



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**“Efecto del tratamiento con cloruro de calcio y nanocápsulas en un líquido de
cobertura en pitahaya (*Hylocereus undatus*) cortada refrigerada”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA

Anel Casas Sánchez

ASESORES

Dra. Maria de la luz Zambrano Zaragoza

I.A Alfredo Álvarez Cárdenas

CUAUTITLÁ IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Efecto del tratamiento con cloruro de calcio y nanocápsulas en un líquido de cobertura en pitahaya (*Hylocereus undatus*) cortada refrigerada.

Que presenta la pasante: Anel Casas Sánchez

Con número de cuenta: 413110981 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 18 de Mayo de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.A. Francisco Javier López Martínez	
VOCAL	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	
1er. SUPLENTE	Dr. Enrique Fuentes Prado	
2do. SUPLENTE	M.N.H. Juana Gutiérrez Bautista	

NOTA: los sindicales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga*

AGRADECIMIENTOS

- El PAPIIT **IT201617**, “Efecto de recubrimientos nanopartículados y tratamiento con luz UV-C sobre la actividad antioxidante, enzimática e integridad de frutas y hortalizas cortadas. de la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-UNAM).
- El proyecto PAPIME: **PE103915 “Diseño y Construcción de Equipo Didáctico para Mejorar la Enseñanza de los Procesos y Sistemas Frigoríficos”**. de la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-UNAM).
- Además, Anel Casas Sánchez agradece la beca otorgada por el proyecto **PAPIIT IT200814 “Desarrollo de sistemas nanopartículados alimenticios para incrementar la vida útil y nutracéuticas de frutas frescas cortadas y bebidas de frutas”** de la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-UNAM).
- A su vez, Anel Casas Sánchez agradece el apoyo técnico para la realización de pruebas físicoquímicas y texturales de la Dra. María de los Ángeles Cornejo Villegas, en el Laboratorio de Transformación y Tecnologías Emergentes de Alimentos de la UIM.
- *A Dios.*
Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

- *A mis padres:*

Esteban Casas y Concepción Sánchez por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ellos incluyendo este. Por su apoyo incondicionalmente en la parte moral y económica en mi vida, por sus consejos, paciencia y amor, porque todo lo que hoy soy es gracias a ellos.

- *A mis amigos:*

Jorely, Leslie, mis hermanas de otra madre que durante toda la universidad nos hemos apoyado y animado, que sin duda alguna son unas de las mejores personas que conozco gracias por su apoyo niñas las quiero mucho.

A Samy que fue una de las primeras amistades que forme en la universidad y es como un hermano para mí.

A Oliver, Octavio, Pedrito por esas largas pláticas y convivencias, por siempre tratar de sacar lo mejor de mí como persona.

Gracias por todos los momentos, que hemos pasado juntos.

- *A mis directores de tesis.*

Dra. María de la Luz Zambrano y al I.A. Alfredo Álvarez por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis, por compartir su experiencia y conocimientos durante este tiempo, agradeciendo la oportunidad de conocerlos.

- *A mis sinodales:*

Profesor Francisco J. López, maestra Julieta González, Doc. Enrique Fuentes y maestra Juanita Gutiérrez, por su tiempo, paciencia y aportaciones a este trabajo.

- *A la Universidad Nacional Autónoma de México:*

Por ser la institución que hizo toda esta experiencia posible, por formarme un espíritu universitario de investigación y por qué aquí conocí a personas excepcionales, de las cuales siempre llevaré un grato recuerdo.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	
1.1 Pitahaya	1
1.1.1 Morfología	2
1.1.2 Pitahaya rosada (<i>Hylocereus undatus</i>)	4
1.1.3 Estado de madurez	5
1.1.4 Usos y valor nutritivo de la pitahaya <i>Hylocereus undatus</i>	6
1.1.5 Pitahaya rosada (<i>Hylocereus undatus</i>) y su producción	7
1.2 Alimentos mínimamente procesados	8
1.3 Tecnologías aplicadas en conservación de frutos mínimamente procesados	11
1.3.1 Bajas temperaturas	11
1.3.2 Recubrimientos y películas comestibles	12
1.3.3 Atmósferas modificadas	12
1.3.4 Nanotecnología	13
1.3.5 Nanotecnología y su regulación en los alimentos	13
1.3.6 Líquidos de cobertura	16
1.3.7 Agentes funcionales del líquido de cobertura	16
1.3.7.1 Inulina	16
1.3.7.2 Cloruro de calcio	17
1.3.7.3 Ácido cítrico	18
1.3.7.4 Glucosa Anhidra	18
1.3.7.5 Antioxidantes	18
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	
2.1 Problema	21
2.2 Objetivo general	21
2.3. Objetivos particulares	22
2.4 Selección de variables	22
2.5 Tratamiento de resultados	22
2.6 Actividades preliminares	23
2.6.1 Caracterización de la pitahaya fresca	23

2.6.2	Caracterización de la cámara de refrigeración	23
2.6.3	Comportamiento de pitahaya fresca cortada en medio acuoso	24
2.6.4	Elaboración de líquido de cobertura	25
2.6.5	Selección de materia prima	26
2.6.6	Elaboración de las muestras	26
2.6.7	Proceso de envasado	26
2.7	Actividades experimentales	27
2.7.1	Cantidad O ₂ y CO ₂ presente en el espacio libre de cabeza	27
2.7.2	Determinación de peso	27
2.7.3	Evaluación de color	27
2.7.4	Evaluación de Textura	28
2.7.5	Evaluación turbidez	29
2.7.6	Evaluación de pH	30
2.7.7	Determinación ácido ascórbico	30
2.7.8	Evaluación de °Brix	31
2.7.9	Concentraciones de polifenoles totales	31
2.7.10	Análisis sensorial	32
CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
3.1	Caracterización de la pitahaya natural	33
3.2	Caracterización de la cámara de refrigeración	34
3.3	Concentración O ₂ y CO ₂ presente en el espacio libre de cabeza	34
3.4	Determinación de peso	38
3.5	Evaluación de color	39
3.6	Evaluación de turbidez	44
3.7	Evaluación de pH	46
3.8	Determinación ácido ascórbico	48
3.9	Evaluación de °Brix	49
3.10	Concentraciones de polifenoles totales	51
3.11	Evaluación de textura	53
3.12	Análisis sensorial	58
CONCLUSIONES		61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		63

ÍNDICE DE FIGURAS

Núm.	Descripción de figura	Página
Figura		
1	Distribución de pitahaya y sus variedades (Sagarpa, 2009).	2
2	Raíz de pitahaya.	3
3	Tallo de pitahaya.	3
4	Flor de pitahaya (Le bellec, 2006).	4
5	Pitahaya <i>Hylocereus undatus</i> (Osuna et al., 2011).	5
6	Estados de madurez (Osuna et al., 2011).	6
7	Alimentos mínimamente procesados (Dica inventa, 2005).	9
8	Esquematización de tamaños de partícula.	14
9	Método de acción de un antioxidante.	19
10	Ubicación de termohigrómetro dentro de la cámara de refrigeración.	24
11	Pitahaya cortada y empaque para envasar.	24
12	Elaboración de pitahaya fresca cortada.	26
13	Cubos de pitahaya envasados.	
14	Agrocolorímetro APOLLINARAIRE ®.	27
15	Texturometro Brookfield CT3.	28
16	Turbidímetro ratio WGZ-200.	29
17	Potenciómetro HANNA ®.	29
18	Determinación vitamina C.	30
19	Refractómetro HANNA HI 96801.	31
20	Cuestionario del análisis sensorial.	32
21	Temperatura y humedad relativa dentro de la cámara de refrigeración.	32
22	Producción de CO ₂ en el espacio libre de cabeza en pitahaya fresca cortada inmersa en líquido de cobertura.	34
23	Cambios en la concentración de O ₂ durante el almacenamiento de pitahaya fresca corta inmersa en un líquido de cobertura.	36
24	Determinación de peso debido al drenado y migración de sólidos hacia el líquido de cobertura.	37
25	Escala de L (Sève, Robert ,2009).	39

26	Luminosidad con diferentes tratamientos en su almacenamiento en refrigeración.	40
27	Cromaticidad en cubos de pitahaya con diferentes tratamientos durante su almacenamiento en refrigeración.	41
28	Comportamiento del índice de oscurecimiento en cubos de pitahaya	44
29	Comportamiento de la turbidez en el líquido de cobertura	46
30	Cambios en pH durante el almacenamiento refrigerado de pitahaya, en relación a la composición del líquido de cobertura.	47
31	Cambios en pH durante el almacenamiento refrigerado del líquido de cobertura.	48
32	Comportamiento de ácido ascórbico en los diferentes tratamientos.	49
33	Cambios en sólidos solubles en cubos de pitahaya.	50
34	Cambios en sólidos solubles en el líquido de cobertura.	51
35	Comportamiento de la concentración de Polifenoles totales con diferentes tratamientos.	52
36	Comportamiento de firmeza(N) en los distintos tratamientos aplicados a los cubos de pitahaya.	54
37	Comportamiento de dureza (N) durante el tiempo en almacenamiento en refrigeración a $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.	55
38	Comportamiento de la elasticidad en cubos de pitahaya durante su almacenamiento en refrigeración a $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.	56
39	Comportamiento de la masticabilidad con respecto al tiempo de almacenamiento.	58
40	Gráficos de superficie radial de la evaluación sensorial de pitahaya fresca cortada por semana.	60

ÍNDICE DE TABLAS

Núm.	Descripción de la tabla	Página
Tabla		
1	Composición química de la pitahaya <i>Hylocereus undatus</i> .	7
2	Tabla de Variables seleccionadas en el estudio.	23
3	Formulaciones de líquido de cobertura.	25
4	Propiedades de los cubos de pitahaya natural.	33
5	Desviaciones estandar de la luminosidad en pitahaya.	41
6	Desviaciones estándar de la cromaticidad en la pitahaya.	42
7	Desviaciones estándar para el índice de oscurecimiento en pitahaya.	44
8	Desviaciones estándar de la firmeza en pitahaya.	53
9	Desviación estándar de la dureza en pitahaya.	55
10	Desviaciones estándar de la elasticidad en pitahaya.	57
11	Desviación estándar de la masticabilidad en pitahaya.	58

RESUMEN

La pitahaya de pulpa blanca es una alternativa de consumo de productos frescos cortados con gran potencial nutrimental; además, si se considera que, debido a las necesidades de la sociedad actual, existe un mercado en crecimiento que busca alternativas que permitan incrementar la vida útil de productos listos para el consumo “*ready to eat*”. Por esta razón en este trabajo se evaluó el empleo de un líquido de cobertura con base en inulina, nanocápsulas de α -tocoferol y de aceite esencial de limón sobre los parámetros de calidad de pitahaya cortada en cubos, considerando además el efecto del pre-tratamiento con CaCl_2 , para determinar el efecto del líquido de cobertura sobre las características del producto se determinaron las propiedades físicas, fisicoquímicas y organolépticas durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

La pitahaya fue seleccionada con base en su estado de madurez considerando la etapa “C”, previo a la inmersión estas se lavaron, desinfectaron, pelaron y cortaron en cubos de 1.6 cm. Los lotes analizados fueron: control, pre-tratadas con CaCl_2 , pre-tratadas con CaCl_2 e inmersas en líquido de cobertura inulina/nanocápsulas y aquellas con solo líquido de cobertura inulina/nanocápsulas. Se demostró que el empleo de un líquido de cobertura contribuye a incrementar la vida útil de pitahaya en comparación con las muestras control y que además el empleo de nanocápsulas y pre-tratamiento con CaCl_2 contribuye a mantener por más tiempo las características fisicoquímicas y sensoriales del producto.

INTRODUCCIÓN

La pitahaya (*Hylocereus undatus*), es una fruta tropical de temporada y no climatérica de acuerdo con Nerd et al., 1999, sin embargo; se han encontrado resultados contradictorios sobre el comportamiento no climatérico u climatérico de la pitahaya de acuerdo con la variedad (Arenas y Camero, 1995; Camargo y Moya, 1995; Baquero et al., 2005).

Posee un color rojo característico, su cáscara se encuentra cubierta por formaciones salientes llamadas brácteas, su pulpa es blanca y firme con una gran cantidad de pequeñas semillas negras distribuidas de forma homogénea, su vida útil aproximada es de 10 a 12 días como fruto íntegro, mientras que cortada esta se reduce hasta 3 días (Centurión et al., 2002). El deterioro del producto fresco cortado es atribuido a la actividad enzimática que induce cambios en propiedades físicas, químicas y texturales. Por lo que la industria alimentaria busca métodos de conservación que sean menos agresivos con el fin de evitar el proceso de deterioro de los debido al proceso de cortado y pelado, necesario para la comercialización de productos listos para el consumo.

En la última década ha habido un cambio en los patrones de consumo razón por la que hay un mercado que requiere de productos de alta calidad, listos para su consumo, con calidad de fresco y de ser posible con ingredientes naturales (Soliva et al., 2003). Para con ello lograr satisfacer la necesidad del consumo de productos naturales y con efectos nutrimentales positivos para una población cada vez más exigente (Silveira et al., 2013). El concepto de producto mínimamente procesado o fresco cortado, se basa en que los tratamientos a los que se somete el fruto deben de producir los menores cambios, es decir deben tener características de calidad similares a los productos frescos, además de ser de fácil comercialización, convenientes e inoocuos de la manera que ofrezcan al consumidor productos con propiedades nutraceuticas (Vargas et al., 2007; Jacxsens et al., 1999).

En función del grado de procesamiento de los alimentos, éstos se suelen clasificar en productos de primera, segunda, tercera, cuarta o quinta gama. Los alimentos frescos (I gama), las conservas (II gama) y los productos congelados (III gama) son productos maduros en el mercado que emplean tecnologías de conservación más tradicionales. En los últimos años han surgido productos de mayor conveniencia y de mayor calidad organoléptica como lo son productos mínimamente procesados (IV gama) y alimentos precocinados refrigerados (V gama) (Matiacevich et al., 2016).

Las aplicaciones de métodos de conservación en pitahaya fresca cortada son limitadas como la deshidratación osmótica y las atmósferas controladas o modificadas, y en todos los casos el almacenamiento refrigerado es un requerimiento para su conservación, por lo que la aplicación de nuevas tecnologías como las nanocápsulas y líquidos de cobertura en pitahaya representan otras posibles alternativas de conservación, sin perder de vista que el objetivo es lograr incrementar la conservación de los alimentos y la implementación de crear nuevos alimentos funcionales, siendo un desafío el que mantengan su calidad fisicoquímica, sensorial y microbiológica (Roberfroid., 2000).

La inmersión de la fruta en un líquido de cobertura en conjunto con la generación de una atmósfera modificada pasiva durante el envasado y el almacenamiento refrigerado pueden influir en las características sensoriales, texturales, físicas y químicas ayudando a incrementar la vida útil y manteniendo además la inocuidad del producto (Pereira et al., 2004). Existe una variedad de líquidos de cobertura y estos son aplicados dependiendo del alimento, pueden ser de agua, jugo, pulpas de frutas, además de ser un medio de conservación este puede ser acondicionado con ingredientes funcionales que confieran mejores características. La tendencia hacia el consumo de alimentos más saludables ha aumentado drásticamente, debido a los problemas de salud que en hoy en día afecta a gran parte de la población, es por ello que las frutas frescas recién cortadas y ensaladas de frutas se han vuelto más atractivas para la población debido al aporte nutrimental que este producto nos brinda y su practicidad (Silveira et al., 2013).

La industria alimentaria se ha visto obligada a la aplicación de nuevas tecnologías como la nanotecnología que comprende el encapsulamiento de activos y sabores, como es el caso de los aceites esenciales como el α -tocoferol y el aceite de limón que son antioxidantes naturales de origen vegetal (Hui, 2005). Por ello que la formación de nanocápsulas de distintas naturalezas, ayudan a prolongar la vida útil (Chellaram et al., 2014). Limitando la acción de las enzimas que provocan el deterioro secuestrando el oxígeno y disminuyendo así la velocidad de reacción. Mientras que la utilización de sales de calcio como pretratamiento previo al envasado en un líquido de cobertura influye en la conservación de la textura de frutas, proporcionando mayor estabilidad de las pectinas, proteínas y componentes estructurales de carbohidratos (Luna-Guzmán, 2000).

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 Pitahaya

Pitahaya es el nombre común que reciben las plantas del género *Hylocereus* (Cactaceae), y que forman parte de los recursos genéticos con mayor potencial económico para la agricultura. Las especies pertenecientes al género *Hylocereus* son plantas trepadoras con raíces aéreas que producen un fruto glabro con largas brácteas. Las cactáceas comprenden 120 a 200 géneros, donde 1500 a 2000 especies se encuentran en condiciones semidesérticas y regiones tropicales cálidas de Latinoamérica. Las cactáceas son apreciadas principalmente por sus cualidades ornamentales, pero también existen aproximadamente 250 especies que son cultivadas como frutales y cultivos industriales; sin embargo, la especie *Hylocereus undatus* es la más cultivada a nivel mundial con un área de cultivo del 71,5 % (Ochoa et al., 2012) ya que pocas especies de pitahaya son de importancia económica (Franck et al., 2014).

De acuerdo con su distribución actual es México, Centroamérica y el Caribe donde existe mayor número de especies. En el continente americano las pitahayas se distribuyen en una franja delimitada entre los 10° Latitud Sur, que es un paralelo que pasa por la costa peruana, ligeramente por encima de la frontera entre Bolivia, Perú y Brasil, y los 25° Latitud Norte, que atraviesa los estados mexicanos de Baja California Sur, Sinaloa, Durango, Nuevo León y Tamaulipas. En la figura 1 se muestra la distribución geográfica donde se desarrollan diferentes especies de pitahaya, por lo que es posible establecer que la planta tiene una gran capacidad de adaptación a distintas condiciones ambientales, desde las regiones húmedas y cálidas, prácticamente desde el nivel del mar hasta las zonas altas y frías.

México produce alrededor de 4,542.28 toneladas al año y es el tercer productor mundial de pitahaya, únicamente por debajo de Colombia y Nicaragua (SIAP, 2016). Puebla alcanza una producción de 57,25 toneladas en aproximadamente 17 hectáreas sembradas (SIAP,

2016). Sin embargo, gran parte de la producción se pierde debido a la escasa tecnología pre y poscosecha que se aplica en la producción de pitahaya tanto en fresco como procesado.

Una posible forma de comercializar la pitahaya es a partir de la obtención de jugo fermentado o “vino de pitahaya”, siendo ésta una alternativa viable para que los productores de pitahaya puedan darles valor agregado a sus productos, abriendo un nuevo mercado potencialmente económico (Ochoa et al., 2012).

La apertura de los mercados hacia la comercialización de los frutos frescos cortados en México ha sido una forma de incrementar el consumo de frutas y hortalizas, así como de reducir las pérdidas en poscosecha (Sagarpa, 2009).

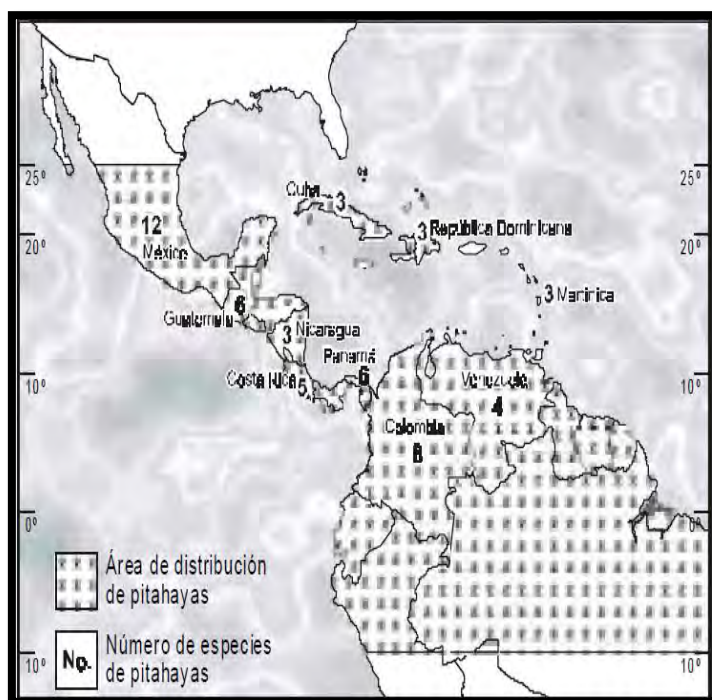


Figura 1. Distribución de pitahaya y sus variedades (Sagarpa, 2009).

1.1.1 Morfología

a) Raíz

La pitahaya tiene dos tipos de raíces figura 2, las raíces primarias son las que penetran en el suelo y alimentan a la planta; las raíces secundarias o adventicias, nacen en la parte aérea de la planta y su función es de sostén; para ello se adhieren a la superficie de tutores que le sirven de soporte como árboles vivos o muertos, piedras, muros, tejados, etc. Las raíces

primarias forman un sistema de raicillas que se desarrollan a poca profundidad, entre 5 y 10 cm de la superficie del suelo, lo cual es una característica muy importante a la hora de efectuar las labores de fertilización, control de malezas, así como otras labores de cultivo.



Figura 2. Raíz de pitahaya (Le bellec, 2006)

b) Tallo

Los tallos son suculentos, de epidermis o superficie exterior gruesa, característica que permite que se desarrollen bien en zonas de baja precipitación como muestra la figura 3. El cierre de estomas, la presencia de mucílago y otras sustancias en los tallos regulan la pérdida excesiva de agua en la época seca, así como en las horas más calientes del día. Los tallos llamados vainas, tienen hábitos trepadores y se ramifican en varios segmentos que pueden llegar a crecer hasta dos metros de largo en algunos clones. Los tallos presentan aristas las cuales son llamadas costillas, así como espinas, que dependiendo de la cantidad y forma de inserción de las mismas sirven para identificar los clones.



Figura 3. Tallo de pitahaya (Dcc uaem.net, 2015).

c) Flor

Las flores de la pitahaya son de forma de trompeta, de color blanco, amarillo o rosado como se muestra en la figura 4. Emergen en la parte de los tallos con mayor exposición a la luz solar. Las primeras flores aparecen con las primeras lluvias de mayo o en junio si las mismas se retrasan (Sagarpa, 2009).



Figura 4. Flor de pitahaya (Le bellec, 2006).

d) Fruto

Es una baya de forma ovoide, redondeada o alargada con brácteas en la superficie de la cascara, la cantidad, tamaño y coloración depende de la variedad de pitahaya (Sagarpa, 2009).

1.1.2 Pitahaya rosada (*Hylocereus undatus*)

La pitahaya pertenece al género *Hylocereus* de la familia botánica de las *Cactaceae*. *Hylocereus* se caracteriza por ser una planta trepadora con raíces aéreas que lleva un grande, escamosa, baya glabra (Vargas et al., 2012). El fruto es una baya de forma ovoide figura 5, redondeada o alargada de longitud: 15-22 cm de diámetro, peso: 300-800 g, la cáscara posee brácteas u “orejas” escamosas de consistencia carnosa y cerosa; tiene carne blanca con pequeñas semillas negras, la cantidad y tamaño de las brácteas de variedad; el color del fruto en nuestro país varía de rosa mexicano a rojo púrpura.

Los frutos son de cáscara rosa y de pulpa blanca y contienen entre 10 y 12 °Brix, pertenecen a la especie botánica *Hylocereus undatus*. México y Vietnam comenzaron a colocarla en el mercado internacional.

Su sabor característico es agridulce y tiene un suave y delicado aroma; su vida útil a 20°C es de alrededor de 10 a 12 días con cáscara, ya que disminuye su calidad interna, principalmente por pérdida del sabor agridulce característico. Durante su almacenamiento refrigerado a 4 y 8°C, después de 15 a 18 días, su cáscara comienza a presentar pequeños daños, como hendiduras de la piel y marchitamiento de las brácteas, lo cual disminuyen su calidad externa; sin embargo, su pulpa no presenta cambios significativos importantes en su aceptación sensorial (Centurión et al., 2002).



Figura 5. Pitahaya *Hylocereus undatus* (Osuna et al., 2011).

1.1.3 Estado de madurez

El fruto pasa por tres diferentes estados de madurez fisiológica que pueden ser conocidos por las características de color y brillo que presenta la cáscara de fruto, su suavidad y compactación (Osuna et al., 2011), estos estados son:

- Fruto sazón (A): La cáscara posee un color verde claro con un brillo no muy fuerte. Se alcanza de 25 – 27 días después de la floración,
- el fruto cosechado en este estado puede madurar por completo de 10 -12 días después de ser cortado.
- Fruto pinto (B): En este estado la base y la punta del fruto adquieren una coloración rojiza púrpura.

- Fruto maduro (C): En este estado de madurez el fruto está completamente maduro y su cáscara es púrpura intensa (o rosa mexicano). Este estado se alcanza de 28 – 30 días después de la floración. El fruto cortado en esta etapa aguanta de 4 – 6 días sin arrugarse.

