



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**“Incorporación de nanocápsulas de aceite esencial de lima en un
líquido de cobertura para la conservación de piña refrigerada”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA

Liliana Ivette Sánchez Valdes

ASESORES:

Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza

I.A Alfredo Álvarez Cárdenas

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



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

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe 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

Incorporación de nanocápsulas de aceite esencial de lima en un líquido de cobertura para la conservación de piña refrigerada.

Que presenta la pasante: Liliana Ivette Sánchez Valdes

Con número de cuenta: 411008699 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 27 de Mayo de 2015.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugalde	
VOCAL	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	
1er. SUPLENTE	I.A. Ricardo Moisés González Reza	
2do. SUPLENTE	M. en C. Martín Ramón Porras Godínez	

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

El presente proyecto fue financiado por:

- El proyecto PAPIME: PE20664 “Implementación y métodos de enseñanza para la aplicación de nanotecnología en la conservación de alimentos a bajas temperaturas sometidas a procesos térmicos y de transferencia de masa”, de la DGAPA-UNAM. Agradeciendo la beca y apoyo financiero.
- El proyecto PAPIME: PE103915 “Diseño y construcción de equipos didácticos para mejorar la enseñanza de los procesos y sistemas frigoríficos”. Agradeciendo el apoyo financiero.

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada quiero agradecer a dios por permitirme llegar a este momento tan importante para mí, por las bendiciones y oportunidades que ha puesto en mi camino día con día, así como aquellas experiencias tanto buenas como malas que me han ayudado a formarme como la persona que soy. Por darme la fuerza para seguir día con día, además de la maravillosa familia que me dio.

A mis padres por su apoyo y cariño incondicional, por ser el pilar fundamental de todo lo que soy, sin ellos no hubiera podido culminar esta etapa de mi vida. Estoy muy orgullosa de ustedes, gracias por todo lo que han hecho por mi, los quiero mucho. ¡Esto solo es el inicio!

A mi mamá Rocio Valdes por su apoyo y cariño, por siempre estar ahí cuando te he necesitado, por tus enseñanzas, consejos y regaños, a pesar de que muchas veces no coincidimos en ideas, gracias por respetarme y alentarme a ser una mejor mujer cada día, te quiero mucho mami.

A mi papá Roberto Sánchez por tu apoyo, consejos, cariño, enseñanzas y regaños, por tantas risas y seguir alentándome a seguir mejorando cada día para llegar a ser una mejor persona llena de éxitos, te quiero mucho papi.

A mis hermanas Fernanda y Gabriela porque son las dos personitas que todos los días me alientan y me contagian de energía para seguir adelante, por todo su cariño y apoyo, a pesar de que somos muy diferentes saben que no hay nada que no haría por ustedes, las quiero mucho.

A mis directores de tesis, a la Dra. Luz Zambrano y al I. A. Alfredo Álvarez por su apoyo incondicional, agradezco la oportunidad de conocerlos, por compartir toda su experiencia y conocimientos, por todo lo que me han enseñado y he aprendido de ustedes no solo en aspectos académicos si no también personales, por la confianza, cariño y toda la paciencia que me tienen, son excelentes profesores, es un orgullo poder trabajar con ustedes, gracias por creer en mí y su gran motivación para culminar este gran proyecto.

A mis sinodales, la Dra. Elena Vargas, M. en C. Julieta González, I. A. Ricardo González y al M. en C. Martín Porras por su apoyo, conocimientos y su colaboración en la revisión de este trabajo.

A mis profesores Dra. Elza Gutiérrez, Ing. Mauricio Vicuña, I. A. Arturo Munguía, Dr. David Quintanar, I. A. Francisco López y la Dra. Virginia Delgado por compartir sus conocimientos, así como todo su apoyo durante mi carrera.

A mis abuelitos por su apoyo, motivación, sus ganas de salir adelante y su alegría que día con día me motivaron a seguir.

A mis tías Gaby, Mona, Bety, Mine y Chela, que durante todo el transcurso de esta etapa me han apoyado y alentado a seguir adelante y seguir preparándome. Gracias por todo su apoyo y cariño.

A mis primos que adoro y quiero, hemos compartido muchas experiencias, por todas esas risas y locuras que hemos hecho y todas las que nos faltan; ellos cada día me motivan a seguir adelante y superar aquellas experiencias malas.

A mis amigos que han sido clave importante durante esta etapa muy especial, Brenda, María José, Lizbeth, Thalía, Adriana, Oscar, Adolfo, Sergio, Javier y Jasael, por ofrecerme su amistad y apoyo incondicional, con cada uno de ustedes he compartido muchísimas cosas tanto buenas como malas, los conocí en diferentes momentos y circunstancias, pero agradezco mucho que me aguantaran, por su cariño y que a pesar de todo y que cada quien siga su camino saben que siempre contarán conmigo y sé que cuento con ustedes, gracias por creer en mí, por su apoyo, motivación para culminar este gran reto, los quiero mucho.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO, así como a mi querida FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN que me abrió las puertas para seguir preparándome y formarme como Ingeniera en Alimentos, un orgullo ser sangre azul y piel dorada.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Características de la piña	11
1.1.1 Piña variedad MD2	13
1.1.2 Composición química	15
1.1.3 Clasificación de la piña	17
1.2 Frutos frescos cortados	20
1.2.1 Parámetros de calidad	21
1.2.1.1 Color	21
1.2.1.2 Textura	23
1.2.1.3 Sólidos Solubles	26
1.2.1.4 Potencial de hidrógeno (pH) y acidez	27
1.2.1.5 Microorganismos presentes en la piña	28
1.2.2 Conservación de frutos frescos cortados	28
1.2.2.1 Aplicación de baja temperatura	29
1.2.2.2 Envasado en atmósferas modificadas	31
1.2.2.3 Conservación métodos químicos	32
1.2.2.4 Recubrimientos comestibles	33
1.3 Líquidos de cobertura	35
1.3.1 Mucílago de nopal como agente de líquido de cobertura	36
1.3.2 Inulina de agave como agente de líquido de cobertura	37
1.4 Nanotecnología	39
1.4.1 Nanocápsulas	40
1.4.2 Métodos de preparación de nanocápsulas	42
1.4.3 Aceites esenciales para nanocapsulación	43

