Total	5.05	44			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.45020

Error: 0.1113 gl: 38

Dia	Medias	n	E.E.
-----	--------	---	------

3	5.12	9	0.11	A
0	5.38	9	0.11	A
12	5.38	9	0.11	A
6	5.41	9	0.11	A
9	5.45	9	0.11	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.29705

Error: 0.1113 gl: 38

TRAT	Medias	n	E.E.	
2	5.26	15	0.09	A
3	5.36	15	0.09	A
1	5.43	15	0.09	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

aw

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
a _w	45	0.94	0.91	0.12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5.8E-04	14	4.1E-05	31.45	<0.0001
Dia	6.5E-05	4	1.6E-05	12.42	<0.0001
TRAT	4.4E-04	2	2.2E-04	167.78	<0.0001
Dia*TRAT	7.2E-05	8	9.0E-06	6.87	<0.0001
Error	3.9E-05	30	1.3E-06		
Total	6.2E-04	44			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00232

Error: 0.0000 gl: 38

Dia	Medias	n	E.E.		
12	0.99	9	5.7E-04	A	
9	0.99	9	5.7E-04	A	B
6	0.99	9	5.7E-04	A	B
0	0.99	9	5.7E-04	B	C
3	0.99	9	5.7E-04		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00153

Error: 0.0000 gl: 38

TRAT	Medias	n	E.E.	
1	0.98	15	4.4E-04	A
3	0.99	15	4.4E-04	B
2	0.99	15	4.4E-04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Grados Brix

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
grad. Brix	45	1.00	1.00	1.50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	214.37	14	15.31	795.83	<0.0001
Dia	175.87	4	43.97	2285.16	<0.0001
TRAT	4.66	2	2.33	121.22	<0.0001
Dia*TRAT	33.83	8	4.23	219.81	<0.0001
Error	0.58	30	0.02		
Total	214.95	44			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.28436

Error: 0.9056 gl: 38

Dia	Medias	n	E.E.	
0	5.60	9	0.32	A
3	8.88	9	0.32	B
9	10.22	9	0.32	C
6	10.66	9	0.32	C
12	11.02	9	0.32	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.84745

Error: 0.9056 gl: 38

TRAT	Medias	n	E.E.	
3	8.85	15	0.25	A
1	9.37	15	0.25	A
2	9.62	15	0.25	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Vitamina C

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ác. Ascórbico	45	0.97	0.95	7.14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	47.39	14	3.39	64.62	<0.0001
Dia	19.47	4	4.87	92.91	<0.0001
TRAT	10.60	2	5.30	101.20	<0.0001
Dia*TRAT	17.32	8	2.17	41.33	<0.0001
Error	1.57	30	0.05		
Total	48.96	44			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.95164

Error: 0.4972 gl: 38

Dia	Medias	n	E.E.	
-----	--------	---	------	--

0	2.05	9	0.24	A	
9	3.12	9	0.24		B
3	3.16	9	0.24		B
12	3.80	9	0.24		B
6	3.89	9	0.24		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.62791

Error: 0.4972 gl: 38

TRAT	Medias	n	E.E.		
1	2.52	15	0.18	A	
3	3.52	15	0.18		B
2	3.58	15	0.18		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)