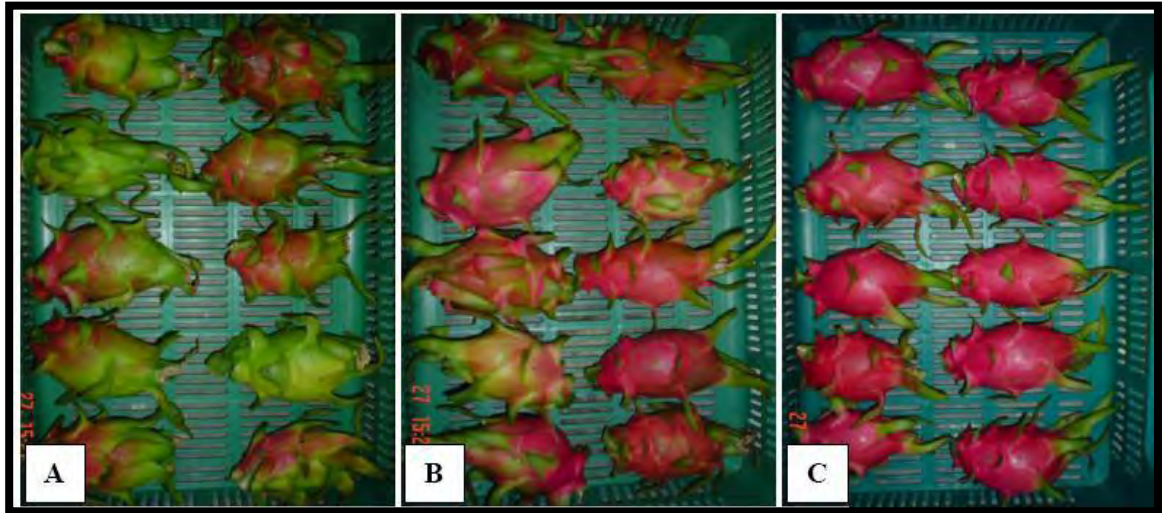


Figura 6. Estados de madurez (Osuna et al., 2011).

1.1.4 Usos y valor nutritivo de la pitahaya *Hylocereus undatus*

El fruto de pitahaya se consume principalmente fresco; también puede utilizarse en cocteles, refrescos, dulces, jugos, jaleas, nieves y vinos (Ochoa et al., 2012). Con relación al uso industrial, se puede mencionar que del jugo concentrado de los tallos se puede extraer jabón, de la cáscara se extraen colorantes empleados en la elaboración de helados, sorbetes, repostería; así como en la industria textil en el teñido de telas (Buitrago et al., 1996).

Desde el punto de vista medicinal, la pitahaya es utilizada como laxante natural debido a que posee semillas que contienen aceites que provocan este efecto, ayudando al buen funcionamiento intestinal (Martínez, 2006). Mientras que la pulpa contiene una sustancia llamada captina que actúa como tónico del corazón y calmante de los nervios (Sagarpa, 2009).

La pitahaya posee un alto valor nutritivo. Es rica en calcio, fósforo, potasio y vitamina C, comparada con la manzana, plátano, naranja y piña (Argüello y Jiménez, 1997). Es una rica fuente de agua, calorías, ácido ascórbico, fósforo y carbohidratos como se muestra en la tabla

1; no obstante, es deficiente en hierro y vitamina A. La composición de la pitahaya se puede ver modificada de acuerdo a la variedad, estado de madurez y condiciones de cultivo.

Tabla 1. Composición química de la pitahaya *Hylocereus undatus* (Sagarpa, 2009).

Composición de 100g de porción comestible	
Calorías	36,00 (unid.)
Agua	89,40 g
Proteína	0,50 g
Grasas	0,10 g
Carbohidratos	9,20 g
Fibra	0,30 g
Cenizas	0,50 g
Calcio	6,00 g
Fósforo	19,00 mg
Hierro	0,40 mg
Tiamina	0,01 mg
Riboflavina	0,03 mg
Niacina	0,20 mg
Ácido ascórbico	20,00 mg

1.1.5 Pitahaya (*Hylocereus undatus*) y su producción

La pitahaya (*Hylocereus undatus*) es una cactácea con alto potencial económico originaria de América. La producción se comercializa principalmente en los mercados nacionales y también se coloca con éxito en el mercado internacional de frutos exóticos, en México las frutas de pitahayas todavía son poco conocidas en los grandes centros de consumo y actualmente, la pitahaya se produce en 24 de las 31 entidades federativas de México que presentan selvas caducifolias y subcaducifolias, caracterizadas como zonas subtropicales (Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Colima, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Oaxaca, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, los desiertos de Sonora y Baja California, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz,

Yucatán y sur de Zacatecas) por lo que su importancia ha sido y sigue siendo regional en mayor medida como fruto fresco (Meraz et al., 2003), este fruto es ampliamente consumido en varias partes de México pero solo el 3.5 % de su producción es consumida de manera regional, mientras que el resto es exportado principalmente a estados unidos con el 70% y el restante a otros países del mundo, por lo que se tiene previsto un futuro comercial (SIAP, 2016).

A partir de la década de los años 90 se ha observado una demanda creciente de los llamados productos mínimamente procesados (MP), que intentan combinar frescura y conveniencia dando lugar a alimentos frescos en apariencia que se empacan y comercializan como los productos procesados. El concepto de producto procesado en fresco o mínimamente procesado se basa en que los tratamientos que se les aplican para su empaque, comercialización y facilidad de consumo o conveniencia, producen cambios poco notables respecto a las características deseadas de calidad del producto fresco entero (Vargas et al., 2007).

1.2 Alimentos mínimamente procesados

Un alimento mínimamente procesado se define como cualquier fruta u hortaliza que ha sido alterada físicamente a partir de su forma original, pero que mantiene su estado fresco (IFPA, 2002) como se muestra en la figura 7.

Los frutos frescos cortados, son un tipo de productos preparados mediante operaciones unitarias de selección, lavado, pelado, deshuesado, cortado, etc.; higienizados mediante derivados clorados, peróxido de hidrógeno, ozono, antimicrobianos naturales y otros; tratados con agentes estabilizadores de color tales como ácido ascórbico y eritórbico, retenedores de firmeza (sales de calcio) y envasados en bolsas o bandejas con la inyección de distintos sistemas gaseosos que permitan mantener una atmósfera modificada en su interior (Soliva et al., 2003). La producción de alimentos mínimamente procesados ofrece al consumidor productos frescos y nutritivos que requieren una mínima elaboración para su consumo y al mismo tiempo genera menor cantidad de residuos (Jacxsens et al., 1999).



Figura 7. Alimentos mínimamente procesados (Dica inventa, 2005).

La aparición de los productos mínimamente procesados tiene como ventajas la reducción del espacio durante el transporte y almacenamiento, un menor tiempo de preparación de las comidas, calidad uniforme y constante de los productos durante todo el año, se tiene la posibilidad de inspeccionar la calidad del producto durante la recepción y antes del uso y a menudo suelen ser más económicos para el consumidor debido a la reducción de desperdicios. Por otro lado, la conservación de los productos mínimamente procesados tiene el inconveniente de provocar daños físicos en los tejidos vegetales durante el proceso. Estos daños aceleran el metabolismo provocando deterioro de características sensoriales deseables como lo es; la pérdida de nutrientes, así como desarrollo de microorganismos, que llevan un rápido deterioro de la calidad y acortamiento de la vida de útil.

Estos cambios desfavorables se producen durante las operaciones unitarias de pelado y cortado, el corte de los productos acelera la respiración provocando el deterioro de algunas de sus propiedades físicas principalmente como el color y la textura, los productos frescos cortados constituyen barreras más débiles a la difusión de gases por lo que se emplea el almacenamiento a bajas temperaturas.

Los atributos de calidad en las frutas y hortalizas mínimamente procesadas es una combinación de atributos que determinan el valor de un alimento humano, estos contribuyen a la mercadotecnia de los alimentos mínimamente procesados. Estos factores incluyen: la apariencia, color, textura, sabor, valor nutrimental y seguridad microbiana (Kader et al., 1998). Estos atributos de calidad están determinados por la variedad de las plantas, estado de madurez, y las condiciones de pre y postcosecha, y todas pueden cambiar rápidamente.

a) Apariencia

La apariencia es el atributo de mayor importancia en alimentos frescos y mínimamente procesados, con aspectos primarios considerados como tamaño y uniformidad de color, brillantez y ausencia de defectos de contorno o aspecto de la piel (Falguera et al., 2011). El color es un atributo de suma importancia en frutas frescas y cortadas, dada la oxidación y oscurecimiento enzimático que se presenta rápidamente al tener contacto con el oxígeno.

b) Textura.

La textura de frutas y hortalizas frecuentemente se considera en términos de firmeza, masticabilidad, jugosidad, y dureza (atribuida a la friabilidad del tejido vegetal), donde el tejido firme o crujiente es generalmente deseado en frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas. La textura es un indicador de la calidad muy importante para el consumo y preparación, además de indicar efectos de estrés durante la transportación (Ruelas et al., 2013).

c) Sabor.

El sabor involucra la percepción de varios componentes de sabor y aroma (Castillo et al., 2010). Los componentes comunes del sabor en alimentos frescos son dulzura, acidez, astringencia y amargor. El nivel de azúcar en frutas frecuentemente determina si el producto ha alcanzado la madurez requerida para la venta. El nivel de acidez es crítico para el balance de sabor de ciertos frutos, tales como los cítricos y uvas, y generalmente decrece durante la madurez y almacenamiento postcosecha. El amargor y astringencia se puede desarrollar en varias frutas y hortalizas bajo ciertas condiciones de almacenamiento

d) Valor nutricional.

Las frutas y hortalizas son fuentes importantes de nutrimentos, incluyendo vitaminas (B6, C, tiamina, y niacina, entre otros, minerales, fibra dietética, y cantidades significativas de fitoquímicos que juegan un papel importante en la salud humana. Los alimentos de origen vegetal en especial las frutas y los vegetales presentes en la dieta de acuerdo a estudios epidemiológicos realizados, pueden ejercer un efecto protector contra algunas enfermedades tales como el cáncer y trastornos cardiovasculares. Esta propiedad se debe a la presencia de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante como la vitamina C, E, β - caroteno, y una mezcla compleja de compuestos fenólicos (polifenoles) (Martínez et al., 2000).

La pérdida de la calidad nutrimental durante la postcosecha, particularmente el contenido de vitamina C y algunos fitoquímicos, puede ser substancial. Las pérdidas pueden incrementarse en frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Serrano et al., 2006).

e) Seguridad.

Los factores de calidad incluyen tóxicos presentes de manera natural en los alimentos, contaminantes tales como residuos químicos y metales pesados, y contaminación microbiana. Los alimentos frescos son altamente susceptibles al daño o deterioro por hongos. La contaminación por microorganismos patógenos es muy importante en frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Zwietering, 2002; Azeredo et al., 2011) por lo que las condiciones de almacenamiento deben de ser a bajas temperaturas.

1.3 Tecnologías aplicadas en conservación en frutos mínimamente procesados

Entre los retos más importantes de la industria alimentaria se encuentran aquellos que contribuyan a prolongar la vida útil de los productos, que además disminuyan los daños en características sensoriales y nutrimentales.

1.3.1 Bajas temperaturas

Se ha confirmado que bajas temperatura como la refrigeración son para comercialización a corto y mediano plazo y la congelación es para comercialización a largo plazo. La refrigeración consiste en la conservación de los productos a bajas temperaturas, pero por encima de su temperatura de congelación. De manera general, la refrigeración se enmarca entre -1°C y 8°C (Rapin et al., 1997). De esta forma se consigue que el valor nutricional y las características organolépticas casi no se diferencien de las de los productos al inicio de su almacenaje. La refrigeración evita el crecimiento de los microorganismos termófilos que crecen a una temperatura arriba 45°C como *Bacillus*, *Clostridium* y de muchos mesófilos que crecen en temperaturas de entre -5 a -7°C como bacterias. De acuerdo con Willey (1997) la operación de cortado en productos frescos induce a grandes cambios como la aceleración de la respiración celular, actividades enzimáticas y degradación de membranas. Las bajas temperaturas ayudan a la disminución de la respiración y actividad enzimática en alimentos frescos cortados, esto contribuye a mantener su calidad y extender su vida comercial.

1.3.2 Recubrimientos y películas comestibles

Un recubrimiento comestible (RC) se puede definir como una matriz continua, delgada, que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento (Ceron et al., 2010). Por otra parte, una película comestible (PC) es una matriz preformada, delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento o estará ubicada entre los componentes del mismo. Dichas soluciones formadoras de PC o RC pueden estar conformadas por un polisacárido, un compuesto de naturaleza proteica, lipídica o por una mezcla de los mismos (McHugh et al., 1994). Al igual que los RC, las PC poseen propiedades mecánicas, generan efecto barrera frente al transporte de gases, y pueden adquirir diversas propiedades funcionales dependiendo de las características de las sustancias encapsuladas y formadoras de dichas matrices (Vásconez et al., 2009). Los recubrimientos y películas comestibles deben cumplir ciertos requisitos para aplicarlos sobre alimentos frescos cortados, entre uno de estos se encuentran el hecho de ser preparados con sustancias no tóxicas.

El uso de una PC o RC en aplicaciones alimentarias y en especial en productos altamente perecederos, como los pertenecientes a la cadena hortofrutícola, se basa en ciertas características tales como costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad), su efecto barrero frente al flujo de gases, resistencia estructural al agua, a microorganismos y su aceptabilidad sensorial (Ceron et al., 2010).

1.3.2 Atmósferas modificadas

Una opción para incrementar la vida útil de los productos mínimamente procesados es el empaque en atmósferas modificadas. Este método de conservación consiste en cambiar la composición gaseosa dentro del empaque, la cual puede ser modificada de manera pasiva (a través de la respiración de los tejidos vegetales) (Lucera et al., 2011; Sandhya, 2010). Las atmósferas modificadas se definen como la alteración en la composición de los gases dentro y alrededor del fruto, debido a la doble interacción de la respiración y el proceso de permeación que ocurre a través de las paredes del plástico que se usa como envase (Thompson, 2003). Tecnológicamente el término de atmósfera controlada y atmósfera modificada se refiere a mezclas gaseosas, diseñadas para complementar la refrigeración y así aumentar el periodo de conservación de las frutas y hortalizas frescas.

El almacenamiento en atmósferas modificadas es una de las tecnologías aplicadas para la comercialización de frutas y hortalizas mínimamente procesadas. Una vez envasado el alimento en aire o en una mezcla de gases diferentes, la atmósfera evoluciona como consecuencia de la propia fisiología del fruto y de las características del material de envase hasta alcanzar un estado de equilibrio dinámico o estado estacionario (Jacxsens et al., 2002), la concentración de O₂ disminuye y la de CO₂ aumenta.

1.3.4 Nanotecnología

La aplicación de sistemas nanoparticulados en la conservación de alimentos, es una de las tecnologías emergentes aplicadas más recientes en la industria alimenticia, esta tecnología propone nuevos tratamientos para la fabricación de materiales a diminutas escalas que van en un intervalo de 1-1000 nm nanómetros (Zambrano, 2013). El interés de la nanotecnología radica en el tamaño de partícula de los materiales ya que estos conllevan propiedades físicas y químicas que difieren significativamente de las habituales a mayor escala. La figura 8, muestra un comparativo de las escalas en las que encontramos diferentes tamaños en la naturaleza y que sirven como referencia para resaltar el efecto de la talla en la funcionalidad de un componente solo por el área superficial que puede recubrir o proteger por unidad de volumen dando como resultado una mayor actividad y/o funcionalidad (Mamalis; 2007 Nagarajan, 2008).

Los nanomateriales permiten una mejor encapsulación y liberación de los ingredientes activos en comparación con los agentes de encapsulación tradicionales, el desarrollo de nanocapsulas, nanoemulsiones, nanoparticulas. Conducen al desarrollo de propiedades para la protección de compuestos bioactivos, integración de matrices alimentarias y enmascaramiento de sabores no deseados (Takhistoy et al., 2006). Debido a las propiedades de talla submicrónica, la nanotecnología ofrece diversas posibilidades de aplicación en el área de alimentos (Zambrano, 2013).

1.3.5 Nanotecnología y su regulación en los alimentos

La Nanotecnología se define como el empleo de materiales y estructuras construidas y/o diseñadas a escala nanométrica. Hoy en día se ha prestado mucha atención a las potencialidades que presenta la reducción de tamaño en cuanto a la modificación y aplicación en la conservación de alimentos y cambios en propiedades funcionales. En

muchos países se considera que la nanotecnología tiene gran potencial en investigación y desarrollo considerando productos agrícolas, alimentos procesados, bebidas y el envasado de alimentos, los cambios en propiedades son asociadas al incremento en el área superficial de los sistemas de talla nanométrica (Rossi et al., 2014).

Actualmente, hay poca información relacionada con la regulación específicamente en la aplicación en alimentos, únicamente se encuentran las recomendaciones de la Comisión Europea en relación al código de conducta de los responsables de realizar investigación en nanociencias y nanotecnología, propuestas en febrero de 2008, además de las regulaciones existentes en relación a las sustancias químicas empleadas, que toman en consideración la reducción de riesgos al ambiente y a los seres humanos a través de la directiva 2008/98/CE (Coles y Frewer, 2013).

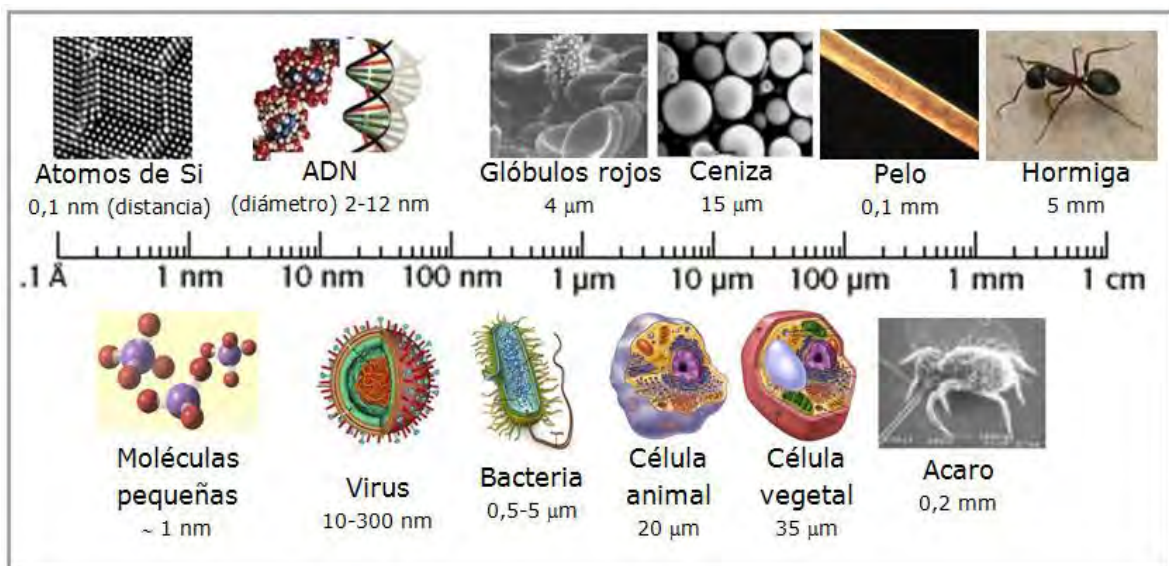


Figura 8. Esquematización de tamaños de partícula

Otra consideración importante que debe ser tomada en cuenta es que los sistemas a nano-escala, cambian sus propiedades pudiendo tener un impacto impredecible en los seres humanos, animales y el ambiente, algunas de las nanopartículas empleadas pueden atravesar las barreras biológicas, inclusive pueden penetrar al torrente sanguíneo, la barrera hemato encefálica y por ende potencialmente tener la posibilidad de ingresar a nivel celular e interactuar con los procesos biológicos de manera impredecible (Leroueil et al., 2007).

Sin embargo, debido a las necesidades balancear entre las potencialidades de la nanotecnología y los riesgos que esta implica, es necesario considerar que, existen procesos de transformación de alimentos en los que se llevan procesos de nanoemulsificación como sucede en la industria de los helados y aderezos sin que por ello sean estudiadas como riesgos debidos a que las partículas lipídicas pueden atravesar el tracto gastrointestinal y provocar modificación de absorción o incrementar la respuesta alérgica (Chaudhry et al., 2008). Se han reportado estudios que evalúan el efecto del tamaño de partícula (50 a 3 μm) y la presencia en sangre de esferas de poliestireno, después de 10 días, encontrándose que cerca del 34 % de la sangre analizada presentó nanopartículas cuando estas se encontraban entre 50 y 100 nm, y no detectándose cuando los diámetros eran superiores a los 300 nm (Chaudhry *et al.*, 2008). En el desarrollo de envases en los que se emplean principalmente plata, oro, titanio, dióxido, silicón, etc., se ha encontrado que partículas ultrafinas ($d < 100$ nm) han implicado serios problemas inflamatorios en las vías respiratorias (Brayner, 2008).

En general para el estudio de riesgos y toxicidad es necesario considerar las propiedades fisicoquímicas incluyendo, tamaño de partícula y su distribución, estado de aglomeración, forma, estructura cristalina, composición química, área superficial, superficie química, carga de superficie y porosidad. Además, cada sustancia modificada a talla nanométrica presentará problemáticas totalmente distintas, ya que por ejemplo el selenio que es una sustancia toxica ve reducido su efecto cuando se disminuye su talla a nivel nanométrico (Zambrano, 2013). La FDA actualmente no ha establecido una posición formal en cuanto a la regulación de la nanotecnología sino más bien, siendo un organismo que regula el uso de sustancias en medicina y alimentos, se ha enfocado más bien a los ingredientes específicos que constituyen un producto. La FDA participa en la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI por sus siglas en inglés) desde el 2000 y a partir de octubre de 2006 está considerando al momento la evaluación de los efectos adversos para la salud, sin que exista un avance al respecto ya que la FDA ha expuesto que su objetivo es únicamente regular el empleo de sustancias y su toxicidad más no la talla en la que se encuentran las partículas (Bergeson, 2011). De tal manera que aún existen muchas investigaciones por realizar al respecto, considerándose que en tallas mayores a los 200 y hasta los 1000 nm existen menos riesgos de toxicidad o modificación celular reduciéndose la absorción de estos sistemas a nivel intestinal (Takeuchi et al., 2014).

1.3.6 Líquidos de cobertura

El líquido de cobertura o también conocido como líquido de gobierno se define como un fluido que se añade durante la elaboración de conservas (FAO -OMS, 2008). De acuerdo con (CODEX STAN 260-2007) las frutas en conserva deberán tener un color, sabor y aroma normales que corresponda al tipo particular de fruta en conserva, al líquido de cobertura y a los ingredientes facultativos utilizados, además de poseer la textura característica del producto.

Los principales ingredientes básicos utilizados en la elaboración de líquidos de cobertura son; agua y, si es necesario, sal o aceite o un medio ácido como el vinagre. El medio de cobertura puede contener ingredientes que incluyen:

- Productos alimentarios que confieren un sabor dulce tales como los azúcares (incluidos los jarabes) según se definen en la Norma para los Azúcares (CODEX STAN 212-1999).
- Plantas aromáticas, especias o extractos de las mismas
- Aceites, sales, limón etc.

El objetivo primordial de la adición de un líquido de cobertura es mejorar el sabor, color e incluso potencializar estas características, la incorporación de algunos de los ingredientes anteriores asegura un equilibrio de pH no inferior a 4.6 además de contribuir a su conservación mientras que en algunos casos este puede ser consumido al igual que el producto sometido a conserva.

El mercado de frutos en conserva se enfoca principalmente en la utilización de jugo de frutas, sin embargo, estos presentan grandes cantidades de azúcares que pueden ocasionar daños a la salud por lo que se busca la adición de agentes que proporcionen al líquido sabor sin tener presente una alta cantidad de azúcares.

1.3.7 Agentes funcionales del líquido de cobertura

1.3.7.1 Inulina

La inulina es un polifrufructano que funciona como material de reserva de energía a un gran número de plantas que se almacenan principalmente en los tallos y raíces. La inulina consiste en una cadena larga compuesta de 2 a 60 moléculas de fructuosa y una molécula de glucosa

al final, las moléculas de fructuosa están conectadas por enlaces β (2-1) la última fructuosa se une a una glucosa por un enlace α (1-2) como en la sacarosa (Roberfroid, 1999).

Debido a que la inulina es un polisacárido que posee enlaces β (2-1) es resistente al hidrólisis enzimática del estómago, por lo que presenta efectos de “fibra dietaria” y provoca además efectos benéficos a la flora intestinal ya que, al pasar la inulina de manera intacta al colon, es fermentada en ese sitio por bífidobacterias, las cuales son muy importantes para el buen funcionamiento de este órgano (Robinson, 1995).

La inulina de alta pureza contiene azúcares libres (glucosa, fructuosa sacarosa) lo que confiere cierto dulzor (10% del dulzor de sacarosa) (Franck, 2014). La inulina es estable a altas temperaturas, con propiedades humectantes, reduce la actividad de agua, favoreciendo la estabilidad microbiana y afecta los puntos de fusión y ebullición, adicionalmente posee propiedades tecnológicas similares a la sacarosa y al jarabe de glucosa (Crittenden & Playne, 1996).