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	
2.1 Problema y objetivos	46
2.1.1 Problema	46
2.1.2 Objetivo General	47
2.1.3 Objetivos particulares	48
2.2 Selección, justificación de variables y diseño experimental	49
2.3 Actividades preliminares	51
2.3.1 Caracterización de la cámara de refrigeración	51
2.3.2 Selección de la materia prima	52
2.3.3 Preparación de las muestras	52
2.3.4 Elaboración de nanocápsulas	53
2.3.5 Elaboración de dispersiones (líquido de cobertura)	54
2.3.6 Proceso de envasado de las muestras	54
2.4 Actividades experimentales	55
2.4.1 Evaluación de color	55
2.4.2 Análisis de imagen	56
2.4.3 Evaluación de peso drenado/volumen	56
2.4.4 Evaluación de sólidos solubles	57
2.4.5 Evaluación de pH	57
2.4.6 Evaluación de acidez	58
2.4.7 Evaluación de firmeza y análisis de perfil de textura	58
2.4.8 Evaluación de turbidez	59
CAPÍTULO III. RESULTADOS	
3.1 Actividades preliminares - caracterización de la cámara de refrigeración	60
3.2 Evaluación de color	60
3.2.1 Luminosidad (L*)	61
3.2.2 Ángulo de tonalidad (° Hue)	63
3.2.3 Cromaticidad (croma)	65
3.3 Análisis de imagen	67
3.4 Evaluación de peso drenado/volumen	70

3.5 Evaluación de sólidos solubles	71
3.6 Evaluación de pH	74
3.7 Evaluación de acidez	76
3.8 Evaluación de firmeza y textura	78
3.8.1 Firmeza	78
3.8.2 Análisis de perfil de textura	81
3.9 Evaluación de turbidez	88
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS	93

Índice de Figuras

Figura 1.	Morfología general y anatomía de la piña (Lemoine & Solis, 1980)	14
Figura 2.	Piña variedad MD2	15
Figura 3.	Clasificación de piña por el color de su pulpa	18
Figura 4.	Estructura química de la inulina	38
Figura 5.	Zonas de lectura para la caracterización de la cámara de refrigeración	52
Figura 6.	Preparación de las muestras a) Lavado y pelado de la piña, b) Corte en prismas rectangulares, c) Inmersión en CaCl_2	53
Figura 7.	Caja oscura propuesta por el método de Briones y Aguilera	55
Figura 8.	Microscopio óptico digital	56
Figura 9.	Refractómetro	57
Figura 10.	Potenciómetro	57
Figura 11.	Texturómetro	59
Figura 12.	Espectofotómetro	59
Figura 13.	Gráfico de caja para luminosidad de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8°C	61
Figura 14.	Gráfico de caja para $^\circ\text{Hue}$ de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8°C	63
Figura 15.	Gráfico de caja para cromaticidad de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8°C	66
Figura 16.	Gráfico de caja para pérdida de peso de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8°C	70
Figura 17.	Gráfico de caja para $^\circ\text{Brix}$ de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8°C	72

Figura 18.	Gráfico de pH para todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C	75
Figura 19.	Gráfico de caja para porcentaje de acidez para todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C	77
Figura 20.	Gráfico de caja para firmeza de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C	79
Figura 21	Gráfico comparativo del análisis de perfil de textura de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C. a) Tratamientos con nanocápsulas de aceite esencial de lima. b) Tratamientos sin nanocápsulas de aceite esencial de lima.	81
Figura 22.	Gráfico de caja para dureza de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C	83
Figura 23.	Gráfico de caja para fracturabilidad de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C	85
Figura 24.	Gráfico de caja para cohesividad de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C	87
Figura 25.	Gráfico para porcentaje de transmitancia de todos los líquidos de cobertura de los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C	89

Índice de Cuadros

Cuadro 1.	Composición química de la piña	16
Cuadro 2.	Clasificación de la piña por su color interno (pulpa)	18
Cuadro 3.	Clasificación de la piña por su color externo	19
Cuadro 4.	Selección de variables	50
Cuadro 5.	Formulación de líquidos de cobertura para la conservación de piña fresca cortada	54
Cuadro 6.	Comparativo de la estructura de la piña para todos los tratamientos	68

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto que tiene la utilización de un líquido de cobertura con base en mucílago de nopal, inulina y la mezcla de estos, así como la incorporación de nanocápsulas de aceite de lima, en las propiedades físicas, fisicoquímicas y texturales de piña fresca cortada variedad MD2 (*Ananas comosus* var. *Comosus*) almacenada en refrigeración durante 4 semanas, mediante el análisis del peso drenado, color, imagen, pH, acidez, sólidos solubles, turbidez y textura. Los factores considerados en el diseño experimental factorial general fueron el medio de conservación o líquido de cobertura (0.2 % de mucílago de nopal, 2 % de inulina y la mezcla de estos 0.2 % de mucílago de nopal y 1.8 % de inulina) y la incorporación de aceite esencial de lima (con nanocápsulas y sin nanocápsulas). Las piñas se lavaron, desinfectaron, pelaron y cortaron en prismas rectangulares, que luego se sumergieron en CaCl_2 durante 5 minutos y posteriormente se envasaron en vasos de poliestireno cristal en porciones de 80 g de piña con 70 ml del líquido de cobertura y se almacenaron durante 4 semanas a una temperatura de 8 °C. Con los resultados obtenidos se concluyó que tanto el mucílago de nopal como la inulina de agave contribuyen a la conservación de piña fresca, manteniendo las propiedades físicas y químicas de la piña fresca cortada alargando su vida útil, ofreciendo nuevas alternativas para su consumo, además al incorporarles nanocápsulas de aceite esencial de lima, ayuda a mejorar las propiedades de calidad de la piña. El líquido de cobertura con nanocápsulas de aceite de lima en conjunto con la mezcla de mucílago de nopal-inulina contribuyó a mantener las características físicas, fisicoquímicas y texturales de las piñas.