Debido a sus propiedades ha ganado gran importancia en la industria alimentaria, especialmente en lo que se refiere a alimentos con propiedades funcionales, reológicamente hablando confiere propiedades estabilizantes dentro de distintos sistemas como emulsiones y suspensiones.

1.3.7.2 Cloruro de calcio

Aplicaciones de calcio en poscosecha mantiene la turgencia celular, firmeza de los tejidos y el retardo de catabolismo de lípidos de membrana y como consecuencia se extiende la vida de almacenamiento de las frutas frescas en buenas condiciones (Cicarese et al., 2013). Las sales de calcio cumplen la función de agentes reafirmantes, debido a que los iones de calcio actúan sobre las cadenas de pectina para formar puentes entre éstas, aumentando la fuerza de la pared celular tanto en tomates como en otras frutas y hortalizas (Contreras et al., 2011).

Los métodos más utilizados reportados para la aplicación de calcio en productos hortofrutícolas fresco son los tratamientos por inmersión mediante este proceso se favorece la dispersión de la solución en la superficie de las frutas y hortaliza, evitando reacciones de

oxidación que podrían llevar a cambios de color y generar sabores desagradables en el producto (Martín et al., 2007).

1.3.7.3 Ácido cítrico

El ácido cítrico es uno de los aditivos más utilizados por la industria alimentaria. Se obtiene por fermentación de distintas materias primas, especialmente la melaza de caña de azúcar. El ácido cítrico es un ácido orgánico tricarbónico que está presente en la mayoría de las frutas, sobre todo en cítricos como el limón y la naranja. El ácido cítrico es un antioxidante muy eficaz por su capacidad para inactivar trazas metálicas. El ácido cítrico es un ácido orgánico tricarbónico, de nombre químico ácido 2-hidroxi-1, 2,3-propanotricarbónico.

El ácido cítrico es muy apreciado por su sabor amargo, la calidad de conservación y la capacidad de actuar como un amortiguador del pH. Por estas razones, el ácido cítrico se encuentra en la lista de ingredientes de muchos productos alimenticios de hoy en día.

1.3.7.4 Glucosa anhidra

Es el monosacárido más abundante en la naturaleza; comercialmente se obtiene por hidrólisis del almidón. Se mezcla con el azúcar para producir efectos sinérgicos y realzar los sabores. Produce coloraciones en los alimentos, por la reacción de Maillard, y es fuente ideal de carbohidratos para la fermentación, producida por levaduras y otros microorganismos.

La glucosa anhidra también es conocida como dextrosa anhidra D-glucosa, las características de esta glucosa es que no posee agua de cristalización, con un contenido de D-glucosa de no menos de 99,5% m/m sobre peso seco y un contenido total de sólidos de no menos del 98,0% m/m (CODEX STAN 212-1999). Se utiliza principalmente en la industria alimentaria en general, reemplazando total o parcialmente el azúcar.

1.3.7.5 Antioxidantes

La FDA (Food and Drug Administration) define a los antioxidantes como sustancias que son empleadas para la conservación de los alimentos ya que retardan alteraciones por enranciamiento o la decoloración por efecto de la oxidación. Estos antioxidantes pueden encontrarse de forma endógena o exógena, en el caso de los alimentos estos se encuentran

presentes de forma endógena en algunos casos la adición de antioxidantes en los alimentos ayuda a mejorar la calidad del producto controlando oxidaciones y efectos de esta.

Los antioxidantes tienen la capacidad de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. La oxidación es una reacción química de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante. Las reacciones de oxidación pueden producir radicales libres como se observa en la figura 9, comienzan reacciones en cadena que dañan las células. Los antioxidantes terminan estas reacciones quitando intermedios del radical libre e inhiben otras reacciones de oxidación, oxidándose a sí mismos.

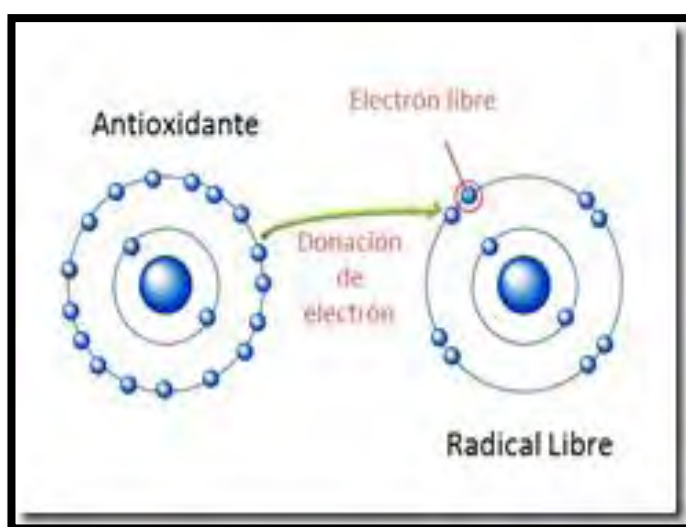


Figura 9. Método de acción de un antioxidante

a) α -tocoferol (vitamina E)

El α -tocoferol puede tener efectos beneficiosos para la salud cuando se consume, principalmente relacionadas con sus propiedades antioxidantes y/o actividades anti-inflamatorias. Los trastornos inflamatorios y oxidativos incluyendo cáncer, las alergias, la diabetes, las enfermedades neurodegenerativas y las enfermedades coronarias del corazón son los principales trastornos que se reducen gracias al consumo de estas moléculas (Calder, 2012). Por esta razón, este ingrediente puede ser considerado no sólo un colorante de alimentos, sino también un compuesto funcional para el diseño de alimentos saludables.

El término vitamina E es usado para un grupo de compuestos liposolubles derivados del tocol y del tocotrienol, que tienen actividad de vitamina E (Márquez et al., 2002). En la naturaleza se dan cuatro tocoles y cuatro tocotrienoles, se les conoce con los nombres de β ,

α y δ tocoferol y sus correspondientes β , α y δ tocotrienoles. El alfa-tocoferol tiene la mayor actividad biológica y es la forma de vitamina E más ampliamente disponible en los alimentos (Herrera E, 1994). Todas ellas se encuentran presentes de manera abundante en el germen de trigo y los aceites de girasol, cártamo, maíz y soya (Traber, 2008; Atkinson, 2007; Mustacich et al., 2007).

El α -tocoferol es un aceite de color amarillento, con propiedades termolábiles, insoluble en agua y soluble en alcohol, la principal función del α -tocoferol es su acción antioxidante, evitando junto con otras sustancias la liberación de radicales libres a partir de la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados, por lo que tiene una acción estabilizante de los lípidos de la membrana (Hui, 2005).

b) Aceite esencial de limón

Los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles, generalmente destilables por arrastre con vapor de agua, que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas y que son importantes en la industria cosmética (perfumes y aromatizantes), de alimentos (condimentos y saborizantes) y farmacéutica (saborizantes).

El aceite de limón se extrae de la cáscara del limón, esta contiene 0,4 % de aceite, se encuentra en sacos de forma ovalada en el pericarpio o en la porción coloreada de la cáscara, el aceite de limón, contiene aproximadamente 2% de sustancias no volátiles en su mayoría en la forma de Coumarince, alrededor de 18 alcoholes, 16 aldehídos, 11 ésteres, 3 cetonas, 4 ácidos, y 23 hidrocarburos y actúa como barrera tóxica natural contra varios microorganismos e insectos (Albaladejo, 2000).

La mayoría de los aceites esenciales son líquidos volátiles, insolubles en agua, pero fácilmente solubles en alcohol, éter y aceites vegetales y minerales los mismos pueden agruparse en cinco clases, dependiendo de su estructura química: alcoholes, ésteres, aldehídos, cetonas y lactosas y óxidos. Las esencias que proporcionan sabor y aroma son obtenidas de los productos naturales alterados y/o reforzados cuando es necesario.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1 Problema

La pitahaya (*Hylocereus undatus*) es un fruto exótico y tropical muy cotizado en el mercado internacional por su exquisito sabor, aroma, color y apariencia atractiva, además de poseer propiedades antioxidantes benéficas para la salud; sin embargo, no es un fruto muy conocido ya que es un fruto temporal y no en todas partes de México se cultivan. Su vida útil es corta debido a la rápida acción enzimática de la pectinmetil esterasas, peroxidas y polifenoloxidasas que producen compuestos que originan colores oscuros, reblandecimiento del tejido y desarrollo de aromas indeseables que reducen la calidad del producto (Apel et al., 2004). La aplicación de CaCl_2 y nanocápsulas de α -tocoferol y aceite de limón buscan la conservación de este fruto por medio de agentes antioxidantes, antimicrobianos y reafirmantes en un líquido de cobertura con efecto osmoregulador durante su almacenamiento en refrigeración.

2.2 Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de cloruro de calcio (CaCl_2) y la incorporación de nanocápsulas de aceite de limón y α -tocoferol en un líquido de cobertura en la conservación de pitahaya (*Hylocereus undatus*) cortada refrigerada, a través de las propiedades físicas, fisicoquímicas, organolépticas y texturales.

2.3 Objetivos particulares

Objetivo particular 1.

Determinar el efecto del CaCl_2 como pretratamiento en las propiedades físicas, fisicoquímicas, texturales y organolépticas en la conservación con líquido de cobertura en pitahaya fresca cortada durante su almacenamiento en refrigeración.

Objetivo particular 2.

Determinar el efecto de la incorporación de nanocápsulas de α -tocoferol y aceite de limón en un líquido de cobertura, mediante el estudio de las propiedades físicas, fisicoquímicas, texturales y organolépticas durante la conservación refrigerada de pitahaya fresca cortada.

Objetivo particular 3.

Analizar el efecto de aplicación de CaCl_2 como pretratamiento y la incorporación de nanocápsulas de α -tocoferol y aceite de limón en un líquido de cobertura aplicado en pitahaya fresca cortada mediante la medición de sus propiedades físicas, fisicoquímicas, texturales y organolépticas durante su almacenamiento en refrigeración.

2.4 Selección de variables de estudio

En la tabla 2 se muestran las variables de estudio consideradas en la evaluación de la efectividad de sistemas nanoparticulados comparados con tratamientos sin nanopartículas, que permitieron evaluar la efectividad del pre-tratamiento en el incremento de vida útil de pitahaya fresa cortada durante su almacenamiento refrigerado.

2.5 Tratamiento estadístico

Los resultados obtenidos durante la experimentación se trataron con ayuda de Minitab® 2016, para llevar a cabo la comparación entre las cuatro formulaciones del líquido de cobertura, mediante el empleo de ANOVA y pruebas de Tukey para diferenciación de medias de tratamientos, todos los resultados analizados fueron las correspondientes al menos 3 repeticiones a excepción de las pruebas de textura y color que se realizaron 9 veces para obtener una estimación más precisa de los parámetros.

2.6 Actividades preliminares

2.6.1 Caracterización de la pitahaya fresca

Se llevó a cabo la caracterización de la pitahaya fresca y recién pelada, acondicionada a 12 °C con la finalidad de emplear los resultados para compararlos con la evolución del producto mínimamente procesado e inmerso en líquido de cobertura. Las pruebas consideradas fueron: propiedades químicas, fisicoquímicas y texturales estableciendo los parámetros de la pitahaya de forma natural.

Tabla 2. Variables seleccionadas en el estudio

Factores de variación	Nivel de variación	Variables dependientes	Variables de respuesta	Método de medición
Incorporación de nanocápsulas	Sin nanocápsulas Con nanocápsulas	Color	L*, a*, b* Croma Índice de oscurecimiento Luminosidad	Colorimetría
		°Brix	--	Refractómetro
		Turbidez	--	Turbidímetro
		Prueba de punsión y TPA	Dureza Elasticidad Masticabilidad	Texturómetro
		Oxígeno	--	Medidor de O ₂ y CO ₂
		Peso drenado /volumen	Peso ganado	Balanza digital
Incorporación de cloruro de calcio	Sin cloruro de calcio	pH	--	Potenciómetro
	Con cloruro de calcio	Conc. de Ácido ascórbico	--	Titulación
		Conc. de fenoles totales	--	Espectrofotometría

2.6.2 Caracterización de la cámara de refrigeración

Previo al almacenamiento de los cubos de pitahaya se llevó a cabo la caracterización de la cámara de refrigeración ubicada en el Laboratorio L-16: Procesos de Transformación y Tecnologías emergentes de alimentos ubicado en la UIM campo IV de la FES-Cuautitlán.

Con la finalidad de conocer las condiciones de trabajo y tener el control de los parámetros de almacenamiento mediante el monitoreo de la temperatura y la humedad relativa.

El monitoreo de la temperatura y humedad relativa, se determinó empleando un termopar digital (termohigrómetro) marca DATA LOGGER LASCAR modelo EL-USB-TC thermocouple electronics con termopar tipo K, tomando 3 lecturas en puntos de la cámara a diferentes alturas tal y como se muestra en la figura 10, haciéndose los ajustes necesarios para mantener una temperatura de 4 ± 1 °C.

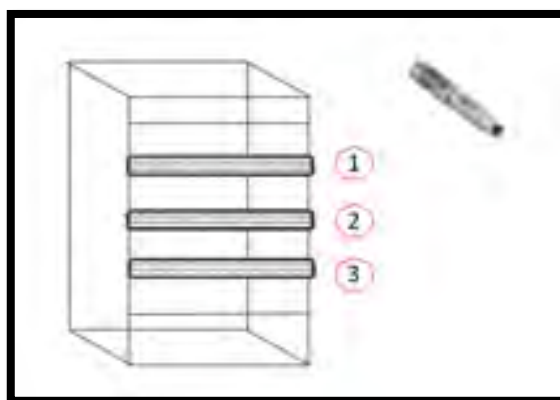


Figura 10. Ubicación de termohigrómetro dentro de la cámara de refrigeración.

2.6.3 Comportamiento de la pitahaya fresca cortada en medio acuoso

Previo al montaje experimental y con la finalidad de observar el comportamiento de la pitahaya fresca cortada en un medio acuoso (agua) en refrigeración. Se realizaron pruebas observando la evolución de cambios en una muestra de pitahaya fresca cortada como se muestra en la figura 11, estableciendo mediante pruebas subjetivas visuales el tiempo de almacenamiento y la relación de cambios de coloración y desprendimiento.

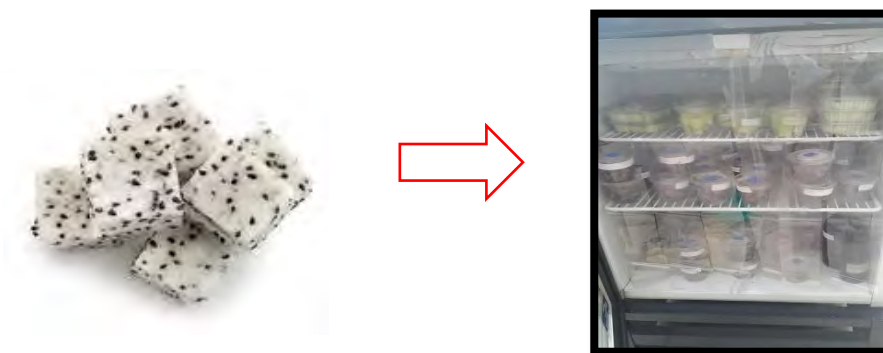


Figura 11. Comportamiento de la pitahaya en medio acuoso en refrigeración.

2.6.4 Elaboración de líquido de cobertura

En la tabla 3, se muestra la composición de los diferentes líquidos de cobertura empleados durante la experimentación. Las nanocápsulas de α -tocoferol y de aceite de limón fueron proporcionadas por (Zambrano, 2013) y preparadas por el método de emulsificación-difusión propuesto por Quintanar et al (1998) la fase continua de la emulsión estuvo compuesta por agua saturada en acetato de etilo y polivinilalcohol como surfactante no iónico (12 g/L) y en la fase dispersa acetato de etilo saturado con agua en donde se colocó el α -tocoferol y/o aceite esencial de limón a una concentración de 1 g/L y como polímero pared se empleó poli- ϵ -caprolactona (400 mg/L). Obtenido un tamaño de partícula entre 250nm – 350nm con un índice de poli dispersión menor a 0.3 y un comportamiento monomodal.

Las dispersiones empleadas como líquido de cobertura se prepararon con ayuda de un agitador de propelas, para lograr la distribución homogénea de los ingredientes, los Componentes principales de las dispersiones fueron los siguientes: agua, inulina de agave, glucosa anhidra, cloruro de calcio y nanocápsulas.

Tabla 3. Formulaciones de líquido de cobertura

	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3	Formulación 4
INGREDIENTES	Control	CaCl ₂	NCS	NCS/CaCl ₂
Agua	+	+	+	+
Inulina de agave 2%	+	+	+	+
Ácido cítrico 1%	+	+	+	+
Glucosa anhidra 10%	+	+	+	+
Sol. Cloruro de calcio al 1%		+		+
Nanopartículas de α - tocoferol 84mL			+	+
Nanopartículas de aceite de limón 84 mL			+	+

2.6.5 Selección de materia prima

Se adquirió un lote de 26 kg de pitahaya (*Hylocereus undatus*) provenientes de la central de abasto, cada pitahaya con un peso alrededor de los 350 g seleccionando las pitahayas de acuerdo a su coloración en estado de madurez tipo C (SAGARPA, 2009) de forma visual eligiendo las que presentaran las características relacionadas al estado de madurez mencionado, desechando aquéllas que tuvieran algún daño estructural.

2.6.6 Elaboración de muestras

Las pitahayas seleccionadas se lavaron y desinfectaron con una solución de plata coloidal a una concentración de 1 mL/L, para posteriormente retirar el pericarpio partiendo de las partes extremas del fruto, una vez eliminado el pericarpio se procedió a rebanarlas en partes iguales para posteriormente formar cubos de aproximadamente 1.6 cm. En la figura 12 se muestra la forma en que se realizaron estas operaciones.

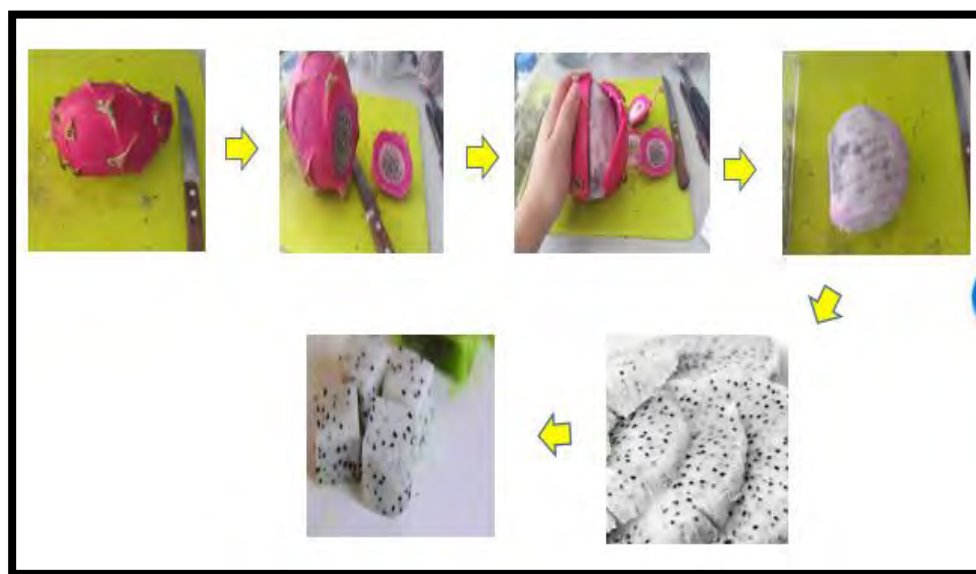


Figura 12. Elaboración de pitahaya fresca cortada

2.6.7 Proceso de envasado

Los lotes experimentales que llevaron pre-tratamiento con CaCl_2 fueron inmersos en una solución con 1 % de esta sal durante 3 min y escurriendo por 3 min. En todos los casos la pitahaya fue envasada en vasos de poliestireno cristal de 250 mL, y se colocaron 80 g de producto y 80 mL de dispersión en relación peso /volumen como se muestra en la figura 13.

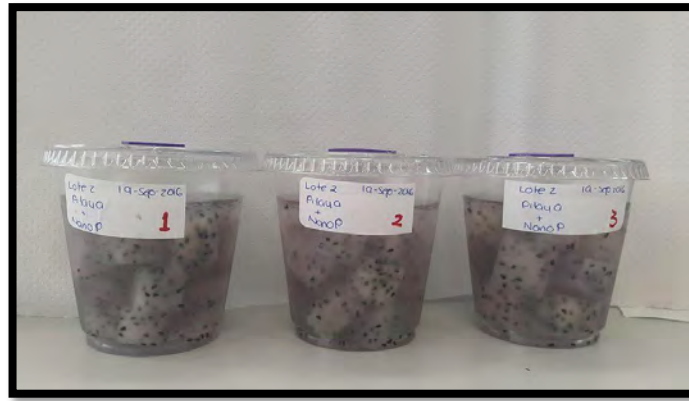


Figura 13. Cubos de pitahaya envasados.

2.7 Actividades experimentales

2.7.1 Cantidad O₂ y CO₂ presente en el espacio de libre cabeza

Se determinó la cantidad de O₂ y CO₂ en el espacio libre de cabeza con un analizador de gas Quantek Instruments® modelo 905D, antecedente al envasado se adaptaron los vasos de poliestireno cristal con pequeños protectores en las tapas con la finalidad de prevenir fugas de gases al realizar la prueba.

2.7.2 Determinación de peso

Se determinó el peso ya sea ganado o perdido de forma directa por medio de una balanza digital ScoutPro marca OHAUS, los resultados se expresarán como la pérdida o ganancia de peso en relación a la masa inicial colocada en el envase (Ettorre et al., 2012).

2.7.3 Evaluación de color

El color se determinó con un agrocólorímetro marca APOLLINARAIRE®, obteniéndose los valores de en coordenadas Red, Blue, y Green, con la finalidad de comparar los resultados los datos se transformaron a coordenadas L*, a*, b* empleando Color Mine (convert Rgb to lab) para transformar las coordenadas al sistema CIE-L*ab para obtener los valores en L, a, b.

Una vez obtenidos los valores de L, a, b. se utilizó el sistema CIELAB (1976).

Para calcular:

- Luminosidad (L), que es un indicador de la claridad de un color mencionado anteriormente oscila entre 0=negro a 100= blanco.
- la cromaticidad que indica la intensidad o saturación de color, se calcula mediante la ecuación (2):

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \text{ Ecuación (2)}$$

- índice de oscurecimiento (IO), es el indicador de cambios en coloración (Buera et al., 1985).

$$IO = \frac{100(x*0,31)}{0,172} \text{ Ecuación..... (3)}$$

donde x es:

$$x = \frac{a+1,75L}{5,645L+a-3,012b} \text{ Ecuación..... (4)}$$

a=variación de color verde a rojo

b= variación de color de azul a amarillos

L= luminosidad

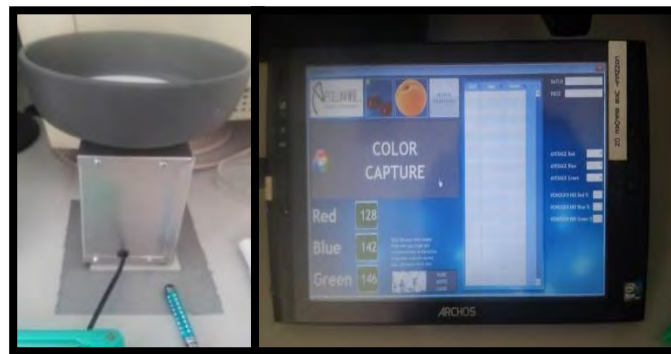


Figura 14. Agrocromímetro APOLLINARAIRE ®

2.7.4 Evaluación de textura

a) Determinación de firmeza

La firmeza de las muestras se determinó en un equipo CT3 de Brookfield con celda de carga 25 000 g, empleando una sonda de punción de 20 mm de anchura, 16 mm de altura y 16 mm de longitud (TA 35) con un objetivo de 6 mm, la firmeza fue obtenida como el pico máximo expresado en (N). los ensayos se realizaron 9 veces.

b) Análisis de perfil de textura



Figura 15. Texturometro Brookfield CT3

La prueba se realizó empleando un analizador de textura CT3 de Brookfield con cilindro de compresión TA4/1000 de 38,1 mm de diámetro y 20 mm de longitud.

2.7.5 Evaluación de turbidez

La variación en la turbidez se determinó con ayuda de un Turbidímetro marca RATIO modelo WGZ-20 correlacionándose el incremento en turbidez con los sólidos en suspensión que migraron desde el producto hacia el líquido de cobertura.



Figura 16. Turbidímetro ratio WGZ-200.

2.7.6 Evaluación pH

La evaluación de pH se realizó con un potenciómetro digital marca HANNA modelo pH 213, el cual se calibro en cada uno de los muestreos realizado en la experimentación con las soluciones buffer. La determinación de pH se realizó tanto para la pulpa de pitahaya como para el líquido de cobertura, de acuerdo al método AOAC 32.010 (AOAC, 2014).