INTRODUCCIÓN

El ritmo de vida de las sociedades modernas ha cambiado los patrones de consumo de alimentos y debido al aumento en la incidencia de enfermedades cardiovasculares y diabetes, ha habido un crecimiento considerable en el desarrollo de alimentos listos para su consumo, entre los que prevalecen los productos frescos cortados, ya que, para contrarrestar el desarrollo de enfermedades crónico degenerativas se recomienda el consumo de frutas y verduras, por lo que los frutos y vegetales frescos cortados presentan cada vez mayor demanda. En Estados Unidos de América y Europa son el sector de mayor crecimiento en la industria de alimentos y la oferta crece también en Latinoamérica; sin embargo, son productos altamente perecederos debido al daño físico del corte y se requiere de tecnologías para alargar la vida de anaquel, siendo necesario la generación de información precisa acerca de los cambios en la calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial (Salinas *et al.*, 2007).

La piña es una de las frutas cítricas más populares en el mundo, existiendo diferentes variedades. Tiene forma cilíndrica, con cáscara que va de un intenso color amarillo-anaranjado a verde dependiendo su estado de madurez, un tamaño medio a grande (1.3 - 2.5 kg) y destaca por su excelente calidad y características sensoriales (Azarakhsh *et al.*, 2014). La piña fresca cortada es apreciada por su sabor, aroma y jugosidad; no obstante, su vida de anaquel está limitada por cambios en color, textura, apariencia, sabor y el crecimiento microbiano que se ven afectados por las condiciones de envasado y temperatura de almacenamiento, siendo a su vez dependientes del estado de madurez y condiciones de cultivo (Montero *et al.*, 2008).

Se han desarrollado tratamientos físicos y químicos para prevenir las reacciones enzimáticas y los cambios texturales en los productos vegetales durante su etapa de almacenamiento, con la finalidad de mantener la calidad postcosecha de estos alimentos (Meza & Velázquez, 2007). Los productos frescos cortados que incluyen a la piña como producto se comercializan en supermercados y cadenas de distribución de alimentos, pero han sido publicados muy pocos estudios con respecto a las condiciones óptimas para mantener la calidad de estos productos (Marrero & Kader, 2006).

Para la conservación de frutas se puede utilizar un líquido de cobertura, también llamado líquido de gobierno, el cual es un fluido que se añade en la elaboración de conservas y semiconservas. Hay muchos tipos de líquido de gobierno, según el caso, se utiliza el que más convenga al producto a conservar; puede ser agua, jugo o pulpa de fruta con o sin la adición de productos alimentarios que confieran un sabor, como es azúcar o edulcorantes, jarabe, sal, vinagre, limón o aceites (FAO & OMS, 2008).

En las últimas décadas ha aumentado el interés por el uso de hidrocoloides de origen natural, principalmente por la inquietud de mejorar las alternativas de conservación existentes en el mercado, buscando que cuenten con propiedades funcionales novedosas, ejemplo el mucílago de nopal y la inulina. El mucílago de nopal es un hidrato de carbono, que forma parte de la fibra dietética, es un componente con excelentes perspectivas como un aditivo no solo en la industria alimentaria, sino también en otras como es la industria química y cosmética (Sáenz *et al.*, 2004). Se ha incrementado el interés en la utilización de mucílago de nopal debido a su conformación polimérica y las propiedades reológicas de este compuesto, que sugieren un potencial como fuente primaria en la formación de películas, geles y recubrimientos (Majdoub, 2001). La inulina es un carbohidrato no digerible que está presente en muchos vegetales, frutos y cereales y se utiliza

como ingrediente en alimentos funcionales y sus grandes beneficios a la salud como prebiótico, aporte de fibra dietética y bajo valor calórico (Madrigal & Sangronis, 2007).

La nanotecnología ahora está invadiendo la industria alimentaria y tiene aplicaciones potenciales. La nanotecnología en la industria alimentaria incluye: encapsulación de activos y sabores, formación de nanopartículas poliméricas, nanopartículas lipídicas, liposomas y sistemas de liberación de las sustancias en los lugares elegidos y nanopartículas con potencial antibacteriano que incrementen la vida útil. El nano-procesamiento de alimentos y productos pueden cambiar el color, sabor, o características sensoriales; también cambian la funcionalidad nutricional, elimina los productos químicos o agentes patógenos de los alimentos, así como también los nano-materiales de envasado de alimentos pueden prolongar la vida de los alimentos (Chellaram *et al.*, 2014).

Utilizar aceites esenciales en las nanocápsulas tiene grandes beneficios, ya que estos han sido estudiados por exhibir propiedades antioxidantes que pueden extender la vida útil, mediante la reducción de la oxidación de lípidos en los alimentos (Oussalah *et al.*, 2004), así como saborizante y potenciadores de sabor.

Tomando en cuenta lo anterior y con el interés de proponer nuevas alternativas para la conservación de una fruta tropical con extraordinarias características como lo es la piña, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto que tiene la utilización de un líquido de cobertura con base en mucílago de nopal, inulina y la mezcla de estos, así como la incorporación de nanocápsulas de aceite esencial de lima, en las propiedades físicas, fisicoquímicas y texturales de piña fresca cortada variedad MD2 (*Ananas comosus* var. *Comosus*), además de observar el efecto en la calidad final del producto y vida útil.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Características de la piña

La piña es un cultivo que puede plantarse todo el año, en especial sobre suelos húmedos, pero siempre la mejor época es en otoño. La forma más común de reproducirla es utilizando los retoños del tallo central, considerando que los mejores proceden de la parte basal del mismo, aunque también son utilizables las yemas del tallo distal o la corona de brácteas de la fruta. Es raro que se dé la reproducción a partir de semillas. Los brotes basales se desarrollan, fructifican y naturalmente dan a su vez origen a nuevos tallos.

La piña se produce en una planta herbácea perenne que suele medir 1.20 m de alto y 1.5 m de ancho generalmente; se compone de un tronco que forma el eje de la planta del que salen diversas hojas espinosas y en cuyo corazón central se desarrollara el fruto agregado terminando su desarrollo después de 18 a 24 meses. Las plantaciones comerciales suelen forzar la floración y con ello obtienen la piña en un período inferior a doce meses.

Según la norma mexicana (NMX-FF-028-SCFI-2008) la piña es un fruto muy aromático de forma ovalada a cilíndrica de tamaño medio, con piel rugosa y gruesa con muchos “ojos” de tonos verdes y amarillos, con un penacho de pequeñas hojas que coronan su parte superior y que mediante un pedúnculo corto emerge del centro de la planta de piña. El fruto comercial corresponde al conjunto que forman la parte carnosa y comestible de la fruta y su corona. Botánicamente

es un fruto múltiple (sorosis) constituido por un eje carnoso o corazón (del cual parten entre 100 a 200 flores individuales que se fusionan entre si durante el desarrollo del fruto para formar la pulpa y cáscara) y la corona, localizada en la parte superior.

Su consumo aporta propiedades digestivas debido a una enzima proteolítica que contiene conocida por bromelina, siendo además un fruto altamente energético, muy rico en potasio y que almacena una gran mayoría de las vitaminas. Aunque la forma ideal de consumirla es al natural como fruto fresco, se presta perfectamente para su elaboración en conserva (Díaz, 2004).

Actualmente, son muchos los países productores de piña, sobresaliendo Filipinas, Tailandia, China, Estados Unidos de América, Sudáfrica y Malasia, entre otros. La FAO (2012) señala que se pronostica que la producción de piña alcance 18,7 millones de toneladas en 2015, representando el 23 % de la cosecha mundial de frutas tropicales. Estadísticas de SIAP (2014) muestran que en el 2013 la producción de piña en México alcanzo 771,941.85 Ton, lo cual representó un valor de producción \$2,500,000, siendo una de las frutas cítricas más comercializadas en el país. En los últimos años la producción nacional de esta fruta, tuvo una evidente tendencia a incrementar su producción; entre los principales estados productores a nivel nacional se encuentran: Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Nayarit y Chiapas.

1.1.1 Piña variedad MD2

La piña MD2 (*Ananas comosus* var. *Comosus*) pertenece a la familia de las Bromeliáceas, género Anna y especie Sativa siendo no climatéricas que producen pequeñas cantidades de etileno. También conocida como la Amarilla o Dorada, es un fruto híbrido derivado de la Cayena Lisa originaria de Hawaii. La planta es de rápido crecimiento que resulta en un ciclo de producción más corto; la fruta es muy dulce y jugosa de color verde amarillento, la pulpa es firme con una coloración amarillo intenso, muy aromática y tiene alto contenido de azúcares; sus flores son amarillas y el peso de la fruta alcanza hasta 7 libras, las hojas solo tienen espinas en las puntas y son de color verde esmeralda. Es susceptible a la marchitez roja, pudrición del cogollo/raíz, pudrición negra, bacteriosis, y nematodos, también es susceptible a los cambios climáticos induciendo a la flor prematura, además de sufrir daños por frío (Cerrato, 2013).

La **Figura 1** muestra la estructura general del fruto; en realidad un sincarpo o conjunto de pequeños frutos es de forma alargada o cilíndrica, se adorna de una corteza leñosa y perfumada que, a modo de nódulos pentagonales o hexagonales, está adherida a la carne (cada ojo o nódulo es un pequeño fruto). Sobre la infrutescencia se encuentra situada una corona compuesta por numerosas y amplias hojas. El interior del fruto desde la corona hasta el pedúnculo está constituido por un corazón leñoso que debe quitarse para consumir su pulpa. Dicha pulpa de color blanco o amarillento es acusadamente dulce o ligeramente acidulenta según sea el tipo, pero en cualquier caso extraordinariamente perfumada, jugosa y refrescante (Díaz, 2004).

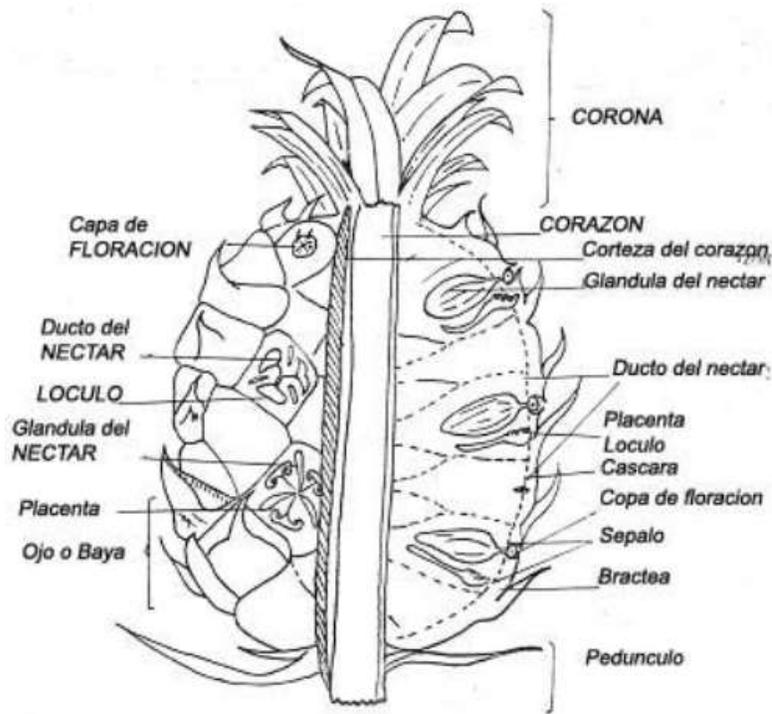


Figura 1. Morfología general y anatomía de la piña (Lemoine & Solis, 1980).