Figura 17. Potenciómetro HANNA ®

2.7.7 Determinación de ácido ascórbico (Vitamina C)

La determinación de ácido ascórbico en cubos de pitahaya en líquido de cobertura fue con el método de acidez total volumétrica 942. AOAC.15 según el AOAC (2014). Este se fundamenta en medir la acidez por medio de una titulación ácido-base. Se coloca una solución de ácido fosfórico al 3% y solución estándar usando al indofenol como indicador para determinar el valor del factor de tinción mediante la ecuación (5 y 6).



Figura 18. Determinación vitamina C.

$$\text{factor de tinción} = \frac{0.5}{\text{mL gastados}} \quad \text{Ecuación... (5)}$$

Obteniendo así los mililitros gastados por la titulación posterior a eso se prosigue a la sustitución en la siguiente ecuación para obtener el porcentaje de acidez.

$$\%acidez = \frac{\text{mL gastados} * \text{factor de tinción} * \text{volumen llevado a la muestra} * 100}{(5\text{mL})(\text{cantidad de la alicota}(10))} \quad \text{Ecuación (6)}$$

2.7.8 Evaluación de °Brix

La determinación de sólidos solubles tanto para la pulpa de pitahaya como del líquido de cobertura se llevó a cabo en un refractómetro digital marca HANNA, Modelo HI 96801- empleando la metodología descrita por el AOAC 22.04 (AOAC, 2014).



Figura 19. Refractómetro HANNA HI 96801

2.7.9 Concentración de polifenoles totales

El contenido total de fenoles se determinó con el método propuesto por Folin & Ciocalteu, modificado por Waterman y Mole (Balois-Morales et al., 2007). Se trituraron 0.5 g de pulpa fresca, con alcohol metílico durante 30 minutos se homogenizó la muestra, posterior a eso se colocaron en la obscuridad durante 2 horas, se centrifugo y en consiguiente se filtró el extracto, se colocó 3 ml de agua deionizada en tubos de ensaye, 250 µl de solución, Folin 100 µl del sobrenadante, reposar los siguientes 8 minutos, agregar 750 µl de carbonato de sodio, la mezcla se dejó reposar por 30 min y después se determinó su absorbancia y concentración polifenoles (mg/L) en un espectrofotómetro marca Genesys modelo UV-Vis.

2.7.10 Análisis sensorial

El análisis se realizó por medio de una prueba en la cual se pueden presentar una o varias muestras para que sean evaluadas por separadas según la naturaleza del estímulo, con el fin de tener un criterio de aceptación totalmente independiente para cada muestra analizada durante los 18 días.

Por medio encuestas se pudo definir el grado de aceptación y preferencia de un producto determinado por parte del consumidor. Para estas pruebas se requirió de un grupo de diez panelistas no entrenados. A continuación, la figura 20 muestra la encuesta realizadas durante la experimentación dado que los muestreos se realizaban dos veces a la semana, el análisis sensorial se realizaba cada viernes.

Fecha _____

Nombre del producto: Pitahaya Hidroconservada

Instrucciones: Pruebe el producto que se presenta a continuación
Por favor indique con un numero en cada uno de los rubros según su criterio

1. Me agrada mucho
2. Me gusta moderadamente
3. Me gusta ligeramente
4. Ni me gusta ni me disgusta
5. Me disgusta ligeramente
6. Me disgusta moderadamente
7. Me disgusta mucho

Rubros	Código	Código
Aroma		
Color		
Sabor Pitahaya		
Sabor de liquido		
Textura		

Figura 20. Cuestionario del análisis sensorial.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Caracterización de la pitahaya fresca

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos de las características iniciales de pitahaya, de acuerdo con los criterios seleccionados, demostrando que las pitahayas seleccionadas durante la experimentación exhiben resultados dentro de los estándares bibliográficos correspondientes a la pitahaya en estado de madurez tipo C respecto a las diferentes propiedades.

Tabla 4. Propiedades de los cubos de pitahaya sin tratamiento.

Propiedad	Resultado experimental	Datos bibliográficos
Sólidos solubles totales (°Brix)	10.2±0.07	9.5-12.6 (Yah <i>et al.</i> , 2005).
Ph	4.6±0.01	4.3-4.7 (Stintzing <i>et al.</i> , 2003)
Ácido ascórbico (mg /100 g de fruta)	11.34±0.72	9.6-14.7 (Yah <i>et al.</i> , 2008)
Croma	3.23±0.54	-
Luminosidad	58.52±0.74	-
Índice de oscurecimiento (IO)	55.21±0.66	-
Polifenoles totales (µM GACb equ. g⁻¹)	6.7±0.21	5.6–7.4 µM GACb equ. g ⁻¹ (Vaillant <i>et al.</i> , 2005)
Dureza (N)	4.02±0.62	-
Firmeza (N)	3.86±0.76	-
Masticabilidad (mJ)	1.53±0.54	-
Elasticidad (mm)	1.13±0.58	-
% de O₂	15.2±0.46	-
% de CO₂	1.8±0.52	-

3.2 Caracterización de la cámara de refrigeración

Durante la conservación en refrigeración el control de la humedad relativa constituye un aspecto fundamental para los alimentos mínimamente procesados, un valor de la humedad relativa entre 85-98 % es lo aconsejable para lograr el objetivo de la conservación (Guerrera, 1996). La figura 25 muestra el comportamiento y distribución de temperaturas determinadas previo al almacenamiento refrigerado, con la finalidad de evitar cambios de temperatura que pudiesen afectar la experimentación se colocaron cortinas de plástico para reducir el flujo de aire caliente al interior, la cámara tuvo una distribución promedio de temperatura de $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una humedad relativa en un intervalo de 75 a 98% como se muestra en la figura 21 proporcionando condiciones similares a las descritas por Guerra (1996) para llevar a cabo el almacenamiento del producto.

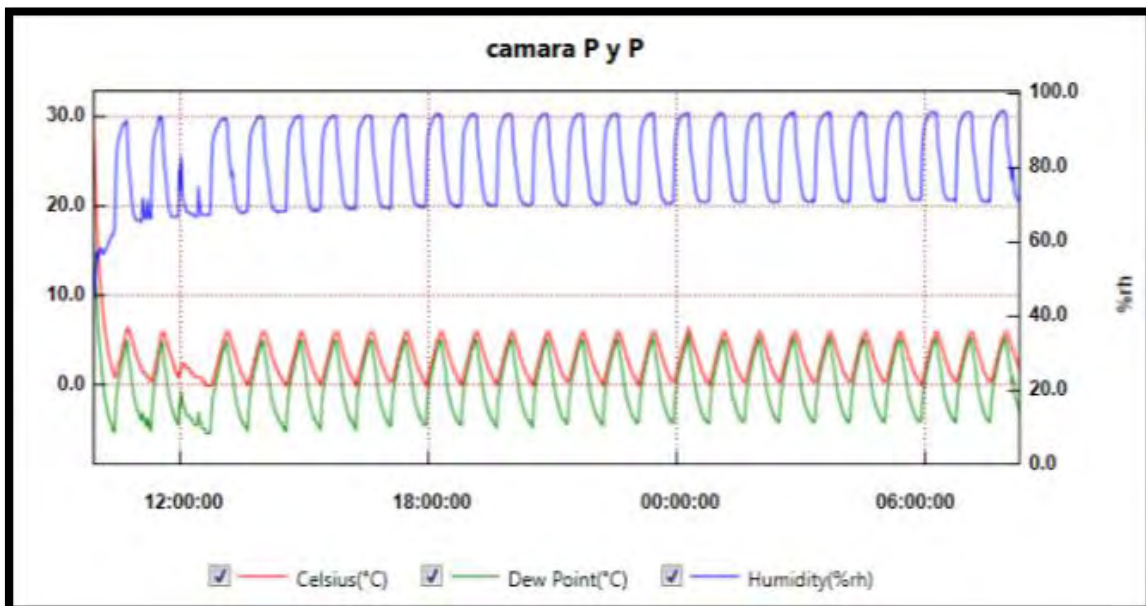


Figura 21. Temperatura y humedad relativa dentro de la cámara de refrigeración.

3.3 Concentración de CO₂ y O₂ en el espacio libre de cabeza

Una atmósfera modificada pasiva consiste en la utilización de envases plásticos de diferentes permeabilidades a los gases para crear de forma pasiva una atmósfera modificada favorable por efecto de la permeabilidad del envase (Rangel et al., 2012). La figura 22, muestra los cambios en el contenido de CO₂ durante el almacenamiento de pitahaya inmersa en líquido de cobertura, mostrándose que el contenido de CO₂ se fue incrementando en función al tiempo y composición del líquido de cobertura, las muestras control mostraron diferencia

estadísticamente significativa respecto al tiempo de almacenamiento, observándose que hasta los primeros 8 días del almacenamiento refrigerado estas mantuvieron una concentración constante de CO₂, este contenido se incrementó hasta valores por encima del 10 % para permanecer prácticamente sin variación después de este tiempo y hasta el final del almacenamiento. En cuanto al comportamiento de las muestras tratadas con CaCl₂, es posible establecer que no existió diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) respecto a las diferentes formulaciones control, Ncs y Ncs+CaCl₂, pero si con respecto a los primeros 3 días de almacenamiento; sin embargo, la concentración se incrementó hasta llegar a aproximadamente 9 % para permanecer constante después de transcurrido este tiempo, estos cambios implican que la inmersión en un medio acuoso promueve la modificación pasiva de la atmósfera, ya que de acuerdo con Pereira et al. (2004) las modificaciones en la atmósfera en relación a la concentración de O₂ y CO₂ fueron una combinación entre la permeabilidad del envase y los cambios de respiración del producto, ellos reportaron aumento en la concentración de CO₂ hasta del 7.5 % y disminución del oxígeno del 21 al 18 % durante el almacenamiento de guayaba fresca cortada previamente sometida a tratamiento osmótico, resultados que pueden explicar el comportamiento de la pitahaya inmersa en un líquido de cobertura, además de que en este caso es necesario considerar la sustitución del gas presente en los espacios intersticiales de la fruta por agua y la liberación del CO₂ producto de los procesos metabólicos propios del fruto.

Por otro lado, en la figura 22 se muestra también la evolución del CO₂ en las muestras tratadas con nanocápsulas y aquellas pre-tratadas con CaCl₂-nanocápsulas, se observa que ambos lotes muestran la misma tendencia por lo cual no existen diferencias estadísticamente significativas en la producción de CO₂ en relación al tipo de formulación aplicada, mientras que las muestras tratadas con CaCl₂-nanocápsulas exhiben la menor concentración de CO₂.

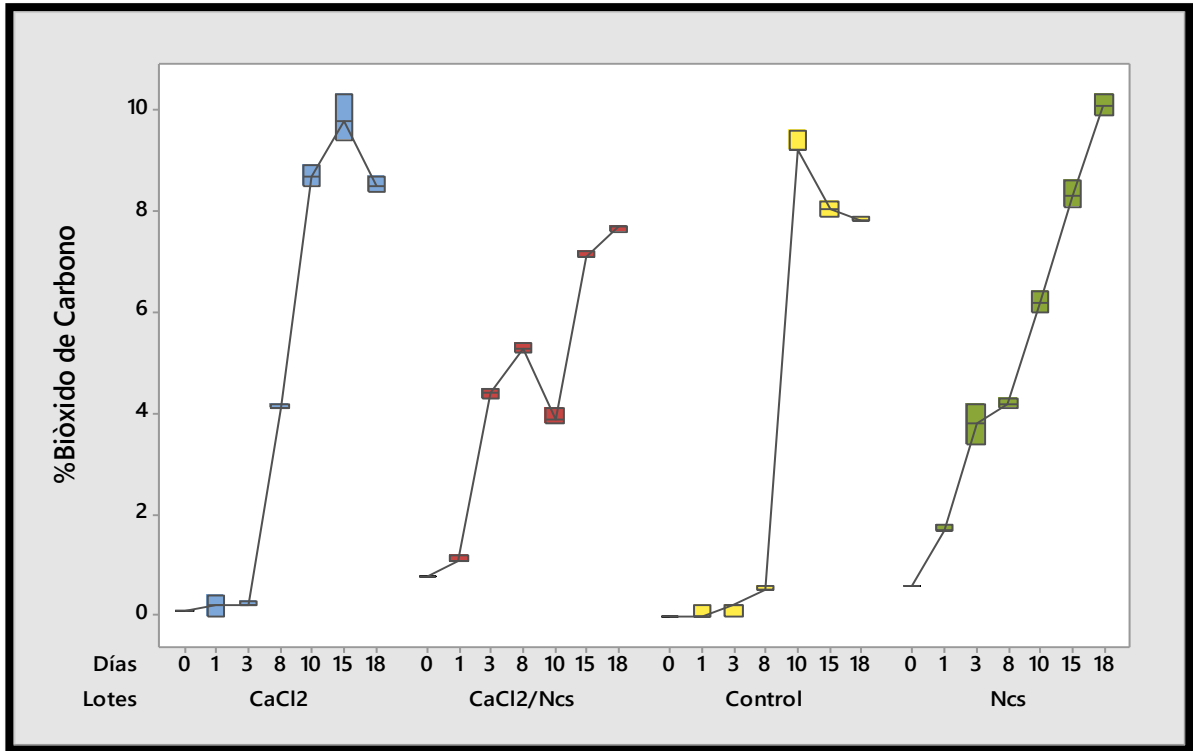


Figura 22. Producción de CO₂ en el espacio libre de cabeza en pitahaya fresca cortada inmersa en líquido de cobertura.

La figura 23 muestra los cambios en la concentración O₂ durante el almacenamiento de pitahaya en función al tratamiento realizado, observándose que los cambios se correlacionan con el comportamiento del CO₂ ya que al disminuir el uno el otro aumenta, resaltando que no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre las muestras control y las tratadas con CaCl₂, siendo importante resaltar que en este caso las muestras con nanocápsulas mostraron un efecto positivo ya que los cambios en la concentración de O₂ permanecieron constantes entre los días 3 a 10, aunque el mejor tratamiento para controlar la adsorción de O₂ permaneciendo prácticamente constante durante el almacenamiento de producto.

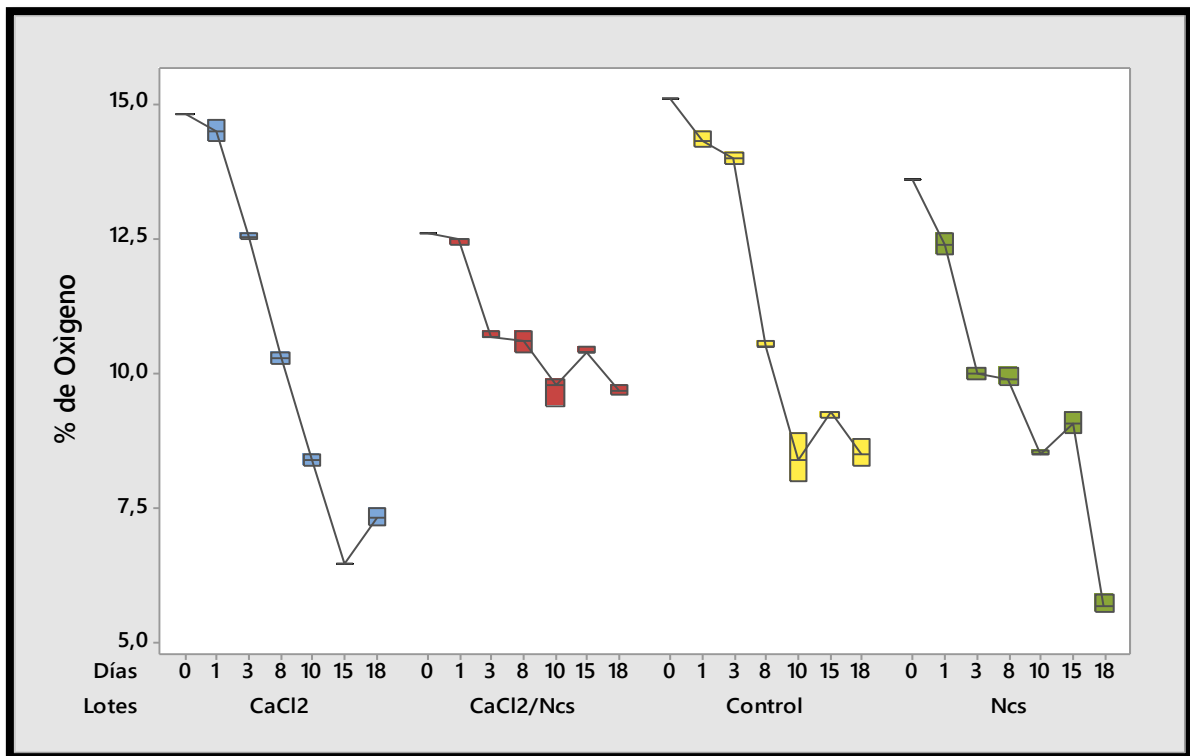


Figura 23. Cambios en la concentración de O₂ durante el almacenamiento de pitahaya fresca corta inmersa en un líquido de cobertura.

El oxígeno (O₂) es utilizado principalmente por los microorganismos aerobios que provocan la descomposición de los tejidos vegetales y participan en algunas reacciones enzimáticas en los alimentos sin embargo puede inhibir el crecimiento de anaerobios estrictos, por otro lado, el dióxido de carbono (CO₂) ejerce un fuerte efecto bacteriostático y fungicida sobre los microorganismos afectando la fase log del crecimiento microbiano (Faber, 1991), el CO₂ por encima de 5% tiene un efecto inhibitorio en contra del crecimiento en condiciones de refrigeración, sin embargo, las concentraciones muy elevadas de CO₂ puede ser provocado por bacterias como el *Cl. Botulinum*.

El envasado realizado crea una atmósfera de forma natural alterando la composición gaseosa de modo que es diferente la del aire, que normalmente contiene un 78.08% de nitrógeno, un 20.96% de oxígeno y un 0.03% de dióxido de carbono, pudiendo observar que la cantidad de CO₂ presentes en los envases en la tercera semana se encuentra en un intervalo entre los (6 - 7.5%) mientras que el O₂ se encuentra en una proporción entre (5.6 - 8.7%).

la producción de CO₂ y la reducción de O₂ puede ser debido a que los envases trataron de alcanzar un estado de equilibrio dinámico o estacionario (Jacxsens et al., 2002) o inclusive a la presencia de actividad microbiana. De acuerdo con Vargas et al (2007), una de las ventajas del almacenamiento en atmósfera modificada, con baja concentración de O₂ y alta de CO₂, es la de disminución de la velocidad de transformación de los ácidos orgánicos en las frutas (Artés, 2000).

3.4 Determinación de peso

Debido a que los frutos poseen membranas semipermeables, los sólidos presentes en el líquido de cobertura migran hacia el interior de los cubos de pitahaya, mientras que los sólidos presentes en el líquido de cobertura extraen el agua interna del alimento; por lo que se observan pequeños rasgos que existe un incremento de porcentaje de peso en los lotes.

De acuerdo con el análisis estadístico de 1 vía y lo observado en la figura 24, existió diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) en función tanto al tiempo de almacenamiento refrigerado como en relación al tratamiento. Sin embargo, es necesario puntualizar en relación al efecto del tratamiento en los cambios de peso del producto, asociados a la migración de agua desde el líquido de cobertura agua a la pitahaya y liberación de sólidos hacia el líquido de cobertura, lo que implica una deshidratación osmótica del producto. Se observó que las muestras control son las presentan una mayor ganancia de peso alcanzando un 13 % a los 15 días de almacenamiento refrigerado para posteriormente disminuir a los 18 días donde el producto prácticamente estaba desintegrándose, razón por la que existió una disminución de peso.

Como se observa en la figura 24, las muestras pre-tratadas con CaCl₂ únicamente, mostraron una ganancia de peso del 9 % durante los primeros 10 días de almacenamiento para posteriormente disminuir debido a las modificaciones en la estructura de la pitahaya en la que existió una disminución del peso. Es importante resaltar que las muestras tratadas con nanocápsulas tuvieron menor ganancia peso debido al agua absorbida del medio con lo que es posible establecer que estas muestras presentaron una mayor estabilidad del producto durante el tiempo de almacenamiento refrigerado; sin embargo, es importante resaltar que las muestras que recibieron tratamiento combinado de CaCl₂-nanocápsulas fueron las que presentaron la mayor estabilidad al almacenamiento refrigerado, lo que implica que un

tratamiento de CaCl_2 previo a la incorporación del líquido de cobertura con nanocápsulas favorece a la membrana celular de los cubos de pitahaya provocando que fueran lo suficientemente permeables para que exista una transferencia de masa entre el medio y producto, manteniendo la turgencia celular y firmeza de los tejidos (Ciccarese et al., 2013).

La presencia de pectinas en la pitahaya en conjunto con la solución de CaCl_2 al 1% juega un papel importante debido a que los iones calcio actúan sobre las cadenas de pectina para formar puentes entre estas, aumentando la fuerza de la pared celular (Contreras et al., 2011) favoreciendo las muestras tratadas con CaCl_2 durante los 18 días de almacenamiento principalmente en el lote CaCl_2+Ncs .

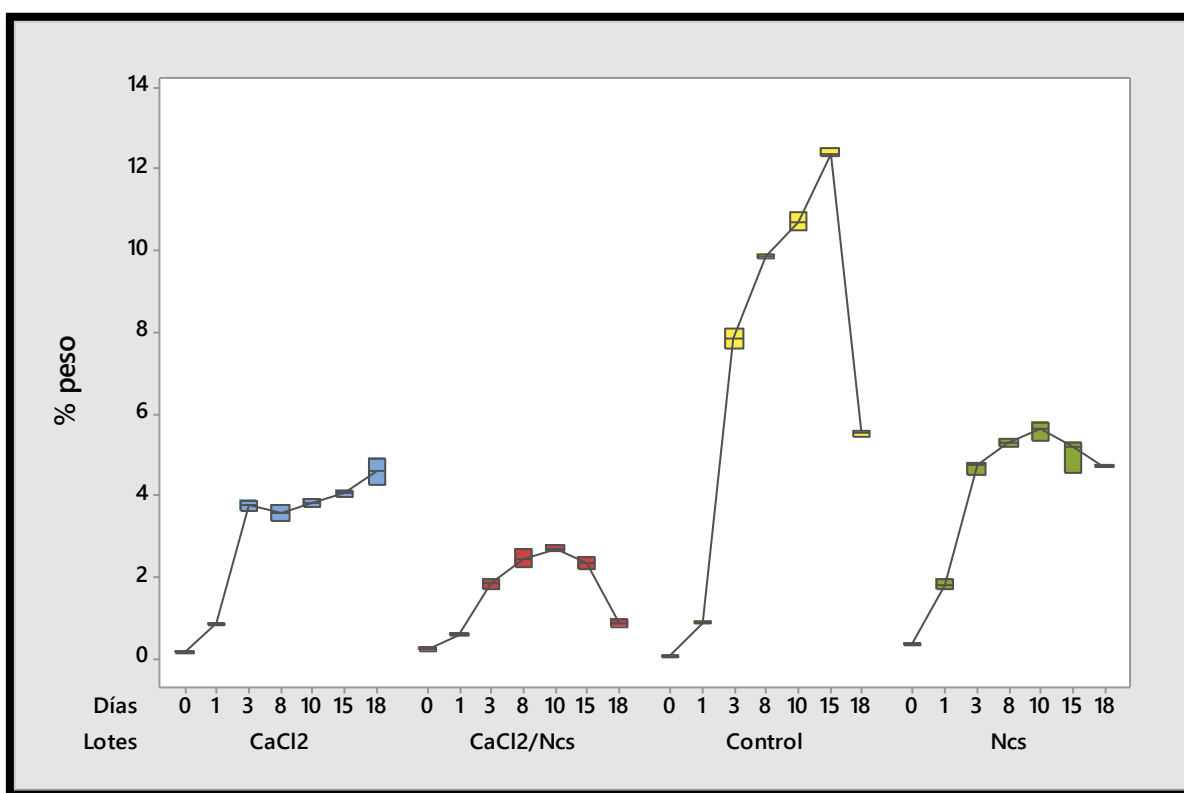


Figura 24. Determinación del peso debido al drenado y migración de sólidos hacia el líquido de cobertura.