La forma y características particulares del fruto en su conjunto dependen de la variedad que se trate. Predominan los frutos ovalados y semicilíndricos, de cáscara color verde oscuro a verde claro cuando tierno y amarillo o amarillo-naranja cuando maduros, con pulpa jugosa de color amarillo pálido a amarillo intenso, sabor que va del dulce al ácido y con aromas suaves a intensos, muy característicos de esta fruta (**Figura 2**). Los frutos de piña alcanzan la madurez necesaria para cosecharse cuando el color en la base de la corteza empieza a volverse de color amarillo-anaranjado.



Figura 2. Piña variedad MD2

1.1.2 Composición química

Las frutas y vegetales contienen niveles significativos de componentes biológicamente activos que son benéficos para la salud, siendo una fuente importante de antioxidantes (Rojas & Gerschenson, 2001); así como de otros beneficios. En cuanto a la piña tiene una composición química muy variada, la cual destaca por su abundancia en sales minerales y vitaminas. El 85 % de la composición de la piña es agua, debido a esto y a otros componentes que posee, la piña es un excelente estimulador de la eliminación de líquidos del organismo.

La piña posee en su jugo cantidad abundante de bromelina, enzima que ayuda a digerir las proteínas, facilitando su digestión. Las personas con estómago débil pueden aprovechar de la piña gracias a que digiere las proteínas y puede sustituir a los jugos gástricos; también es: antiinflamatorio, alivia el dolor de la artritis, la garganta irritada y la hinchazón, ayuda a la formación de la piel, huesos y cartílagos (García *et al.*, 2013). Contiene suficiente vitamina C que elimina los radicales libres y refuerza el sistema inmune. Cualquier empleo de calor inhibe el

poder digestivo, ya que es una enzima muy sensible. Por esto es mejor comer la piña fresca. En el **Cuadro 1** se presenta la composición química de la piña, donde se observa que los componentes que sobresalen principalmente son: agua, carbohidratos y fibra.

Cuadro 1. Composición química de la piña expresado en 100 g de porción comestible (Gil, 2010).

Energía (kcal)	46
Agua (g)	85
Hidratos de carbono (g)	11.5
Fibra dietética (g)	1.2
Grasas (g)	0.1
Proteínas (g)	0.5
Vitaminas	
B ₁ (mg)	0.07
C (mg)	20
A (mg)	3
E (mg)	0.1
Minerales	
Potasio (mg)	250
Sodio (mg)	3
Calcio (mg)	12
Magnesio (mg)	14

1.1.3 Clasificación de la piña

La piña puede clasificarse de diferentes maneras, según la NMX-FF-028-SCFI-2008; en la que se establecen las especificaciones de calidad de la planta de piña *Ananas comosus* var. *Comosus*, para ser comercializada en estado fresco en el territorio nacional, después de su acondicionamiento y/o envasado, la principal clasificación que se toma de la piña es por su color, independientemente del grado de calidad al que correspondan; las piñas en cualquiera de sus presentaciones de acuerdo al color se clasifican:

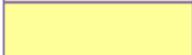
- Por el color de su cáscara (externo)
- Por el color y translucidez de su pulpa (interno)
- La combinación de ambas

En la **Figura 3** se esquematiza el color de la pulpa de la piña, el cual se refiere principalmente a la translucidez que tenga, este cambio de apariencia de la pulpa avanza de una condición opaca a una más amarilla, transparente y jugosa, asociada al avance de la maduración interna del fruto. La coloración interna de la pulpa se mide en rangos de 0 a 5; el rango 0 indica pulpa blanca y poco madura, el rango 5 indica pulpa amarilla y fruta madura. El **Cuadro 2** también muestra la clasificación de la piña en función a su color interno, marcando su respectivo estado de madurez, los cuales pueden ser 6 diferentes, dependiendo de la utilización de la piña.



Figura 3. Clasificación de piña por el color de su pulpa

Cuadro 2. Clasificación de la piña por su color interno (pulpa)
(NOM-FF-028-SCFI-2008)

Porcentaje de coloración y rango de translucidez en pulpa	Color	Código	Nombre Comercial
100 % Blanco cremoso y sin translucidez		0	Sazona
1 % - 12 % Amarillo pálido		1	“de ojo”
13 % - 37 % Amarillo claro		2	¼ de color
38 % - 62 % Amarillo		3	½ de madurez
63 % - 87 % Amarillo subido		4	¾ de madurez
88 % - 100 % Amarillo intenso		5	Madura

En el **Cuadro 3** se observa la clasificación de la piña por su color externo marcando los diferentes códigos de identificación que se consideran en México según la NMX-FF-028-SCFI-2008.

Cuadro 3. Clasificación de la piña por su color externo (NOM-FF-028-SCFI-2008)

Rango de color amarillo en cáscara	Código	Nombre comercial
Inicio de color	0	Sazona
1 % - 12 %	1	“de ojo”
13 % - 37 %	2	¼ de color
38 % - 62 %	3	½ de madurez
63 % - 87 %	4	¾ de madurez
88 % - 100 %	5	Madura
100 % inician anaranjados	6	Sobre-madura

Códigos de color



0	1	2	3	4	5
----------	----------	----------	----------	----------	----------



1.2 Frutos frescos cortados

Los frutos y vegetales frescos cortados deben poseer las características de calidad de los productos recién cosechados. Por definición se trata de productos alterados físicamente para obtener productos listos para el consumo pero permaneciendo en su estado “in natura”, es decir sin tratamientos severos que alteren sus características intrínsecas (Garrett, 1998). Entre estos productos se incluyen las frutas y hortalizas peladas, troceadas, lavadas, rebanadas y almacenadas en refrigeración, que conservan su valor nutritivo y calidad sensorial.