3.5 Evaluación de color

Los cambios físico-químicos durante el procesamiento y almacenamiento de las frutas pueden causar un deterioro en su calidad, afectando el color, la textura, el sabor, el olor y el valor nutritivo. Estos componentes suelen aparecer en operaciones tales como el pelado y la

reducción de tamaño permitiendo que las enzimas (clorofilasa, peróxidasas, polifenoloxidasa) y los sustratos entren en contacto, principalmente en la superficie de los productos, originando reacciones enzimáticas relacionadas al deterioro de color (Badui, 2006). Las frutas contienen sustancias naturales que son responsables de su color característico. El color y apariencia son atributos de suma importancia que influyen en la selección de un alimento (Hutchings, 1994).

a) Luminosidad

Dentro de los parámetros medidos con respecto al color se encuentra la luminosidad, la figura 25 muestra el cambio de luminosidad que se presenta en función a los colores oscuros desarrollados y aquellos que representan un blanco puro. Por otro lado, en la figura 26 se muestra el comportamiento de los cubos de pitahaya durante el almacenamiento refrigerado en función al pre-tratamiento y composición del líquido de cobertura, apreciándose que la tendencia de la luminosidad es a la disminución con respecto al tiempo principalmente entre los días 0 y 3, mostrándose cambios estadísticamente significativos ($\alpha = 0.05$) entre los cuatro lotes experimentales. Los resultados obtenidos de luminosidad se encuentran alrededor de 70 % y 40 %, estos porcentajes significan el grado de presencia del blanco y va desde 0 a 100 como se indica en la figura 24. De acuerdo con la figura 25, las muestras que tuvieron menor variación en la luminosidad fueron aquellas pre-tratadas con CaCl_2 e inmersas en líquido de cobertura con nanocápsulas, mientras que las muestras control son las que presentan la mayor luminosidad con 38.36 como se indica en la tabla 5.

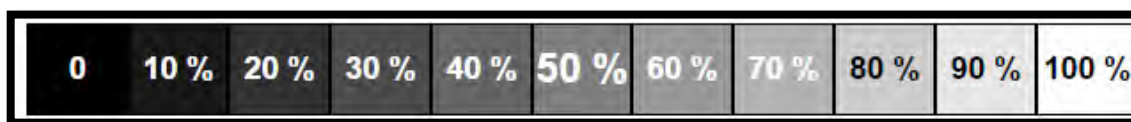


Figura 25. Escala de L (Sève, Robert ,2009).

Tabla 5. Desviaciones estandar de la luminosidad en pitahaya.

	Control	CaCl2	Ncs	Ncs+CaCl2
0	58.44±0.09	60.02±0.21	56.40±0.23	60.54±0.12
1	53.87±0.12	37.07±0.53	58.52±0.31	56.46±0.42
3	40.86±0.32	34.82±0.29	51.84±0.42	53.18±0.51
8	40.50±0.43	34.83±0.34	38.47±0.04	38.59±0.09
10	42.20±0.13	35.01±0.21	37.48±0.23	40.85±0.34
15	40.69±0.28	32.56±0.07	31.72±0.34	40.21±0.27
18	38.36±0.49	34.85±0.13	32.89±0.44	36.89±0.13

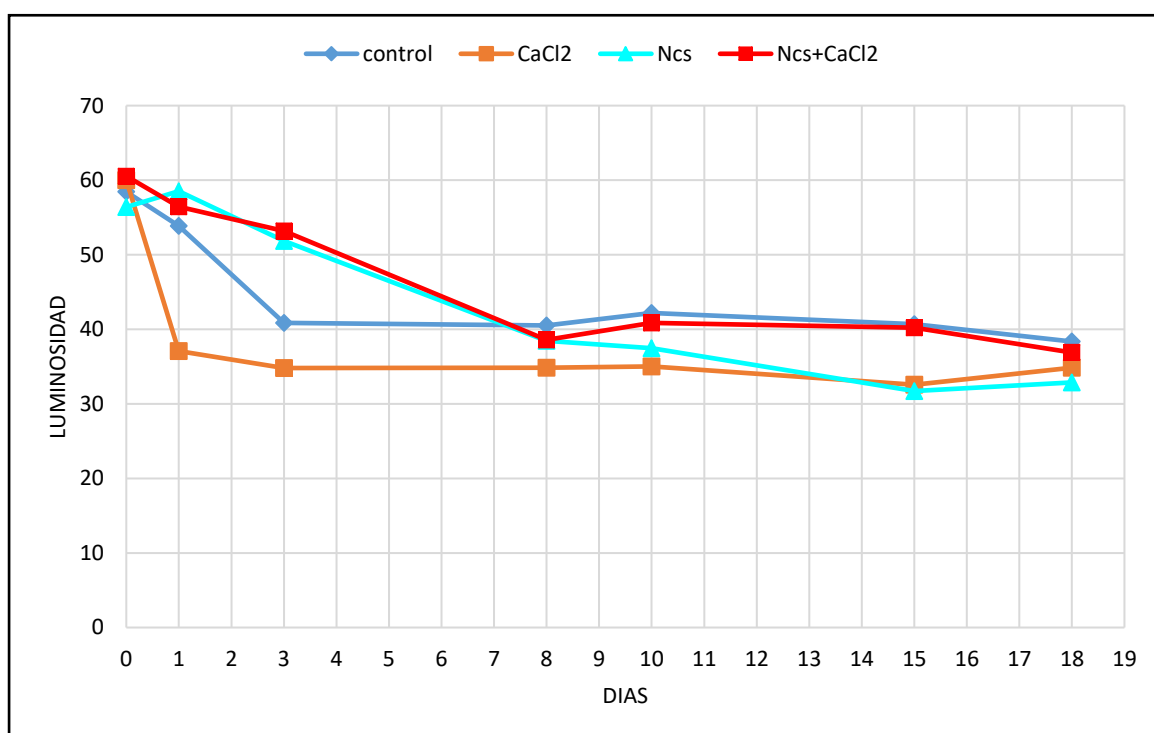


Figura 26. Luminosidad de cubos de pitahaya con diferentes tratamientos en su almacenamiento en refrigeración.

b) Croma

La pitahaya de pulpa blanca se caracteriza por tener semillas de color negro embebidas en el endocarpio del fruto, lo que hace que la cromaticidad sea baja, con valores que para este caso fueron entre los 3 a 15, los cambios en cromaticidad en este caso se asocian al desarrollo de oscurecimiento en la superficie de la pitahaya, lo que se muestra al final del almacenamiento del producto.

Ya que el croma (C^*ab) es una combinación de las coordenadas a^* y b^* , su comportamiento permite diferenciar más fácilmente la vividez (González, 2010). La figura 27, exhibe los cambios de cromaticidad que se presentaron en los cubos de pitahaya mientras que la tabla 6 muestra las desviaciones de la experimentación, se observa claramente que el nivel de saturación corresponde a un producto con alto contenido de blancos y en escala de grises asociados a las semillas que se encuentran en el producto, las muestras control y aquellas pre-tratadas con CaCl_2 no presentan diferencias estadísticamente significativas $\alpha = 0.05$ durante al menos los primeros 10 días de almacenamiento refrigerado mostrando un incremento hacia el final del almacenamiento lo que se asoció al desarrollo de pigmentación oscura debido a la actividad de las enzimas polifenoloxidasas.

Las muestras pre-tratadas con CaCl_2 e inmersas en líquido de cobertura con nanocápsulas de aceite de limón y α -tocoferol a pesar de que mostraron un incremento de 5.5 unidades es la que permaneció más estable durante el periodo de almacenamiento ya que después del primer día los cambios fueron asociados a la forma en que las semillas se encontraban distribuidas en el producto, el uso de CaCl_2 pudo favorecer a una mayor estabilidad con respecto a la cromaticidad (Cabrera, 2003), sin embargo, es posible resaltar que los lotes tratados únicamente con nanocápsulas presentan variaciones en la cromaticidad, aunque las intensificación del color no fue más allá de las 10 unidades de cromaticidad.

Tabla 6. Desviaciones estándar de la cromaticidad en la pitahaya

	Control	CaCl_2	Nes	Nes+ CaCl_2
0	5.46±0.42	3.44±0.23	4.60±0.09	5.43±0.23
1	3.84±0.32	2.97±0.45	2.35±0.41	5.22±0.35
3	2.82±0.45	2.18±0.51	4.50±0.17	6.46±0.15
8	3.07±0.23	3.54±0.32	5.06±0.45	6.90±0.43
10	2.90±0.21	2.85±0.32	7.24±0.51	10.43±0.21
15	2.93±0.33	6.85±0.41	7.54±0.43	10.32±0.33
18	6.71±0.22	11.85±0.09	11.11±0.33	10.09±0.24

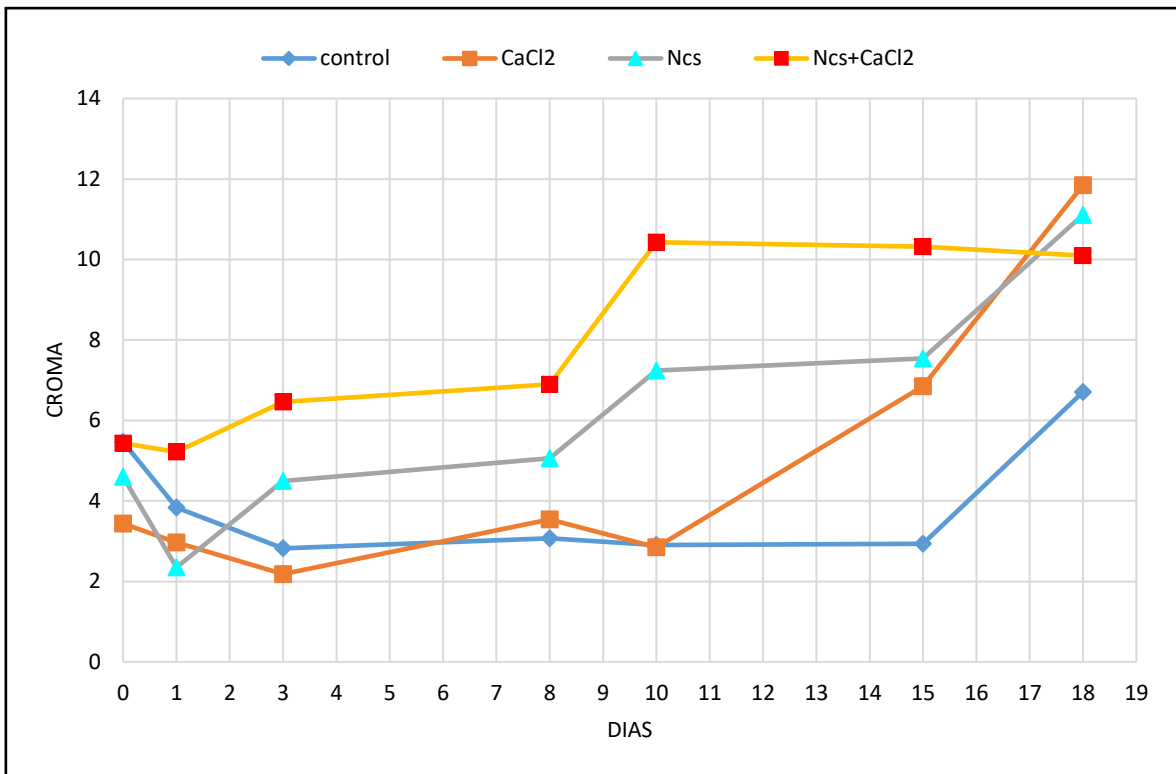


Figura 27. Cromaticidad en cubos de pitahaya con diferentes tratamientos durante su almacenamiento en refrigeración.

c) Índice de oscurecimiento (IO)

El oscurecimiento en frutas frescas modifica las características organolépticas reduciendo su calidad limitando su vida útil y su fácil comercialización (Zambrano, 2013). La figura 28, muestra el comportamiento del índice de oscurecimiento con respecto al tiempo en cubos de pitahaya, el intervalo de variación del IO se encuentra alrededor de los 43 a los 68 %, revelando que no existen diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0.05$) entre las muestras control, nanocápsulas y pre-tratadas con CaCl_2 e inmersas en nanocápsulas en relación a este parámetro, mostrándose que el hecho de pre-tratar el producto con CaCl_2 , produjo variaciones considerables entre los tratamientos aplicados en relación al índice de oscurecimiento, esto se asocia a la dispersión de semillas de color negro en la pulpa y la asociación con pectinas con el CaCl_2 proveniente del pre-tratamiento.

El oscurecimiento es una reacción mediada por enzimas causadas por las heridas que se producen en las frutas por efecto del manejo como el cortado o rebanado provocando un aumento en la producción de compuestos fenólicos y con ello sustrato disponible para la polifenoloxidasas y peróxidasas (Zambrano, 2013) que catalizan la oxidación de los fenoles

propios de la célula, abundantes en las vacuolas, que generan quinonas. Estos compuestos además de originar colores oscuros, reducen la calidad y conducen a la muerte del fruto (Apel et al., 2004).

Tabla 7. Desviaciones estándar para el índice de oscurecimiento en pitahaya.

	control	CaCl ₂	Ncs	Ncs+CaCl ₂
0	58.80±0.32	57.98±0.14	58.36±0.46	61.54±0.32
1	57.40±0.15	58.78±0.43	58.78±0.41	58.44±0.44
3	57.61±0.33	58.21±0.32	58.38±0.42	60.48±0.39
8	55.45±0.31	56.60±0.43	57.94±0.36	59.12±0.26
10	53.56±0.46	56.59±0.27	55.45±0.32	55.59±0.54
15	53.21±0.35	63.04±0.19	56.53±0.21	60.06±0.35
18	50.54±0.31	63.61±0.35	59.03±0.27	60.28±0.24

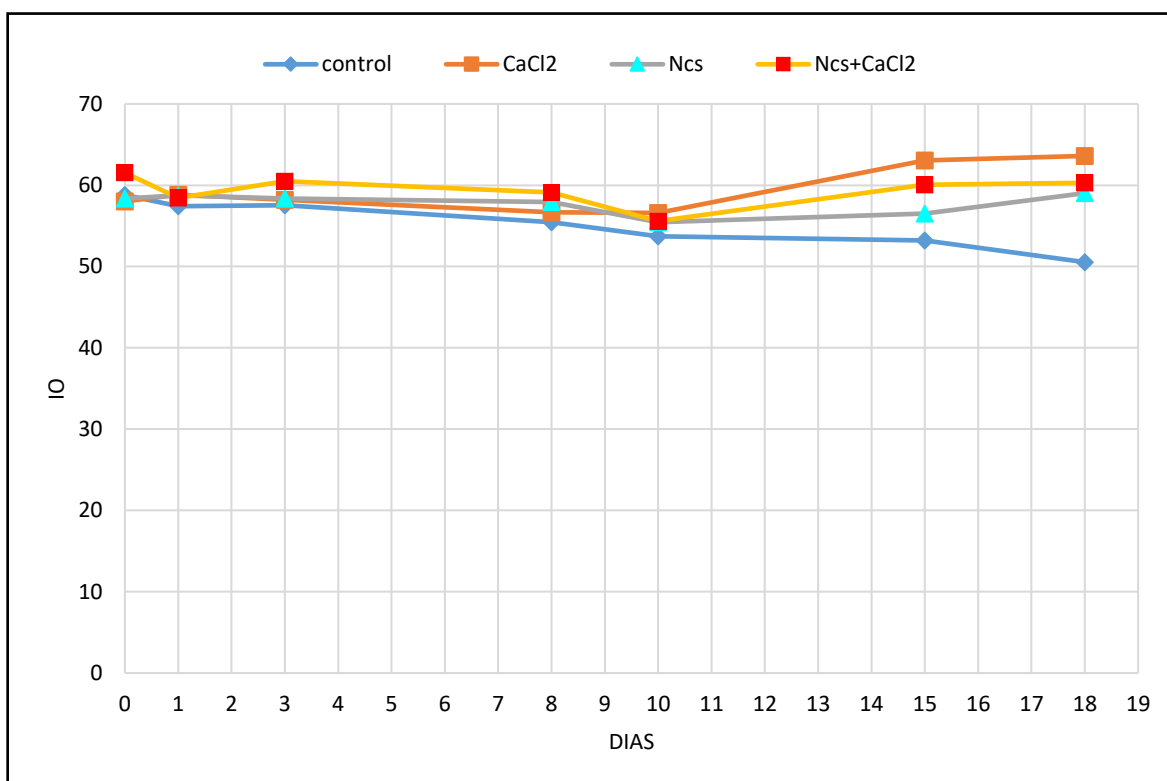


Figura 28. Comportamiento del índice de oscurecimiento en cubos de pitahaya.

3.6 Evaluación de turbidez

La turbidez es un parámetro de calidad para el líquido de cobertura, con el cual se percibe la cantidad de sólidos suspendidos que este contiene, esta es una propiedad óptica que se mide por la suspensión de partículas, provocando que la luz sea dispersada y no transmitida a través de una sustancia (Sawyer et al., 1994) l a turbidez es importante debido a que los

cubos de pitahaya fresca cortada se encuentran dentro de medio acuoso en el que existe migración de sólidos debido a la degradación de la membrana dentro de la pitahaya, que provoca el desprendimiento de pequeñas partes del fruto alterando la turbidez del líquido de cobertura.

La figura 29 muestra como afecto el tiempo de almacenamiento y la composición del líquido de cobertura sobre las partículas suspendidas, mostrando que el mayor incremento en la turbidez lo presentaron el lote control y CaCl_2 , las condiciones de calidad de un líquido de cobertura deben de tener la mínima cantidad de sólidos suspendidos para tener una apariencia más clara y translúcida.

El análisis estadístico realizado para la prueba de turbidez indica que no existe algún cambio significativo ($\alpha=0.05$) entre los lotes de CaCl_2 y control ya que siguen el mismo comportamiento; es decir, el aumento de la turbidez es gradual con el transcurso de los días. En la figura 28 se contempla el comportamiento de las muestras pre-tratadas con CaCl_2 y nanocápsulas, así como aquellas que solo contenían nanocápsulas exhiben comportamiento con diferencias significativas ($\alpha=0.05$) entre ellos, observándose que la turbidez inicial tiene un incremento debido a la presencia de un sistema compuesto por nanocápsulas de α -tocoferol y aceite de limón en el líquido los valores turbidez aumentan significativamente a valores superiores a 300; sin embargo, el lote con mayor cambio en turbidez lo mostró el que fue preparado con nanocápsulas, mientras que el tratado con CaCl_2 y nanocápsulas presentó menores variaciones durante el tiempo de almacenamiento. Por lo que, los lotes tratados con CaCl_2 presentaron un menor grado de turbidez es decir presentan una estructura más resistente al desprendimiento de la pared celular con respecto al tiempo favoreciendo el aspecto del producto.

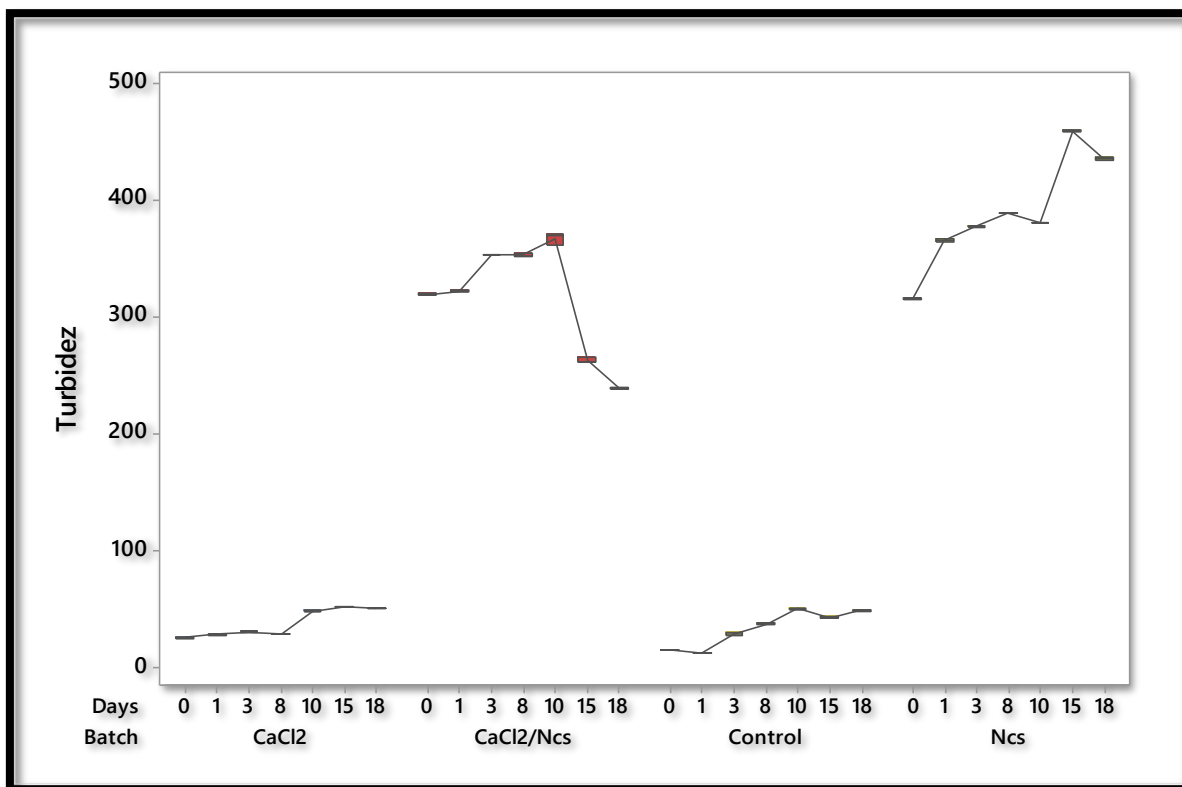


Figura 29. Comportamiento de la turbidez del líquido de cobertura.

3.7 Evaluación de pH

Las Figuras 30 muestran el comportamiento del pH en cubos de pitahaya durante el almacenamiento en líquido de cobertura, se observa que el valor de pH de la pulpa de pitahaya fresca cortada mostró una disminución paulatina y los valores se encuentran alrededor de 3.2 a 4.7; sin embargo, los lotes que no contienen nanocápsulas de aceite de limón y α -tocoferol presentaron un mayor pH durante los primeros días, y finalmente estableciendo su pH entre los 4 y 4.2. Mientras que contenían nanocápsulas los valores de pH se mantienen más bajos de los lotes control y CaCl₂ ya que estos se encuentran por debajo de los 4 y por encima de los 2.7, como se observa en la figura 29 todos los lotes presentan la misma tendencia hacia la disminución del pH; sin embargo, los lotes control y CaCl₂ presenta cambios significativos ($\alpha = 0.05$) en comparación de los lotes de Ncs y Ncs+CaCl₂. La disminución de pH para las muestras con nanocápsulas se le atribuye a la degradación del poliéster poli- ϵ -caprolactona (PCL) empleado en la preparación de las nanocápsulas, debido a la degradación del poliéster utilizado (PCL) en medio acuoso, produciendo ϵ -ácido

hidroxicaproico, lo que induce generalmente a una acidificación del medio (Masson et al., 1996; Lacoulonche et al., 1999).

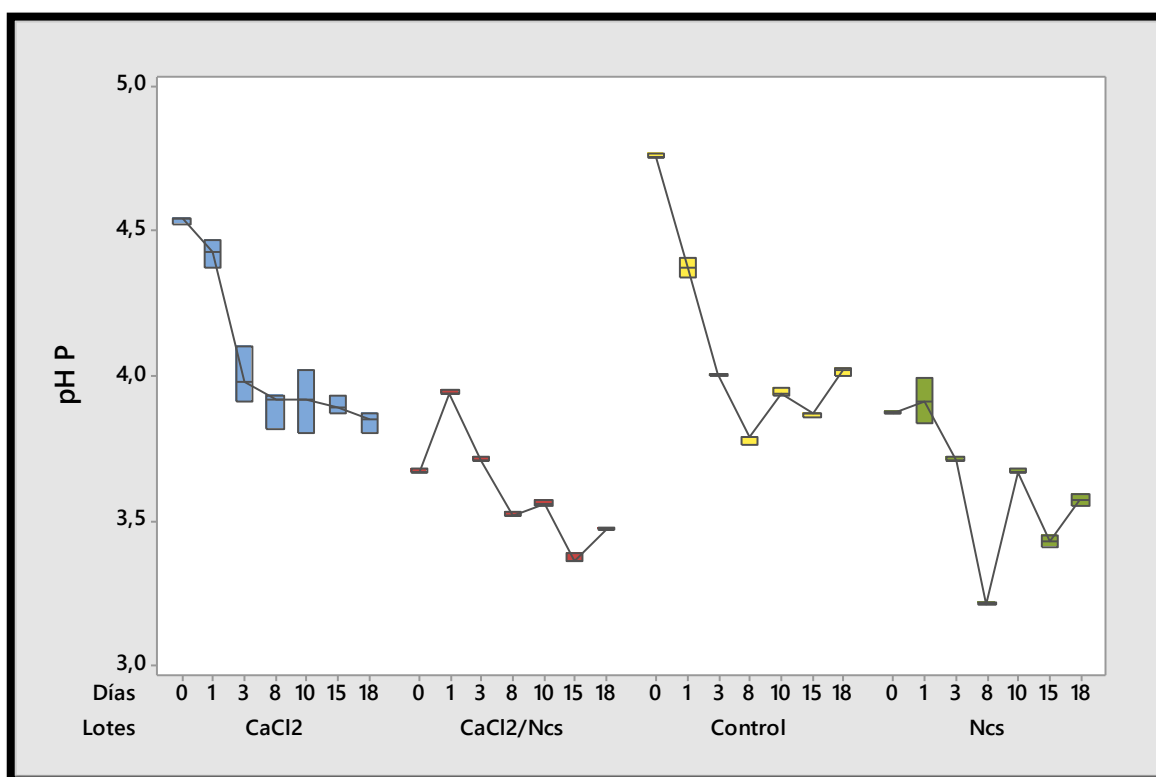


Figura 30. Cambios en pH durante el almacenamiento refrigerado de pitahaya, en relación a la composición del líquido de cobertura.

La Figura 31 indica los cambios ocurridos durante los 18 días de almacenamiento con respecto al pH en el líquido de cobertura, apuntando que existió variación estadísticamente significativa (entre los lotes en Ncs y Ncs+CaCl₂), por otro lado, los lotes control y CaCl₂ no presentan cambios estadísticamente significativos ($\alpha=0.05$). Desde el punto de vista microbiológico la disminución de pH en los cubos de pitahaya expone a los microorganismos a un medio hostil, lo que previene o retarda su crecimiento, disminuyendo su supervivencia o causando su muerte y así prolongar la vida útil del producto (Sauceda et al., 2011).

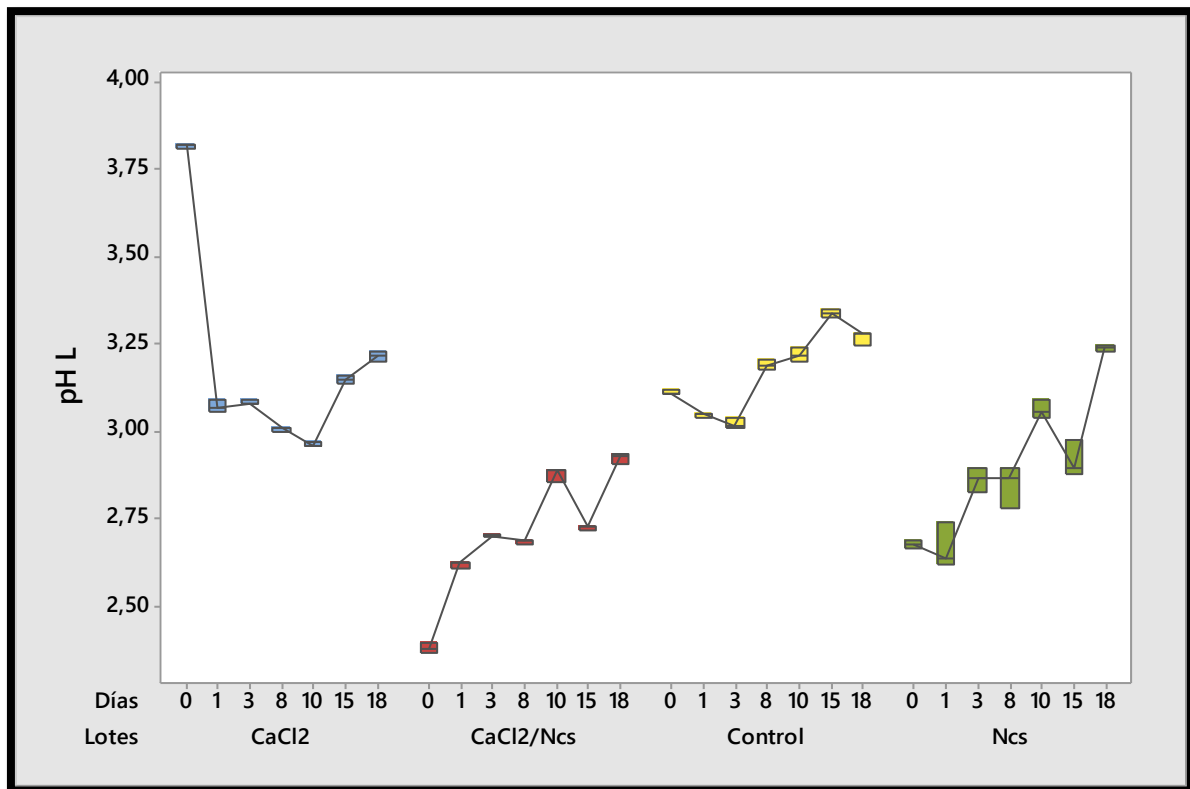


Figura 31. Cambios en pH durante el almacenamiento refrigerado del líquido de cobertura.

3.8 Determinación de ácido ascórbico

De acuerdo a los datos bibliográficos obtenidos de Yah et al (2008) la cantidad de ácido ascórbico presente en la pitahaya es de 9.6 a 14.7g /100 g de muestra. La Figura 32 exhibe que existe una variación en la concentración de ácido ascórbico durante los 18 días de almacenamiento a 4 ± 1 , esto se puede deber a factores como el estado de madurez del fruto y la estructura porosa, además de que las membranas celulares son semipermeables permitiendo que diferentes materiales como solutos, sustancias orgánicas y sólidos solubles presentes en la pitahaya pudiesen migrar al líquido de cobertura además de solo agua (Derossi et al., 2008). Debido a que el ácido ascórbico es muy inestable en productos frescos y se degrada en ácido dehidroascórbico por acción del enzima ascórbico oxidasa, mediante el empleo de un ión cobre como cofactor o por presencia de oxígeno (Yah et al., 2008).

El ácido ascórbico en general se vio afectado durante los 18 días de almacenamiento, principalmente en los lotes control y CaCl₂ que exhiben una disminución continua con respecto los días de almacenamiento posicionándose con valores alrededor de los 9g /100 g de muestra, la disminución de los ácidos orgánicos en los frutos de pitahaya se debe a que el

ácido ascórbico puede romperse también en reacciones no oxidativas, especialmente en medio ácido (entre pH 3 y 4), este efecto puede ser importante en productos enlatados y cortados (Romero et al., 2013).

Los lotes tratados con nanocápsulas de aceite de limón y α -tocoferol tienden a una mayor variación con respecto a los 18 días de almacenamiento, esta variación puede ser atribuida por las nanocápsulas de aceite de limón que contienen pequeñas cantidades de ácido ascórbico e incluso este incremento podría indicar una desviación en el metabolismo de los cubos de pitahaya, pasando a la vía fermentativa debido a las altas concentraciones de CO₂ y bajas de O₂ alcanzadas en la atmósfera del envasado (Vargas et al., 2010).

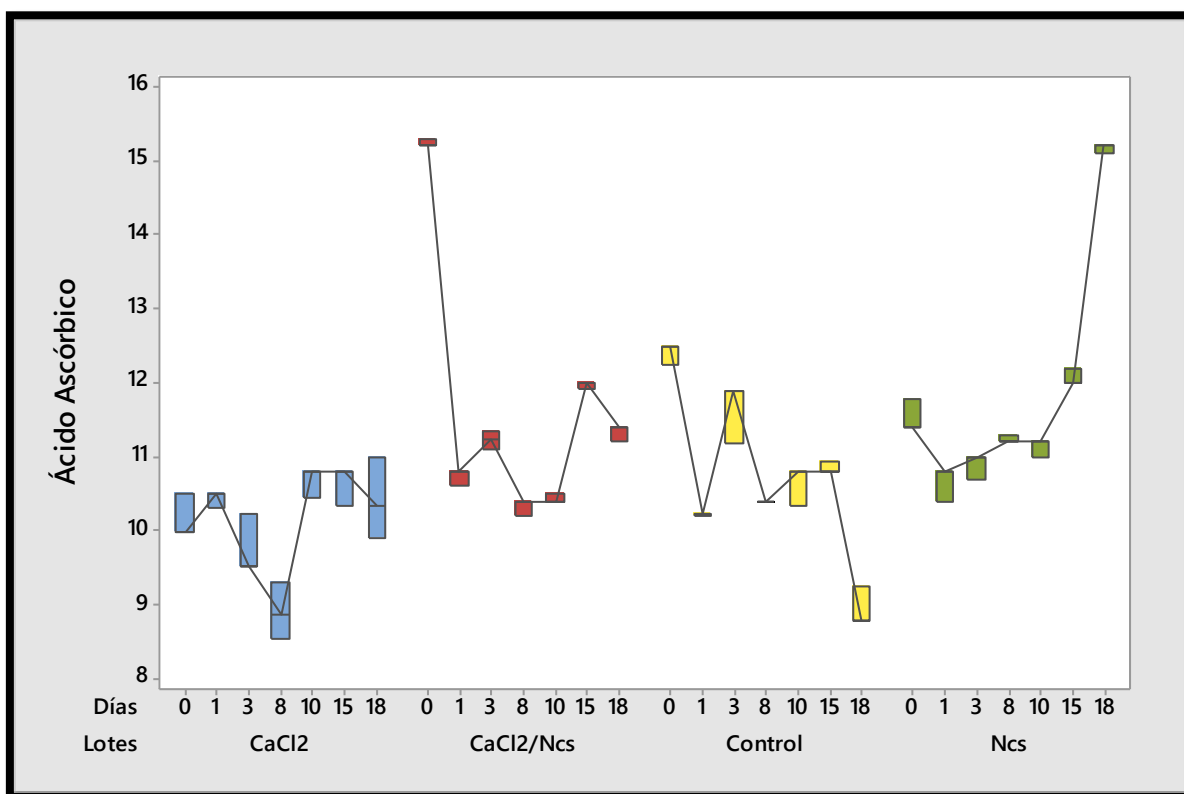


Figura 32. Comportamiento de ácido ascórbico en los diferentes tratamientos.

3.9 Evaluación de °Brix

La figura 33 expresa el comportamiento de los sólidos solubles expresados en °Brix para los cuatro diferentes tratamientos aplicados a los cubos de pitahaya almacenados en refrigeración. Se observa que existe un aumento progresivo de la cantidad de °Brix con un

valor promedio de 9.3 a los 14.5. los lotes tratados con CaCl_2 presentan una mayor estabilidad con respecto a los días de almacenamiento, debido a que la membrana celular mantiene una permeabilidad selectiva (Pérez et al., 2015), dado que el líquido de cobertura contiene glucosa que es un azúcar de bajo peso molecular favorece la ganancia de °Brix debido a la fácil penetración de las moléculas; así el principal efecto del proceso va a ser un enriquecimiento de sólidos en lugar de una deshidratación; sin embargo, se puede observar que existen algunas variaciones en los diferentes tratamientos aplicados.

De acuerdo con Pan et al (2012) el cambio de los sólidos solubles durante el almacenamiento de las frutas mínimamente procesadas suele mostrar una ligera tendencia a elevarse, lo cual podría verse influenciado por la baja temperatura de almacenamiento. Los valores fluctuantes de los dos primeros y últimos días de los frutos de pitahaya refrigerados se deben a que no mantuvieron un choque térmico a lo largo de toda la experiencia, y uno de los mecanismos que se encuentra presente es la tolerancia a los daños por frío, incrementando los sólidos solubles totales (Narváez et al., 2002). De igual manera, Gallo (1993) indicó que la maduración de la fruta es un factor que define la cantidad de sólidos solubles totales (°Brix), y varía con el tamaño de la misma. La comparación entre los diferentes tratamientos dio como resultado que los lotes control y CaCl_2 no presentan diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en comparación de los lotes que fueron tratados con Nanocápsulas.

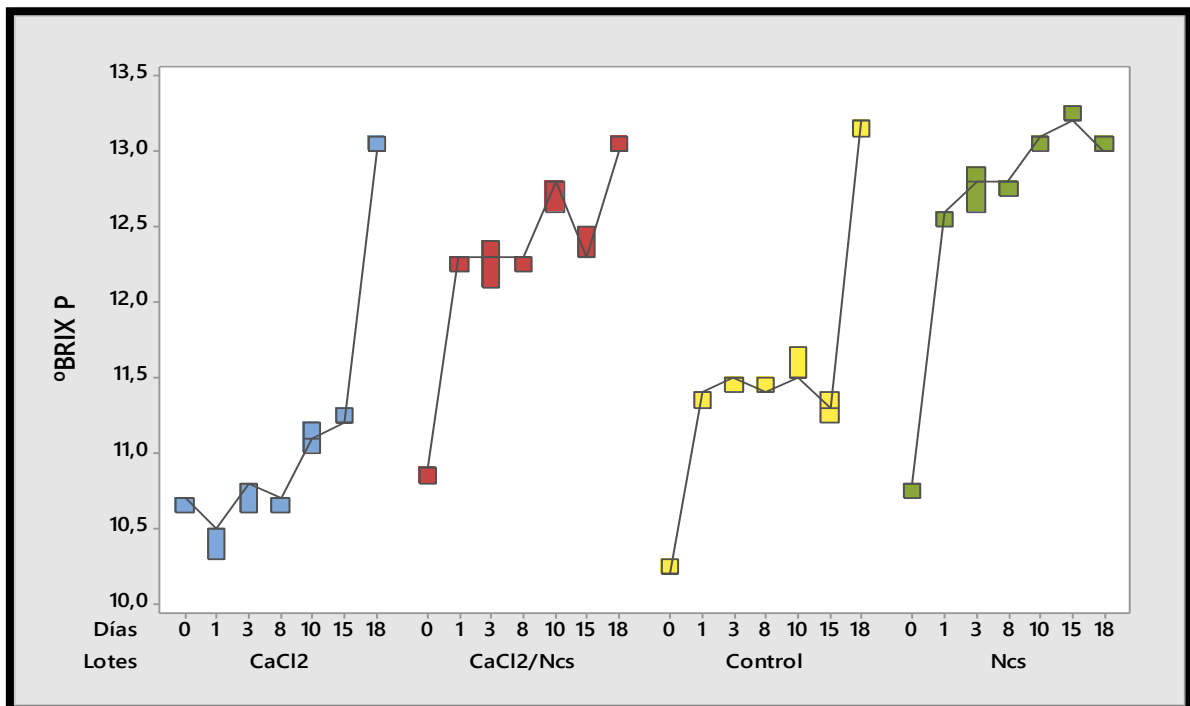


Figura 33. Cambios en sólidos solubles en cubos de pitahaya.

El monitoreo de la cantidad de sólidos presentes en el líquido de cobertura se ven expresados en la figura 34, las concentraciones del líquido de cobertura afectan significativamente los intercambios de agua y soluto durante la ósmosis, modificando por lo tanto las características del producto final. Se puede observar que en los primeros días de muestreo estos tuvieron una gran variación, pero posterior a eso se mantuvieron los niveles de sólidos totales. El incremento de °Brix en los lotes Ncs y Ncs+CaCl₂ entre los días 0 y 3, mientras que en los lotes control y CaCl₂ en los días 15 y 18. La comparación entre los diferentes tratamientos aplicados en pitahaya fresca cortada en relación a la concentración de sólidos totales presentes en el líquido de cobertura son significativamente diferentes, en especial el lote con CaCl₂ que exhibe el valor más bajo de °Brix.

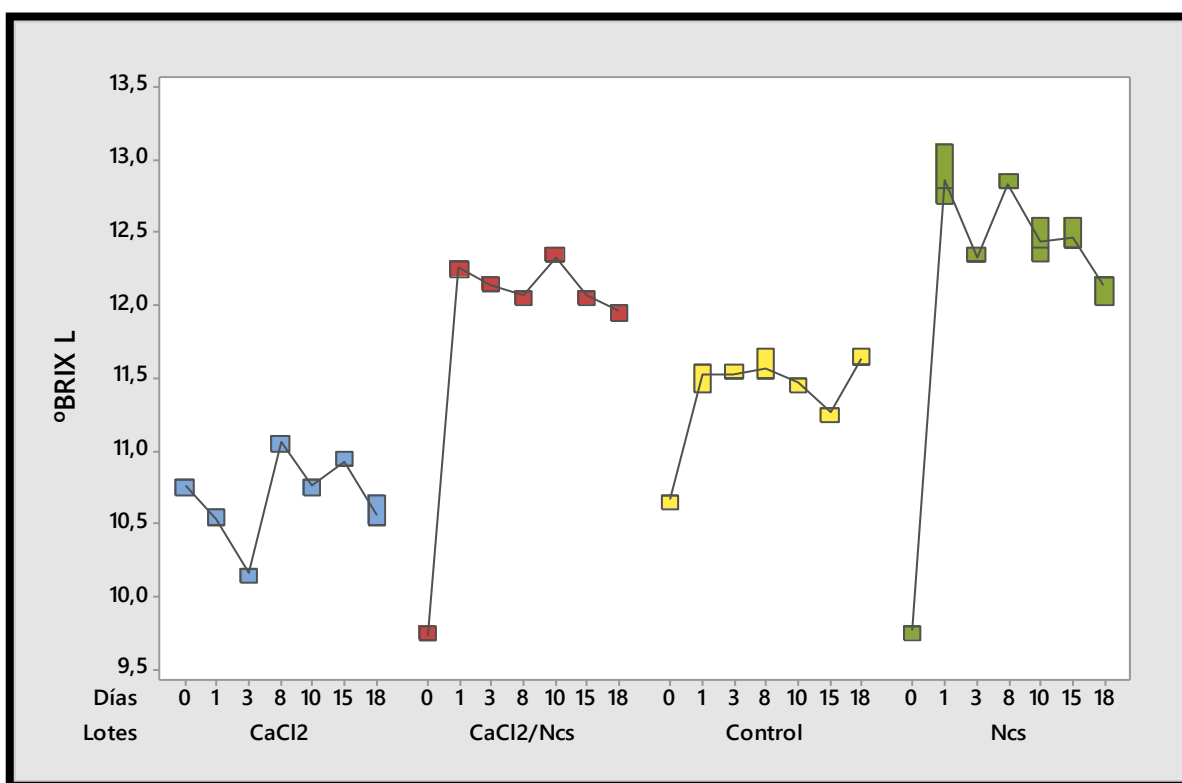


Figura 34. Cambios en sólidos solubles en el líquido de cobertura.

3.10 Concentración de polifenoles totales

Las frutas de pitahaya se caracterizan por el alto contenido de compuestos con capacidad antioxidante en comparación al mamey maduro (Balois et al., 2007); compuestos tales como los fenoles, pigmentos y vitaminas contribuyen a retardar los daños producidos a nivel del sistema nervioso central, como consecuencia del envejecimiento de las células (Bickford et al., 1997; Kuskoski et al., 2005). En la figura 35 se muestra el efecto de la composición del

líquido de cobertura, mostrando que no existió diferencia estadísticamente significativa ($\alpha=0.05$) hasta los 15 días de almacenamiento en las muestras de pitahaya independientemente del líquido de cobertura empleado, las variaciones mostradas en el contenido de polifenoles se le atribuyen a la variación entre las muestras y no al tiempo de almacenamiento. De acuerdo a las concentraciones reportadas bibliográficamente por Ochoa-Velasco (2012) la composición en polifenoles de este trabajo fueron similares a las de la pitahaya inmersa en líquido de cobertura, sin embargo, la variación de la concentración durante los últimos días experimentales en los lotes Ncs y $\text{CaCl}_2 + \text{Ncs}$ se ven favorecidas ya que al poseer una concentración más elevada de polifenoles propician secuestrar a los radicales libres (Kuskoski et al., 2005) previniendo el desarrollo de algunas enfermedades y el deterioro del fruto.

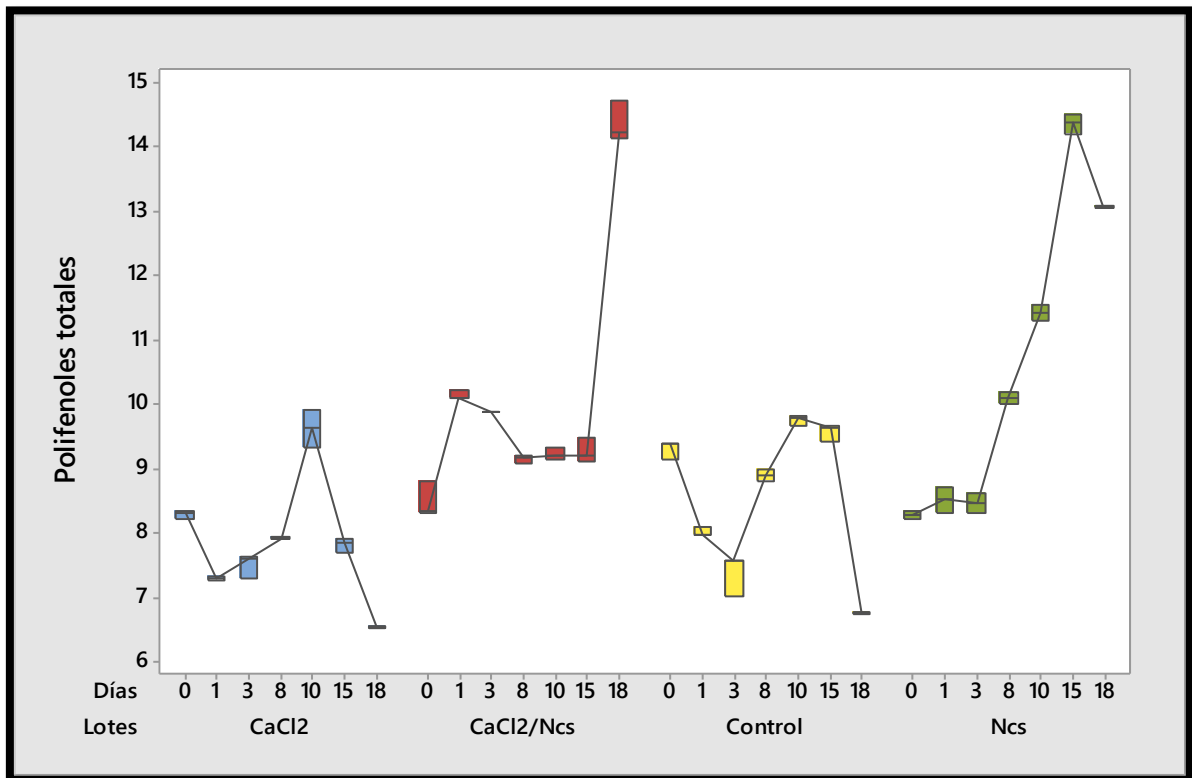


Figura 35. Comportamiento de la concentración de Polifenoles totales con diferentes tratamientos.

3.11 Evaluación de textura

a) Firmeza

La figura 36 presentan la firmeza de los cubos de pitahaya, la firmeza se define como una propiedad cuantitativa y ayuda a establecer parámetros de calidad, estado de madurez y resistencia a daños mecánicos (Barreiro et al., 1996).

La leve disminución en la firmeza, que se observó durante los primeros días de almacenamiento en los cuatro tratamientos evaluados, podría relacionarse con la degeneración del parénquima cortical que forma la pared celular debido a procesos de degradación enzimática (De Carnauba, 2010) la actividad de las enzimas involucradas en la degradación de componentes de la pared celular se incrementa en muchas frutas mientras que la acción de las enzimas pectinolíticas que transforman la pectina soluble e insoluble promueve el ablandamiento del fruto (Márquez et al., 2009). De acuerdo con los resultados obtenidos tabla 8, el lote que presenta una mayor estabilidad al aumento de peso es el Ncs+CaCl₂, esto debido a que la pared celular incrementa su rigidez por acción de la inmersión en CaCl₂, dado estos resultados la firmeza tiende al mismo comportamiento, el lote Ncs+CaCl₂ presenta la mayor firmeza con valores superiores a los 2 N, en comparación con los otros tres lotes, el análisis estadístico no reveló diferencias significativas ($\alpha= 0,05$) por efecto del tipo de tratamiento con respecto a la firmeza de cubos de pitahaya en los lotes control, CaCl₂, Ncs.

Tabla 8. Desviaciones estándar de la firmeza en pitahaya.