Los frutos frescos cortados también se conocen como frutos mínimamente procesadas o productos de la IV Gama. Montiel (2009) los define como aquellas preparadas mediante una o varias operaciones unitarias, tales como pelado, cortado en rodajas y/o fragmentación, con un tratamiento de conservación no definitivo que puede incluir el uso de calentamiento mínimo, conservadores, aditivos o antioxidantes, que son envasadas, distribuidas y comercializadas en condiciones de refrigeración y listas para ser consumidas sin ningún tipo de operación adicional durante un periodo de vida útil de unos 7-10 días, según el producto y técnica de conservación utilizada.

La vida útil de los frutos frescos cortados está limitada por su carácter perecedero, ya que, aún en refrigeración estos productos se caracterizan por un metabolismo muy activo determinante en su pérdida de calidad. Las operaciones de pelado y troceado, así como, la manipulación del producto procesado previo al envasado y almacenamiento influyen significativamente en los distintos mecanismos de alteración al provocar cambios físicos y fisiológicos.

Los principales síntomas de deterioro incluyen cambios en la textura (debido a pérdida de agua), en el color (debido al oscurecimiento enzimático en la superficie de corte), pérdida de nutrimentos y rápido desarrollo microbiano (Salinas, *et al.*, 2007). Los cambios fisiológicos van acompañados de un aumento en la tasa de respiración y producción de etileno, una pérdida de sabor, color y vitaminas, acelerándose también los procesos de ablandamiento y oscurecimiento del tejido, con la consecuente pérdida de calidad y reducción de la vida de anaquel (Gorny 2001).

1.2.1 Parámetros de calidad de la piña

Las piñas deben presentar un estado de madurez fisiológico con el desarrollo de características de sabor propias del producto en cuanto color, sabor y textura correspondiente a la variedad y que es denominado “sazón”, que se considera cuando el pericarpio del fruto ha adquirido un tono verde oscuro y las bayas u ojos se tornan planas y bien formadas. Las piñas son frutas no climatéricas por lo que se les debe cosechar cuando están listas para consumirse (Kader, 2014). La piña tiene diferentes índices de calidad como son uniformidad de tamaño, forma, firmeza, libre de pudriciones, ausencia de quemaduras de sol, agrietamientos, magulladuras, deterioro interno, manchado pardo interno, gomosis y daños por insectos, hojas de la corona: color verde, longitud media y erguidas.

1.2.1.1 Color

El color es uno de los principales parámetros que se tienen en cuenta durante la evaluación del producto por parte del consumidor, quien juzga la frescura y calidad del producto y en función a este toma su decisión de compra (Lenart *et al.*, 2014).

Es uno de los criterios de elección que actúa como indicador cuantificador de la vida útil del producto (Brennan *et al.*, 2000). Este atributo puede ser perdido o alterado durante el procesamiento, dependiendo del contenido de agua y del desarrollo de reacciones de oscurecimiento enzimático, debido a procesos fisiológicos que tiene lugar durante la maduración y que se ve influenciado por las prácticas de cosecha y tratamientos posteriores.

El color en los alimentos puede expresarse de diferentes formas y este tiene influencia en la percepción del consumidor. Existen diferentes métodos para la medición del color que se basan en reflectometría de luz visible, colorimetría triestímulo y análisis de imagen. Estos equipos permiten la obtención de las coordenadas triestímulo XYZ definidas por la CIE (Comisión Internationale de l'Eclairage), o bien el espacio cromático aceptado desde 1976 (CIE-L*a*b*), este incluye coordenadas cilíndricas y rectangulares en un espacio de color uniforme (Pérez, 2003). Este método expresa los parámetros de color L*, a* y b* en una muestra de alimento, designan: L*, la luminosidad (claro u oscuro); a*, el color rojo (valores positivos) o verde (valores negativos) y b*, el color amarillo (valores positivos) o azul (valores negativos) (Ortiz, 2003). Con los parámetros anteriores de igual manera se pueden obtener el ángulo de tonalidad (°Hue) y la cromaticidad (croma) que ayudan a tener una mejor percepción de la calidad del color en un producto.

La mayoría de los instrumentos de medición de color comercial no son muy adecuados para la investigación en Ingeniería en alimentos, porque están diseñados principalmente para el control de calidad, además de que requieren mucho tiempo para la medición de punto por punto para obtener una distribución del color; por otra parte, algunos instrumentos requieren que la muestra de alimento sea homogénea, con lo que no solo se lleva más tiempo preparar la muestra, sino que también hace que la muestra ya no pueda ser utilizada para

otros fines (Yam & Papadakis, 2004). Por lo anterior, en los últimos años se ha utilizado un sistema de determinación de color, por medio del análisis en un software de imágenes tomadas por una cámara digital.

Un método de determinación de color por análisis de imagen lo propusieron Briones & Aguilera (2005), en el cual ellos utilizan una caja oscura que no permite el paso de luz, dentro de la caja debe existir una base donde colocar la muestra y un soporte para colocar una cámara digital; también al interior de la caja colocaron un sistema de iluminación de 4 focos asimétricos en un ángulo de 45°, posteriormente se toma la fotografía de la muestra sin iluminación alguna por parte de la cámara, ni acercamiento y una vez obtenidas las imágenes, éstas deben ser analizadas por un software (Photoshop), el cual cuenta con diferentes funciones de edición de imagen y una capacidad de análisis del color. Una vez que las imágenes son tratadas con el software se obtienen los parámetros L^* , a^* y b^* , con lo cual se realiza el respectivo análisis de color.

1.2.1.2 Textura

La textura es un atributo clave de calidad utilizado en la industria de alimentos frescos y procesados para evaluar la calidad del producto y la aceptabilidad. Entre las características de textura, dureza (firmeza) es uno de los parámetros más importantes de frutas y verduras, que se utiliza a menudo para determinar la frescura de los alimentos (Konopacka & Plochanski, 2004). Los atributos texturales de calidad de los alimentos pueden ser evaluados mediante análisis sensoriales o instrumentales descriptivos. La combinación de tiempo y el alto costo asociado con la percepción sensorial ha motivado el desarrollo y el uso generalizado de los ensayos mecánicos empíricos que se correlacionan con las percepciones sensoriales de textura de los alimentos (Lan & Umezuruike, 2013).