Días	F Control	F CaCl ₂	F Ncs	F Ncs+CaCl ₂
0	0.38±0.09	0.4±0.21	1.24±0.29	1.76±0.12
1	0.61±0.53	0.55±0.32	0.53±0.32	1.50±0.34
3	0.47±0.42	0.73±0.41	0.55±0.31	1.13±0.23
8	0.56±0.34	0.56±0.24	0.68±0.32	0.76±0.18
10	0.28±0.23	0.41±0.36	0.23±0.21	0.96±0.31
15	0.27±0.24	0.67±0.32	0.27±0.19	1.13±0.34
18	0.23±0.32	0.38±0.31	0.31±0.33	1.43±0.26

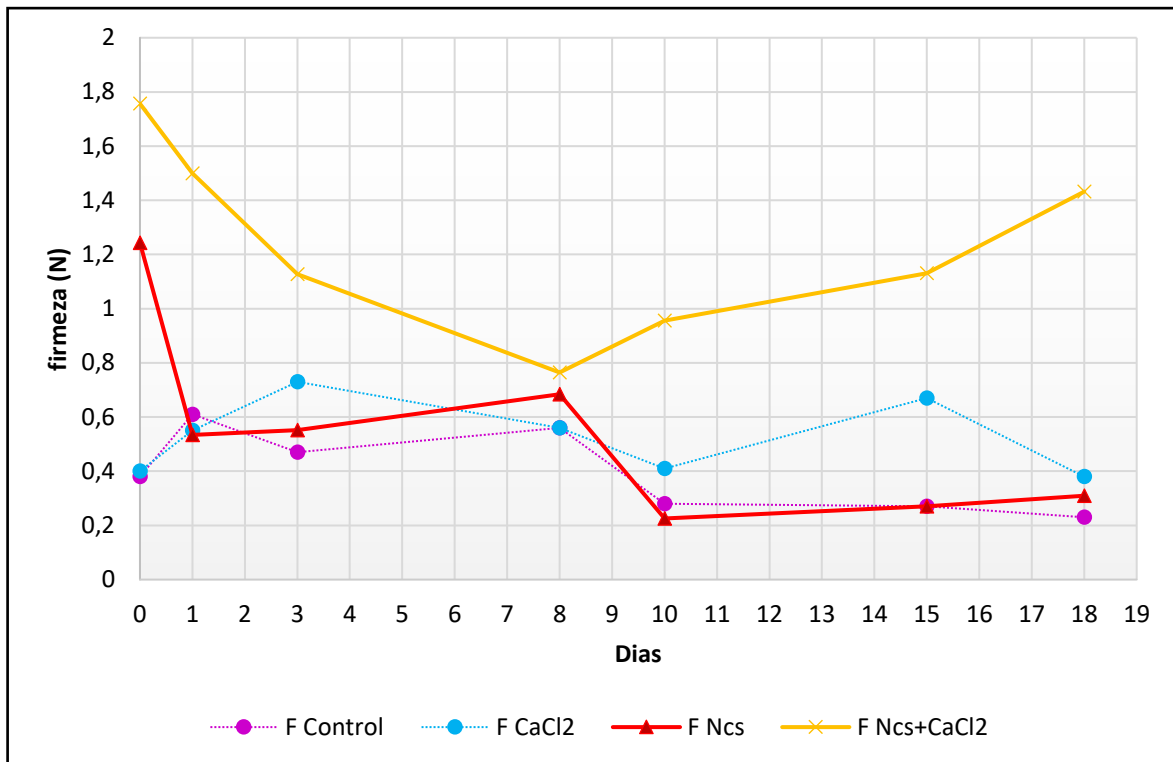


Figura 36. Comportamiento de firmeza(N) en los distintos tratamientos aplicados a los cubos de pitahaya.

b) Dureza

Las propiedades mecánicas de los alimentos juegan un papel primordial en el comportamiento de estos durante el procesamiento, almacenamiento, distribución y consumo. El ablandamiento en las frutas ha sido relacionado con cambios en la composición de la pared celular, principalmente de pectina, celulosa y hemicelulosa. Durante la maduración de las frutas, estos componentes sufren diferentes reacciones enzimáticas de despolimerización que conducen al ablandamiento (Brummell, 2006). Como en los frutos climatéricos, la pérdida de interconexión de pectinas y hemicelulosas por efectos de solubilización y despolimerización enzimática conduce a una interconversión de polisacáridos altamente interconectados a estructuras de baja asociación fibrilar (Prasanna et al., 2003; Brummell, 2006). La adición de nanopartículas de α -tocoferol y aceite de limón en conjunto con la aplicación de CaCl_2 proporcionan una dureza entre los 2.12 N y 1.66 N, mientras que para los demás tratamientos este parámetro es menor a los 1.2 N, aunque todos exhiben una pérdida de la dureza con respecto al tiempo de 0.18 % como se exhibe en la figura 37 y la tabla 9, respecto al análisis estadístico los lotes control, CaCl_2 y Ncs no indican

diferencias significativas ($\alpha= 0,05$) siendo el tratamiento de Ncs+ CaCl₂ el que brinda una mayor dureza a los cubos de pitahaya durante el almacenamiento en refrigeración.

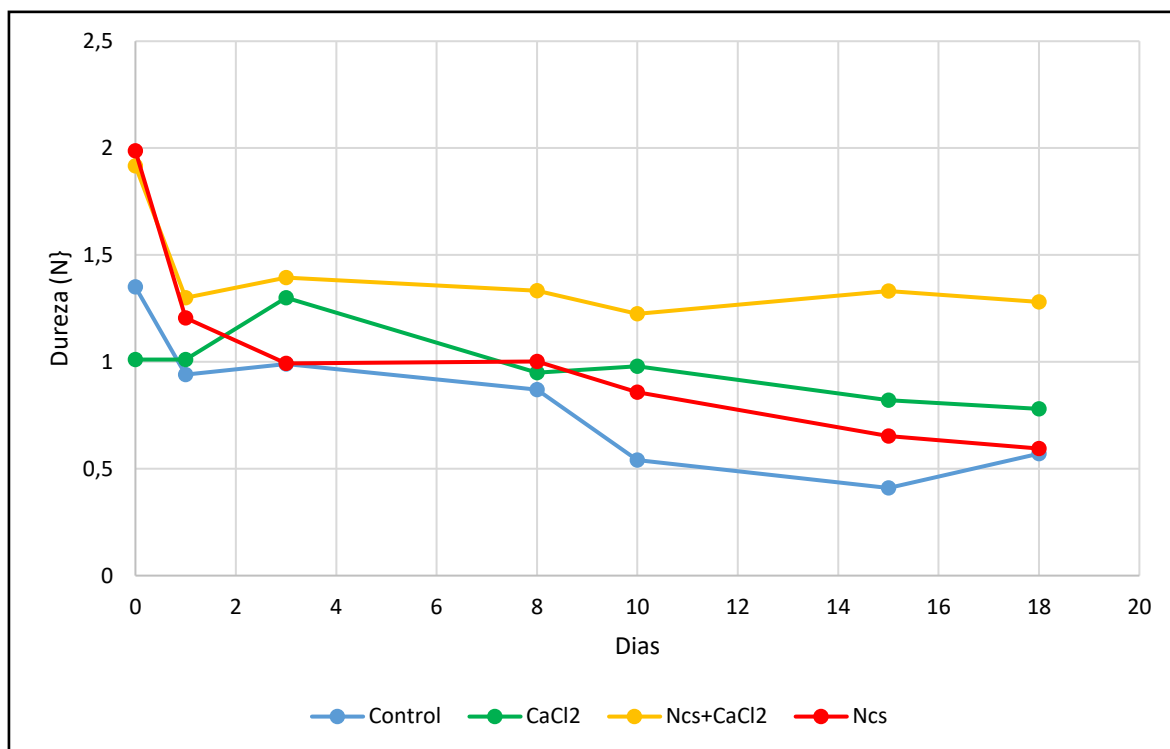


Figura 37. Comportamiento de dureza (N) durante el tiempo en almacenamiento en refrigeración a 4°C ±1°C.

Tabla 9. Desviación estándar de la dureza en pitahaya.

Días	Control	CaCl ₂	Ncs	Ncs+CaCl ₂
0	1.35±0.09	1.01±0.21	1.99±0.29	1.92±0.21
1	0.94±0.13	1.01±0.23	1.21±0.26	1.30±0.33
3	0.99±0.43	1.3±0.31	0.99±0.31	1.39±0.18
8	0.87±0.34	0.95±0.34	1.00±0.33	1.33±0.42
10	0.54±0.32	0.98±0.24	0.86±0.18	1.22±0.32
15	0.41±0.52	0.82±0.28	0.65±0.23	1.33±0.35
18	0.57±0.32	0.78±0.24	0.59±0.32	1.28±0.22

c) Elasticidad

La elasticidad se define como la propiedad de un material por la que recupera su forma y dimensiones originales parcial o totalmente al cesar la acción del esfuerzo aplicado (Castro et al., 2007). Un cuerpo es perfectamente elástico si la deformación ocurre instantáneamente

con la aplicación de un esfuerzo y esta deformación desaparece completa e instantáneamente cuando se retira el esfuerzo aplicado.

la figura 38 muestra el comportamiento de la elasticidad conforme a los 18 días de almacenamiento de igual forma se muestran las desviaciones de los lotes en la tabla 10, como se observar el rango de elasticidad de los cubos de pitahaya va desde 0.25 a 1.5 mm, los tratamientos aplicados expresan una disminución de la elasticidad con respecto al tiempo, mediante el análisis estadístico fue posible apreciar que el lote Ncs+CaCl₂, CaCl₂, control tienen el mismo comportamiento y no presentan diferencias significativas ($\alpha=0.05$), de igual forma los lotes control, Ncs, CaCl₂ tienden al mismo comportamiento.

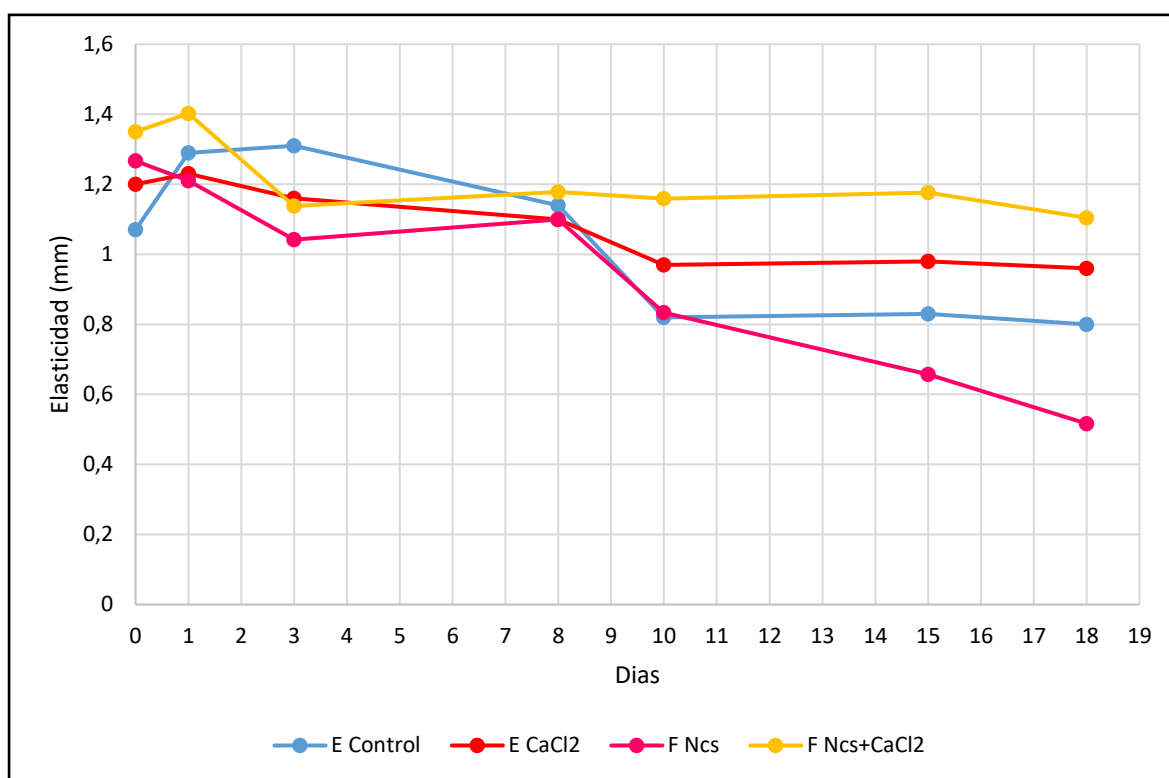


Figura 38. Comportamiento de la elasticidad en cubos de pitahaya durante su almacenamiento en refrigeración a $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Tabla 10. Desviaciones estándar de la elasticidad en pitahaya.

Días	E Control	E CaCl ₂	F Ncs	F Ncs+CaCl ₂
0	1.07±0.21	1.2±0.11	1.27±0.23	1.35±0.18
1	1.29±0.33	1.23±0.21	1.21±0.24	1.40±0.32
3	1.31±0.19	1.16±0.23	1.04±0.42	1.14±0.26
8	1.14±0.23	1.1±0.41	1.10±0.31	1.18±0.12
10	0.82±0.32	0.97±0.21	0.83±0.31	1.16±0.21
15	0.83±0.23	0.98±0.20	0.66±0.16	1.18±0.17
18	0.8±0.17	0.96±0.18	0.52±0.21	1.10±0.23

d) Masticabilidad

En este punto es importante resaltar el papel que cumple el cloruro de calcio utilizado durante el escaldado para evitar la excesiva destrucción de las paredes celulares que puede conllevar a una mayor absorción de aceite comparado con el escaldado en agua (Moyano y Pedreschi, 2006).

La masticabilidad se refiere a la energía requerida para masticar un sólido y desintegrarlo hasta que se pueda tragar, esta propiedad es proporcional a la dureza. La figura 39 muestra el comportamiento de los cubos de pitahaya en refrigeración sin en cambio al igual que los resultados de dureza el único lote que presenta un cambio significativo ($\alpha= 0,05$) es Ncs+CaCl₂ con valores poco encima de los 2 mJ, mientras que los lotes control, Ncs, CaCl₂ presentan el mismo comportamiento, durante los 18 días de almacenamiento disminuye la masticabilidad esto debido a que con el paso de los días se pierde turgencia celular la cual no presenta una mayor resistencia a la fuerza aplicada. De acuerdo a Bourles et al (2009) los valores bajos para este parámetro indican que existe una pérdida de adherencia entre las paredes celulares luego de la compresión, es decir, el alimento se vuelve más suave en el caso de los frutos los valores muy bajos expresan pérdida de turgencia que no es aceptable para su degustación.

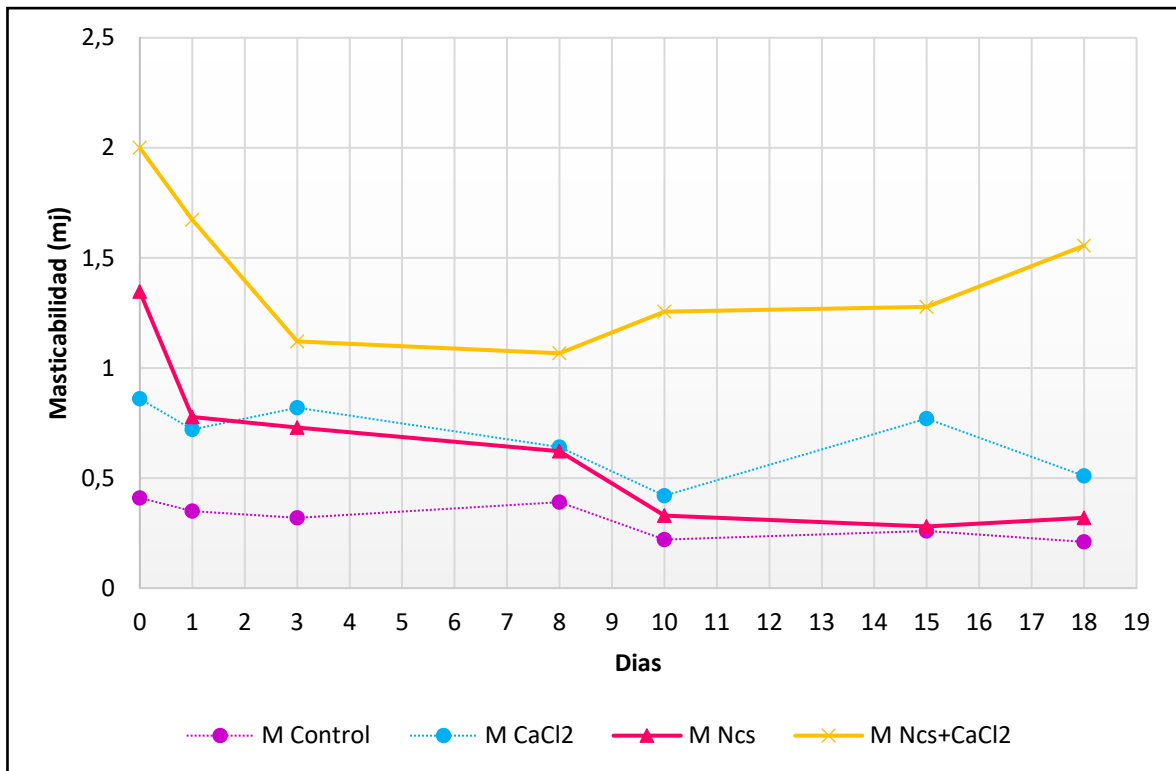


Figura 39. Comportamiento de la masticabilidad con respecto al tiempo de almacenamiento.

Tabla 11. Desviación estándar de la masticabilidad en pitahaya.

Días	M Control	M CaCl2	M Ncs	M Ncs+CaCl2
0	0.41±0.21	0.86±0.19	1.35±0.32	2.00±0.27
1	0.35±0.17	0.72±0.32	0.78±0.27	1.67±0.19
3	0.32±0.32	0.82±0.17	0.73±0.19	1.12±.21
8	0.39±0.19	0.64±0.41	0.62±0.41	1.07±0.33
10	0.22±0.28	0.42±0.38	0.33±0.37	1.26±0.26
15	0.26±0.31	0.77±0.29	0.28±0.28	1.28±0.41
18	0.21±0.27	0.51±0.22	0.32±0.13	1.56±0.26

3.12 Análisis sensorial

Las pruebas sensoriales son una forma de medida de aceptación del producto al público en este caso se utilizaron 10 jueces para determinar las propiedades organolépticas de los cubos de pitahaya frescos cortados en líquido de cobertura en refrigeración, esta evaluación se realizó semanalmente y con ayuda de un gráfico tipo radial se pudo especificar el comportamiento de aceptación del producto, entre más cercanos se encuentren los puntos de forma una circunferencia alrededor de los valores más bajos en este caso 1, 2, 3, como se muestra en la figura 40, la escala utilizada fue hedónica, los valores utilizados fueron del 1

al 7 donde el valor más bajo es me gusta mucho y el más alto es me disgusta mucho, la calificación para cada una de las propiedades organolépticas se sumaron alrededor de las 3 semanas de experimentación. Los altos puntajes simbolizan una calificación de desagrado, mientras las bajas puntuaciones reflejan una mayor aceptación del producto. Durante la primera semana de experimentación los mejores resultados obtenidos en cuestión de textura se encuentran las muestras sometidas al tratamiento con CaCl_2 , mientras que en cuestión de sabor de los cubos todas presentan el mismo nivel de aceptación sin embargo para el sabor del líquido a los jueces el mejor es el de Ncs. La segunda semana todos los parámetros indican que la mayor aceptación es hacia el lote con CaCl_2 , para a tercera semana la que presenta el mejor sabor entre el lote control y el lote de CaCl_2 , es el control mientras que entre el lote de Ncs y Ncs+ CaCl_2 es el de nanopartículas (Ncs), sin embargo, la mejor textura la tiene el lote Ncs+ CaCl_2 , por lo que al término del muestreo se realizó la sumatoria total para encontrar la menor puntuación y así identificar el lote con mayor aceptación por el jurado que en este caso fue el lote CaCl_2 con 393 seguido del lote Ncs+ CaCl_2 con 401 y teniendo los mayores puntajes los lotes Control con 411 y el lote Ncs con 493.

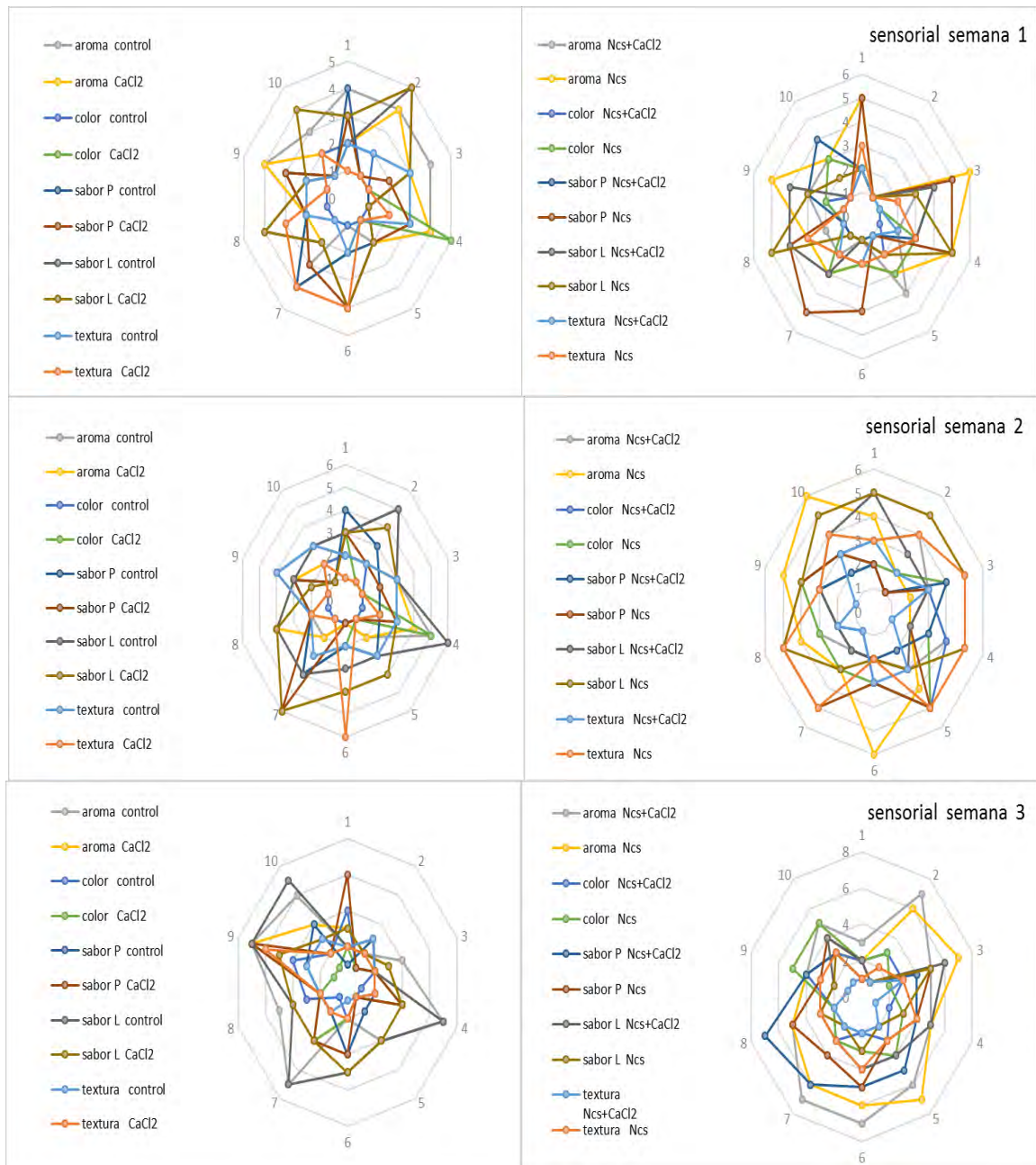


Figura 40. Gráficos de superficie radial de la evaluación sensorial de pitahaya fresca cortada por semana

CONCLUSIONES

Los productores de alimentos en alrededor del mundo juegan un papel vital en la vida del ser humano ya que ofrecen miles de productos para su consumo, sin embargo, estos productos a su vez dependen de las exigencias de los consumidores. Durante los últimos años han surgido tendencias que han modificado la forma de producir alimentos, abriendo paso a productos no tradicionales incursionándolos en el mercado. Las tendencias de alimentación han ido evolucionando junto con la sociedad, esto lleva a los consumidores demandar productos más saludables, además de fácil acceso. Por esa razón, es necesario buscar alternativas para el bien de los consumidores, además de beneficiar a los involucrados en su proceso de obtención en este caso de la pitahaya (*Hylocereus Undatus*) que fue seleccionada por su aportación nutrimental al ser humano.

Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye con lo siguiente:

- Que el empleo de un líquido de cobertura, contribuye a mantener la calidad de pitahaya, sin embargo, fue posible mostrar que la composición del líquido de cobertura influye directamente en los cambios en las propiedades fisicoquímicas, texturales y las sensoriales.
- El efecto que proporciona el tratamiento de CaCl_2 como pretratamiento en los cubos de pitahaya contribuyó principalmente a la conservación de sus propiedades, presentando una mayor estabilidad al aumento o disminución de peso por la inmersión en el líquido de cobertura, debido a la acción de las pectinas presentes en la pitahaya en combinación de CaCl_2 se refuerzan las paredes celulares, en consecuencia de esto se ven beneficiadas los parámetros como la firmeza, dureza tanto las otras propiedades texturales dependientes de estas como lo son la elasticidad y masticabilidad. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas como pH, ácido ascórbico y polifenoles totales no se ven afectadas por la aplicación de CaCl_2 , se presentaron cambios significativos en la concentración de °Brix, proporcionando los valores más bajos y estables durante los días de almacenamiento tanto para el líquido como para los cubos de pitahaya, en cuanto a la coloración la inmersión en CaCl_2 modificó la luminosidad del fruto volviéndolo más opaco por lo consiguiente la muestra con mayor luminosidad es el lote control. Es importante resaltar que la

aplicación del pre-tratamiento con CaCl_2 contribuyo a la conservación de sus propiedades físicas principalmente. Por lo que los resultados experimentales reportados en este estudio, demostraron que la adición de CaCl_2 como pretratamiento es muy eficaz para evitar el deterioro de la estructura de los cubos de pitahaya fresca cortada.

- En particular en este estudio el empleo de un sistema antioxidante compuesto por aceite esencial de limón y α -tocoferol nanoencapsulados contribuyen a mantener y mejorar la calidad del producto en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, ya que en cuanto las propiedades texturales no representan cambios significativos en comparación del lote control. En el caso del pH y turbidez fueron más evidentes los cambios el presentar los niveles más altos en turbidez en el líquido de cobertura demostrando que existe un mayor desprendimiento celular por parte de los cubos de pitahaya, mientras que se exhiben pH. Por debajo de 4 para los cubos de pitahaya y para el líquido por debajo de 3.25 lo que proporciona un medio hostil para el crecimiento bacteriano.

Finalmente se pudo demostrar que el empleo de un líquido de cobertura en combinación de CaCl_2 y la nanotecnología como método de conservación contribuye a la generación de frutos mínimamente procesados prolongando su vida útil, añadiendo agentes que beneficien el producto como al consumidor. Debido que lote de CaCl_2 y $\text{Ncs}+\text{CaCl}_2$ presenta la menor pérdida estructural, la cual se ve reflejada en otras propiedades como la firmeza, dureza, masticabilidad y turbidez, mientras que el lote que presenta un mayor daño estructural es el lote control esto a consecuencia de solo utilizar el líquido de cobertura y la refrigeración como métodos de conservación, en consecuencia que los parámetros de calidad no fueron los mejores para el lote que solo contenía nanocápsulas, es recomendable el empleo de CaCl_2 para una mayor efectividad durante la conservación de pitahaya, en cuanto a los parámetros sensoriales se requeriría mejorar un poco ya que el lote que obtuvo mayor aceptación por el jurado es el lote CaCl_2 .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C., (2014). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Sidney Williams (ed.), 14th Edition. USA.
- Aguilera, J.M. y Durán, L, (1996). Glosario de Términos Reológicos en español y portugués. CYTED-RIPFADI, Valencia, España.
- Albaladejo Meroño, Q. (2000). *El Aceite esencial de limón producido en España. Contribución a su evaluación por Organismos Internacionales*. Universidad de Murcia.
- Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 55, 373-399.
- Arenas, C., & Camero, L. F. (1995). Influencia del dióxido de carbono en la inhibición de los daños por frío de la pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*). *Trabajo de grado. Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá*.
- Arguello Pinto, E., & Jiménez Arista, V. A. (1997). Períodos prolongados de sequía en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth).
- Artés-Calero, F., Aguayo, E., Gómez, P., & Artés-Hernández, F. (2009). Productos vegetales mínimamente procesados o de la cuarta gama. *Revista Horticultura, Extra Poscosecha*, 69, 52-59.
- Association of Food and Drug Officials [Asociación de Funcionarios de Medicamentos y Alimentos], (1990). Retail Guidelines - Refrigerated Foods in Reduced Oxygen Packages [Pautas para el comercio de venta al por menor: alimentos refrigerados colocados en envases con oxígeno reducido]. *Journal of the Association of Food and Drug Officials*. 54(5):80-84.
- Almergor, L. (2009). *Nanotecnología en la Industria Alimentaria*. Revista electrónica. 35 -52.
- Atkinson, J., R. F. Epanand, and R. M. Epanand. (2008). Tocopherols and tocotrienols in membranes: A critical review. *Free Radical Biology and Medicine*. 44(5): 739-764.

- Azeredo G. A., Montenegro-Stamford T. L., Campos-Nunes P., Gomez-Neto N. J., Gomez de Oliveira M. E., Leite de Souza E. (2011). Combined application of essential oils from *Origanum vulgare* L., and *Rosmarinus officinalis* L. to inhibit bacteria and autochthonous microflora associated with minimally processed vegetables. *Food Research International* 44:1541-1548.
- Badui Dergal, S. (2006). Química de los alimentos. *México: Alhambra Mexicana*.
- Balois-Morales, R., Colinas-León, M. T., Peña-Valdivia, C. B., Chávez-Franco, S. H., & Alia-Tejagal, I. (2007). Sistema de estrés oxidativo, fenoles-polifenol oxidasa-peroxidasa, de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenados con frío. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2), 115-120.
- Baquero Duarte, L. E., Castro Rivera, J. A., & Narváez Cuenca, C. E. (2005). Catalasa, peroxidasa y polifenoloxidasa en pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*): maduración y senescencia. *Acta Biológica Colombiana*, 10(2).
- Barreiro Elorza, P., & Ruiz-Altisent, M. (1996). Propiedades Mecánicas y Calidad de Frutos. Definiciones y Medidas instrumentales. *Fruticultura profesional*, (77), 48-51.
- Bergeson, L. L. (2011). FDA's Regulation of Nanotechnology: Will the New Draft Guidance Help Industry. *Nanotech. L. & Bus.*, 8, 166-175.
- Bickford, P.C.; Chadman, K.; Taglialatea, G.; Shukitt-Hale, B.; Prior, R.L.; Cao, C.; Joseph, J.A. (1997). Dietary strawberry supplementation protects against the age-accelerated CNS effects of oxidative stress. *Federation of American Societies for Experimental Biology*. 11: A176.
- Brayner, R. (2008). El impacto toxicológico de las nanopartículas. *Nano Today*, 3 (1), 48-55.
- Brummell, D. A. (2006). Cell wall disassembly in ripening fruit. *Functional Plant Biology*, 33(2), 103-119.

- Bourles, E., Mehinagic, E., Courthaudon, J. L., & Jourjon, F. (2009). Impact of vacuum cooking process on the texture degradation of selected apple cultivars. *Journal of Food Science*, 74(9), E512-E518.
- Buitrago, U., Guzman, R., & Castillo, G. (1996). Guia tecnológica 6: cultivo de pitahaya.
- Cabrera, L. E. P. (2003). *Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad Blanquilla) mínimamente procesada* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Calder, P. C. (2012). The role of marine omega-3 (n-3) fatty acids in inflammatory processes, atherosclerosis and plaque stability. *Molecular Nutrition & Food research*, 56(7), 1073-1080.
- Camargo, A., & MOYA, O. (1995). Estudio preliminar de la influencia del choque térmico en la inhibición de los daños por frío en la pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*). 26 p. *Bogotá: Departamento de Farmacia, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia*.
- Castillo Valle, Elisa. (2010). Recubrimiento de envases de poliestireno expandido con nanopartículas lipídicas sólidas para generar envases activos. Tesis de Licenciatura en ingeniería en Alimentos, Cuautitlán Izcalli; UNAM.
- Castro Montero, E. S., & Hombre Morgado, R. A. D. (2007). Parámetros mecánicos y textura de los alimentos.
- Castro Camacho, J. K., Cerquera Peña, N. E., & Gutiérrez Guzmán, N. (2013). Determinación del color del exocarpio como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en la guayaba pera (*Psidium guajava* Cv. Guayaba pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes. *Revista EIA*, (19), 79-89.
- Centurión, Y. A. (2002). Fisiología de la maduración y conservación de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) (tesis doctoral. *Instituto Tecnológico de Mérida, Mérida, Yucatán, México*).
- Ceron, J. P. Q. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga*, 1(5).

- Chauydhry, Q. Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., Aitken, R. and Watkins, R., (2008). Applications and implications of nanotechnologies for food sector. *Food Additive and Contaminants*. 25 (3): 241-258.
- Chellaram, C., Murugaboopathi, G., John, A. A., Sivakumar, R., Ganesan, S., Krithika, S., & Priya, G. (2014). Significance of nanotechnology in food industry. *APCBEE Procedia*, 8, 109-113.
- Ciccarese, A., Stellacci, A. M., Gentile, G., & Rubino, P. (2013). Effectiveness of pre- and post-veraison calcium applications to control decay and maintain table grape fruit quality during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 75, 135-141.
- CODEX STAN 247-2005. (2005). Norma general del CODEX para zumos (jugos) y néctares de frutas. México.
- CODEX STAN 78-1981. (1981). Norma del CODEX para coctel de frutas en conserva. Mexico.
- Coles, D., & Frewer, L. J. (2013). Nanotechnology applied to European food production—A review of ethical and regulatory issues. *Trends in Food Science & Technology*, 34(1), 32-43.
- Contreras-Angulo, L. A., Heredia, J. B., Sánchez-Álvarez, C. E., Angulo-Escalante, M. Á., & Villarreal-Romero, M. (2011). Efecto del genotipo y sales de calcio en la aacalidad de tomates frescos cortados. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 17(SPE. 1), 39-45.
- Crittenden, RG, y Playne, M. (1996). De producción, propiedades y aplicaciones de los oligosacáridos de calidad alimentaria. *Tendencias en la Ciencia de los Alimentos y la Tecnología*, 7 (11), 353-36.
- DCC UAEM <https://dccuaem.net/2015/02/09/conocimientos-tradicionales-la-pithaya-de-fruta-silvestre-a-cultivo-especializado/>.
- De Carnaüba, Y. C. (2010). Conservación de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch cv. Camarosa) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel mulaginoso de penca sàbila (*Aloe barbadensis* Miller). *Vitae*, 17(3), 252-263.

- Del Rio, D., Rodríguez-Mateos, A., Spencer, J. P., Tognolini, M., Borges, G., & Crozier, A. (2013). Dietary (poly) phenolics in human health: structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases. *Antioxidants & redox signaling*, 18(14), 1818-1892.
- Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., Clementz, A., & Pranzetti, V. (2010). El color en los alimentos: determinación de color en mieles. *Invenio: Revista de Investigación Académica*, (25), 145-152.
- Derossi, A., De Pilli, T., Severini, C., & McCarthy, M. J. (2008). Mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 519-528.
- Dunn, J. (2004) "A Mini Revolution" en *Food Manufacture*. Londres, Reino Unido. 1 de septiembre.
En: www.foodmanufacture.co.uk/news/fullstory.php/aid/472/ Consultado el 2 de febrero de 2009.
- Dica inventa (2005)
http://www.innovacion.gob.sv/inventa/index.php?option=com_content&view=article&id=8332:envasado-de-fruta-minimamente-procesada&catid=133:alimentos-y-bebidas&Itemid=303 Consultado el 11 de mayo de 2015.
- Ettorre, M., & Grbic, A. (2012). Generation of propagating Bessel beams using leaky-wave modes. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 60(8), 3605-3613.
- Faber, DS, & Korn, H. (1991). Aplicabilidad del método de coeficiente de variación para analizar la plasticidad sináptica. *Biophysical Journal*, 60 (5), 1288.
- FAO & OMS. (2008). Directrices del codex sobre los líquidos de cobertura para las frutas en conserva. Washington, E. U. Consultado el 18 de septiembre del 2014.
ftp://ftp.fao.org/Codex/knovel/updated%202013/CXG_05s.pdf.
- Falguera, V., Pagán, J. & Ibarz, A. (2011). Effect of UV irradiation on enzymatic activities and physicochemical properties of apple juices from different varieties. *Food Science and Technology*, 44, 115-119.

- Farrell P. Vitamin E En: Shils ME, Olson JA & Shike M, Eds. (1993). *Modern Nutrition in Health and Disease*, 8th ed. Philadelphia: Lea & Febiger. 21.
- Franck Berger, N., & Muñoz Aravena, V. (2014). *Frutales para zonas áridas y semiáridas*.
- Gallo, F. (1993). Índice de madurez para piña cayena lisa, guanábana, pitaya amarilla y maracuyá. *Agro-Desarrollo*, 4(1-2), 194-200.
- Gonzales C., A. (2010). “Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba colombiana (*PsidiumGuajava* L.)”. Tesis presentada al Departamento de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Colombia para optar al grado de Magíster, pp. 84.
- Guerra, F. (1996) *Tecnología post-cosecha de frutos cítricos. Curso integral de citricultura*. Instituto de Investigación de Fruticultura Tropical. P: 242-257.
- Herrera, E. (2000). *Bioquímica–Aspectos Estructurales y Vías Metabólicas*. Edit.
- Hui, Y. H. (Ed.). (2005). *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering-4 Volume Set*. CRC press.
- Hutchings, B. (1994). *Food Color and Appearance*, Blackie Academic & Professional. *London, UK*.
- IFPA (2002) International Fresh-cut Produce Association. www.fresh-cuts.org consultado el 4 de noviembre del 2003
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., & Debevere, J. (1999). Validation of a systematic approach to design equilibrium modified atmosphere packages for fresh-cut produce. *LWT-Food Science and Technology*, 32(7), 425-432.
- Kader, A. A. (2002). Quality parameters of fresh-cut fruit and vegetable products. *Fresh-cut fruits and vegetables*, 11-20.
- Kader, A.A., y Mitcham, E. (1998). Standarization of quality. En *fresh-cut products: Maintaining Quality and Safety* UC David Postharvest Hort. Series No.10.

- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology (Campinas)*, 25(4), 726-732.
- Lara, I., Garcia, P., & Vendrell, M. (2004). Modifications in cell wall composition after cold storage of calcium-treated strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 34(3), 331-339.
- Lacoulonche, F., Gamisans, F., Chauvet, A., Garcia, M. L., Espina, M., & Egea, M. A. (1999). Stability and in vitro drug release of flurbiprofen-loaded poly-ε-caprolactone nanospheres. *Drug development and industrial pharmacy*, 25(9), 983-993.
- Le Bellec, F., Vaillant, F., & Imbert, E. (2006). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. *Fruits*, 61(4), 237-250.
- Lenart, A., Greda, K. & Ciurzynska, A (2014). Effect of pre-treatment conditions on content and activity of wáter. *Food Science and Technology*, 59, 10775-1081.
- Leroueil, PR, Hong, S., Mecke, A., Baker Jr, JR, Orr, BG, y Banaszak Holl, MM (2007). Interacción de nanopartículas con membranas biológicas: no nanotecnología presentar una cara Janus ?. *Accounts of Chemical Research* , 40 (5), 335-342.
- Lucera, A., Costa, C., Mastromatteo, M., Conde, A. y Del Nobile, M. (2011). Fresh-cut broccoli florets shelf-life as affected by packaging film mass transport properties. *Journal of Food Engineering*. 102 (2): 122-129.
- Luna-Guzmán, I., & Barrett, D. M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, 19(1), 61-72.
- Mamalis, A.G. (2007). *Recent advances in nanotechnology*. *Journal of Materials Processing Technology*. 181. 52-59.
- Márquez, C., Carlos, J., Cartagena, V., Pérez, G., & Maria, B. (2009). Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad en poscosecha del níspero japonés (*Eriobotrya japonica* T). *Vitae (Medellín)*, 16(3), 304-310.

- Márquez, M., Yépez, C., Naranjo, R. S., & Rincón, M. (2002). Aspectos básicos y determinación de las vitaminas antioxidantes E y A. *Investigación clínica*, 43(3).
- Martínez, R. C. (2006) Aprovechamiento de la pitahaya: bondades y problemáticas.
- Martín-Diana, D. Rico, JM Frías, JM Barat, GTM Henehan, C. Barry-Ryan, (2007). Calcio para extender la vida útil.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M. J., & Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 50(1), 5-18.
- Masson, V., Maurin, F., Devissaguet, J. P., & Fessi, H. (1996). Stability of poly (ϵ caprolacton) nanospheres in sterile aqueous media. *International Journal of Pharmaceutics*, 139(1-2), 113-123.
- Matiacevich, S., Riquelme, N., & Arancibia, C. (2016). Perspectivas de las tecnologías aplicadas en productos IV-Gama. *Contribuciones Científicas y Tecnológicas*, 41(141).
- McHugh, TH, y Krochta, JM (1994). Fase dispersada efectos de partículas de tamaño en la permeabilidad al vapor de proteína de suero CERA DE ABEJAS PELÍCULAS emulsión comestible. *Diario de Procesamiento de Alimentos y Preservación*, 18 (3), 173-188.
- Meraz, A., Gómez, C., & Schwentesius, R. (2003). Pitahaya de México, Producción y Comercialización en el Contexto Internacional. *Pitayas y Pitahayas. CA Flores V (ed). Universidad Autónoma Chapingo. pp, 99-116.*
- Montero-Calderón, M. A. R. T. A., Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R. O. B. E. R. T., & Martín-Belloso, O. L. G. A. (2009). Tendencias en el procesado mínimo de frutas y hortalizas frescas. *Internal Quality Profile and Influence of Packaging Conditions on Fresh-Cut Pineapple*, (69), 3.
- Mustacich, D. J., R. S. Bruno, and M. G. Traber. (2007). Vitamin E. *Vitamin E: Vitamins and Hormones Advances in Research and Applications*. 76: 1-21.

- Nagarajan, R. (2008). *Nanoparticles: Building blocks for Nanotechnology*, en *Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Passivation and Functionalization*, editado por Nagarajan, R. y Hatton, A. U.S.A. American Chemical Society.
- Narváez, C. C. E., & Restrepo, P. (2002). Efecto del almacenamiento de la uva caimaroná (*Pourouma cecropiifolia*) a diferentes temperaturas sobre la actividad de polifenoloxidasas y peroxidasas. *Rev. Col. Quim*, 31, 131-44.
- Nerd, A., Gutman, F., y Mizrahi, Y. (1999). La maduración y el comportamiento postcosecha de frutos de dos especies *Hylocereus* (Cactaceae). *Biología postcosecha y Tecnología*, 17 (1), 39-45.
- Oberdörster, G., Oberdörster, E., and Oberdörster, J., (2005). Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*. 113(7): 823-839.
- Ochoa-Velasco, C. E., García-Vidal, V., Luna-Guevara, J. J., Luna-Guevara, M. L., Hernández-Carranza, P., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2012). Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp). *Scientia Agropecuaria*, 3(4), 279-289.
- Osuna Enciso, T., Ibarra Zazueta, M., Muy Rangel, M., Valdez Torres, J. B., Villarreal Romero, M., & Hernández Verdugo, S. (2011). Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(1), 63-72.
- Pan, Y. G., & Zu, H. (2012). Effect of UV-C radiation on the quality of fresh-cut pineapples. *Procedia Engineering*, 37, 113-119.
- Paul, W., Herbert, F, y Sinkula G. (2003). Investing in nanotechnology. *Nature Biotechnology*, 21: 10-16.
- Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., & Moyano, P. (2006). Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International*, 39(10), 1092-1098.

- Pereira, L. M., Rodrigues, A. C. C., Sarantópoulos, C. I. G. L., Junqueira, V. C. A., Cunha, R. L., & Hubinger, M. D. (2004). Influence of modified atmosphere packaging and osmotic dehydration on the quality maintenance of minimally processed guavas. *Journal of Food Science*, 69(4), FEP172-FEP177.
- Pérez, A. R., & Quintero, E. M. (2015). Funciones del calcio en la calidad poscosecha de frutas y hortalizas: una revisión. *Alimentos Hoy*, 23(34), 13-25.
- Prasanna, V., Yashoda, H. M., Prabha, T. N., & Tharanathan, R. N. (2003). Pectic polysaccharides during ripening of mango (*Mangifera indica* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(11), 1182-1186.
- Quintanar, G. D., Allèman, E., Doelke, E. & Fessi, H. (1998). Preparation and characterization of nanocapsules from performed polymers by a new process based on emulsification-diffusion technique. *Pharmaceutical Research*, 15(7), 1056-1062.
- Rapin, P. J., & Jacquard, P. (1997). *Instalaciones Frigoríficas* (Vol. 2). Marcombo.
- Rangel-Marrón, M., & López-Malo, A. (2012). Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 94-109.
- Robinson, R. K. (1995). The potential of inulin as a functional ingredient. *British Food Journal*, 97(4), 30-32.
- Roberfroid, M. B. (1999). Caloric value of inulin and oligofructose. *The Journal of Nutrition*, 129(7), 1436S-1437s.
- Roberfroid, M. B. (2000). Concepts and strategy of functional Foodscience: the European perspective. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(6), 1660s-1664s.
- Roberfroid, M. (2004). *Inulin-type fructans: functional food ingredients*. CRC Press.
- Roco, M. (2004). Nanocale science and engineering: unifying and transforming tools. *Journal American Institute of Chemical Engineers*, 50(5):1023-1031.
- Romero Quiroz, D. N., & Cantos Loor, A. A. (2013). Control de oxidación con ácido ascórbico y temperatura de almacenamiento en la determinación de la vida útil de salprieda (Bachelor's thesis, Calceta: Espam).

- Rossi, M., Cubadda, F., Dini, L., Terranova, M. L., Aureli, F., Sorbo, A., & Passeri, D. (2014). Scientific basis of nanotechnology, implications for the food sector and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 40(2), 127-148.
- Ruelas-Chacón, X., de la Luz Reyes-Vega, M., Valdivia-Urdiales, B., & Carlos, J. (2013). Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. *Revista Científica*, 5(9).
- Sagarpa, secretaria agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (2009). Anuario estadístico de la producción agrícola. <http://www.siap.gob.mx>.
- Sandhya, (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT-Food Science and Technology*. 43 (3): 38.
- Sanguansri, P., & Augustin, M. A. (2006). Nanoscale materials development—a food industry perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 17(10), 547-556.
- Sauceda, E. N. R. (2011). Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Ra Ximhai*, 7(1), 153-170.
- Sawyer, C. N & P. L. McCarthy. (1994). Chemistry for Environmental Engineering, (3^a ed.), McGraw-hill, pp. 332.
- Sève, R. (2009). *Science de la couleur: Aspects physiques et perceptifs*. Chalagam éd.
- SIAP. (2016). Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?Option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350
- Schwartz, S.J.; von Elbe, J.H.; Pariza, M.W., Goldsworthy, T. and Pitot, H.C. 1983. Inability of red beet betalain pigments to initiate or promote hepatocarcinogenesis. *Food and Chemical Toxicology*. 21(5):531-535.
- Schweiggert, Ralf M.; Villalobos-Gutiérrez, María G.; Esquivel, Patricia and Carle, Reinhold. (2009). Development and optimization of low temperature enzyme-assisted liquefaction to produce colouring foodstuff from purple pitahaya (*Hylocereus* sp. [Weber] Britton & Rose). *European Food Research and Technology*. 230(2):269-280.

- Serrano, M. D., López, M. L., & Espuñes, T. D. R. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(004), 58-68.
- Serrano M., Valverde J. M., Guillén F., Castillo S., Martínez-Romero D., Valero D. (2006). Use of Aloe vera gel coating preserves the functional properties of table grapes. *J. Agric. Food Chem.* 54: 3882-3886.
- Silveira A. C., A. E. (2013). Shelf-life and quality attributes in fresh-cut Galia melon combined with fruit juices. *Food Science and Technology*. 32(1) 45-52.
- Soliva-Fortuny, R. C., & Martín-Belloso, O. (2003). New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 14(9), 341-353.
- Stintzing, Florian C.; Schieber, Andreas and Carle, Reinhold. (2002). Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. *Food Chemistry*. 77(1):101-106, (4):517.
- Takeuchi, M. T., Kojima, M., & Luetzow, M. (2014). State of the art on the initiatives and activities relevant to risk assessment and risk management of nanotechnologies in the food and agriculture sectors. *Food Research International*, 64, 976-981.
- Takhistoy, P., Weiss. y McClements, J. (2006). Food nanotechnology. *Journal of Food Science*. 71:9-14.
- Thompson A. K. (2003). *Fruit and Vegetables. Harvesting, Handling and Storage*. Blackwell, Publishing. Oxford, UK. 460 p.
- Tortora, Gerard & Grabowski, Sandra. (1998). *PRINCIPIOS DE ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA*. Harcourt Brace. Séptima Edición. Pp 849.
- Traber, M. G. (2007). Vitamin E regulatory mechanisms. *Annu. Rev. Nutr.* 27: 347-362.
- Vaillant F, Perez A, Davila I, Dornier M and Reynes M (2005), 'Colorant and antioxidant properties of red pitahaya (*Hylocereus* sp.)', *Fruits*, 60, 3 – 12.

- Vargas, L. V. Y., YAH, A. C., TAMAYO, E., & DUCH, E. S. (2007). Variación de la respiración y producción de etileno de rebanadas de pitahaya (*Hylocereus undatus*). In *V Congresso Ibero-Americano de Tecnologia Póscolheita e Agro-Exportações*.
- Vásconez, M. B., Flores, S. K., Campos, C. A., Alvarado, J., & Gerschenson, L. N. (2009). Antimicrobial activity and physical properties of chitosan–tapioca starch based edible films and coatings. *Food Research International*, 42(7), 762-769.
- Waterman, P. G., & Mole, S. (1994). *Analysis of phenolic plant metabolites*. Blackwell Scientific.
- Weiss J, Nerd A and Mizrahi Y (1994) ‘Flowering behavior and pollination requirements in climbing cacti with fruit crop potential’, *Hortscience*, 29, 1487 – 1492.
- Welti-Chanes, J. (1995). Investigación en ciencia y tecnología de alimentos: estado actual y desarrollo futuro en la conservación y procesamiento de alimentos. Cuadernos de Nutrición. 21(4):21-28.
- Willey, R. C. (1997). Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. (J. Fernández-Salguero Carretero, Trad.) Zaragoza, España: Acribia.
- Yah, A. R. C., Pereira, S. S., Veloz, C. S., Sañudo, R. B., & Duch, E. S. (2008). Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(1), 1-5.
- Zambrano Zaragoza, M. D. L. L. (2013). *Desarrollo y caracterización de sistemas nanoparticulados con ingredientes alimenticios como vectores para incrementar la vida útil de alimentos* (Doctoral dissertation).
- Zwietering M. H. (2002). Quantification of microbial quality and safety in minimally processed foods. *International Dairy Journal* 12:263-271.