La firmeza en frutas y hortalizas está asociada al contenido de agua, así como, a la actividad de distintas enzimas, principalmente de la pectinmetilesterasa (PME) y la poligalacturonasa (PG) y su transformación a pectinas solubles en agua, los cuales inducen cambios en los componentes de la pared celular que ocurren durante el deterioro, generando descenso de la cristalinidad de la celulosa, disminución del contenido de ácido galacturónico, reducción en el volumen celular y adelgazamiento de la pared celular; estos aspectos son afectados en el fruto cortado manifestándose como ablandamiento del tejido vegetal (Rangel & López, 2012).

Diferentes métodos de determinación de textura pueden dar resultados diferentes, algunos expresan valores únicos, tales como la firmeza, importante para la calidad de frutas y hortalizas, la cual está relacionada con la resistencia al estrés mecánico durante el transporte y principalmente con la madurez de la fruta, es medida por ensayos de punción empleado un texturometro o penetrómetro. Otros métodos proporcionan más información en profundidad sobre la historia de deformación, estos datos se obtiene en la medición de la textura por medio de diferentes pruebas como es la de punción, compresión y análisis de perfil de textura, esta última son medidas imitativas logradas con instrumentos que imitan la acción de la boca al masticar, basadas en el ensayo fuerza vs. tiempo en que se logran curvas, donde se pueden obtener parámetros como son: adhesividad, fracturabilidad, dureza, cohesividad, masticabilidad, elasticidad (Bourne, 1994).

El parámetro de fracturabilidad es la fuerza necesaria para romper o fracturar un producto en pedazos pequeños durante el primer mordisco. También se puede definir como el esfuerzo máximo que un alimento podrá soportar antes de que se rompa. La cohesión representa la fuerza con la que están unidas las partículas, marca el límite hasta el cual se puede deformar antes de romperse un alimento; igualmente conocido como el grado de deformación o extensión de las muestras

mientras es comprimida entre los molares antes de que se fracture (Perpetua, 2008); y la dureza es la fuerza necesaria para conseguir en el alimento una deformación determinada, se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar (Anzaldúa, 1994).

En productos de frutos y vegetales recién cortados sus tejidos son heridos, por lo que se deterioran más rápido, ya que, su fisiología es diferente a cuando la fruta o vegetal esta entero e intacto. Los diversos procesos de pelado, extracción, picado, cortado o trituración a través de las células, hacen que éstas liberen su contenido en los sitios de las heridas. La compartimentalización de la célula se interrumpe en las superficies de corte y la mezcla de sustratos y enzimas que normalmente están separadas pueden iniciar reacciones que normalmente no se producen (Toivonen & Brummell, 2008). Tanto para las frutas y hortalizas heridas, el resultado de la lesión mecánica da un aumento de las tasas de respiración y producción de etileno, con efectos que se observan a menudo en cuestión de minutos u horas.

La gravedad de la herida causada por el corte tiene un efecto importante sobre la vida útil del producto; los procesos de deterioro de la planta aumentan tan pronto como se daña un tejido e implican cambios en membranas, paredes celulares, organelos celulares, proteínas y textura. El corte y la generación de heridas en un fruto no solo activa la ACC sintasa (sintasa 1-aminociclopropano-1-carboxilato de metilo) y la producción de etileno, sino que también genera una serie de señales hormonales y otras (hidráulicas y eléctricas) que median las respuestas de defensa y de estrés (Toivonen & Brummell, 2008).

Se ha encontrado en los frutos frescos cortados que la actividad de las enzimas PME (pectinmetilesterasa) y PG (poligalacturonasa) son un factor importante que contribuye al desmontaje de la pared celular, acelerando y aumentando el ablandamiento de la superficie de los frutos; esto puede ser particularmente grave, porque se altera la integridad del tejido (Almeida & Huber, 2007). Además existe la pérdida de agua, lo que conduce a una disminución de turgencia y frescura y cambios osmóticos, donde la falta de integridad de la membrana permite la fuga de solutos osmóticos celulares (Karakurt & Huber, 2007).

Almeida y Huber (2007) citan que el calcio, por lo general, ya sea como una solución de cloruro de calcio o lactato de calcio, se utiliza comúnmente para el mantenimiento de la firmeza en cortes frescos. El calcio puede actuar de dos maneras: en primer lugar, los iones de calcio forman enlaces cruzados entre los grupos carbonilo libres de las cadenas de moléculas de pectina para producir redes de polímero reticulado en la lamela media, fortaleciendo la pared celular, esto mejora la adhesión célula a célula y por lo tanto la fuerza mecánica, lo cual retrasa la degradación o maduración de la fruta. En segundo lugar, el calcio actúa para retardar los cambios de deterioro. Las inmersiones en calcio actúan para retirar enzimas y solutos de las células dañadas en las superficies del corte.

1.2.1.3 Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles de los frutos frescos cortados pueden incrementar o disminuir en el tejido vegetal desde el momento del corte, almacenamiento y hasta su consumo, ya que involucran reacciones enzimáticas como son el deterioro, ablandamiento y oscurecimiento del tejido, entre otras, las cuales son favorecidas por el daño físico generando cambios en sabor y por lo tanto en la aceptabilidad por parte de los consumidores (Beaulieu y Baldwin, 2001).

El contenido de sólidos solubles es un buen estimador del contenido de azúcar en los jugos de frutas, éste representa más del 90 % de la materia soluble en la mayoría de ellos, además de ser un buen índice del grado de madurez de los frutos. Se determina por medio de un hidrómetro o un refractómetro, en donde los sólidos solubles se expresan en °Brix, equivalente al porcentaje de peso de la sacarosa contenido en una solución acuosa, es decir, miden el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido. La piña tiene un intervalo de sólidos solubles de 11-18 %; dependiendo de la variedad y del estado de madurez en que se encuentre (Kader, 2014).

1.2.1.4 Potencial de hidrógeno (pH) y acidez

El grado de acidez se reporta como ácido anhídrido, y aunque se determina en función del ácido en mayor proporción, no es concluyente debido a que puede contener otros aditivos que impartan acidez al producto. El pH es un parámetro que indica si una sustancia es ácida, neutra o básica; se calcula por la concentración de iones de hidrógeno, un factor que controla la regulación de muchas reacciones químicas, bioquímicas y microbiológicas. La escala de pH es de 0 a 14 y afecta a muchas propiedades funcionales como son el color, sabor y textura de los alimentos.

Ambas pruebas se basan en la determinación de iones hidrógenos, estos parámetros se encuentran íntimamente ligados, teniendo una incidencia directa en la conservación de los alimentos. A medida que la fruta madura, el pH se incrementa y contribuye tener una menor acidez. Mientras que, cuando se incrementa la concentración, la acidez aumenta debido al aumento de los iones presentes en la solución de hidrógeno; los iones de hidrógeno determinan el grado

de acidez. Como la concentración de iones de hidrógeno reducen el valor de pH se espera que este aumente (Nadya *et al.*, 2012).

1.2.1.5 Microorganismos presentes en la piña

La piña está considerada un fruto muy apreciado debido a sus características tanto organolépticas como nutricionales y para que las piñas reúnan estas propiedades óptimas de calidad debe estar libres de plagas y daños producidos por éstas, de hongos, levaduras, rajaduras, hendiduras, daños por frío, libre de olores y sabores ajenos. Dentro de los patógenos causantes de alteraciones en el fruto de la piña son los hongos, uno de ellos es el hongo *Fusarium moniliforme* var. *Ustilago*, causante de la gomosis, que induce su podredumbre y el hongo *Thielaviopsis paradoxa* que produce un oscurecimiento en la piña debido a la salida de agua de la piel que se encuentra sobre las porciones dañadas de la pulpa (Kader, 2014).

También sufre problemas de fermentación causada por levaduras *Saccharomyces spp*, generalmente se le asocia con fruta sobremadura. Las levaduras entran a la fruta a través de heridas, la pulpa se vuelve blanda, de color amarillo brillante y pierde continuidad debido a la presencia de cavidades con gas (bióxido de carbono y otros compuestos volátiles) producto de la fermentación (Kader, 2014).

1.2.2 Conservación de frutos frescos cortados

En la actualidad ha surgido la necesidad de buscar alternativas de conservación de los alimentos, la demanda de productos frescos mínimamente procesados está

aumentando, por esto en la actualidad varios métodos de conservación y tratamientos han sido estudiados con el fin de mantener la calidad y extender la vida útil de las frutas frescas cortadas, además debido a que son productos altamente perecederos, muchas veces sus atributos de calidad se pierden a causa este gran problema.

Para abatir estos problemas los principales métodos de conservación que se aplican a la piña y a otros frutos, se encuentran el empleo de atmósferas modificadas, uso de aditivos y recubrimientos, utilización de radiaciones ionizantes y no ionizantes, bajas y altas temperaturas (Montiel, 2009).

1.2.2.1 Aplicación de baja temperatura

Es bien sabido que la temperatura suele ser el factor ambiental más importante que afecta a la vida post-cosecha de frutas y verduras, especialmente a bajas temperaturas, es un medio eficaz para mantener los productos hortícolas en alta calidad post-almacenamiento (Hong *et al.*, 2013). Dentro de estos métodos se puede encontrar la aplicación de calor o frío, dependiendo del proceso que se utilice, entre los cuales están la pasteurización, escaldado, esterilización, refrigeración y congelación, por mencionar los más conocidos.

Los frutos y vegetales frescos cortadas son nutritivos y convenientes, pero también altamente perecederos, porque aún almacenadas a bajas temperaturas se caracterizan por un metabolismo muy activo, determinante en su pérdida de calidad (Hernández, 2009). En general, a una temperatura entre 2 y 4 °C alcanzan una vida útil de aproximadamente de 7 a 10 días.

Dentro de la aplicación de calor en los alimentos, ya sea en pasteurización, escaldado o esterilización, ayudan a reducir e inhibir a los microorganismos e inactivar la actividad enzimática, pero tiene limitaciones debido a que ocasiona daños en la textura, color y calidad nutritiva de los productos, originando cambios de sabor, originando productos desagradables e inaceptables comercialmente.

La conservación por frío consiste en someter los alimentos a temperaturas bajas, en el caso de refrigeración temperaturas menores a los 12 °C y para la congelación temperaturas por debajo de 0 °C. Sus objetivos son preservar el alimento mediante el intercambio de calor inhibiendo el desarrollo microbiano, disminuir la tasa respiratoria, la actividad enzimática y la pudrición de las superficies cortadas. Si la conservación refrigerada se realiza en las condiciones óptimas, permite reducir las pérdidas cualitativas y cuantitativas debidas a desórdenes fisiológicos y podredumbres, retrasar la maduración y deterioro y prolongar la vida comercial de los productos hortofrutícolas en general, con calidad idónea para consumo en fresco o industrial (Cáceres *et al.*, 2014).

La gran mayoría de las frutas no son susceptibles a daños por frío, pero en el caso de la piña, melón, sandía, melocotón, nectarina y mango, entre otras, son altamente sensibles a sufrir daños por frío. Estos daños se manifiestan mediante un aceleramiento de las lesiones fisiológicas y un aumento en la incidencia de patologías, donde las alteraciones se registran principalmente en las zonas exteriores del fruto como la piel, o en la superficie del corte, así como, pérdida de humedad. Estos efectos producidos por el frío pueden no manifestarse hasta que el producto se saca de la cámara refrigerada y se expone a la temperatura ambiente del medio; por lo anterior es conveniente mantener los frutos a una temperatura apenas superior a su temperatura mínima tolerable (FAO, 2014).

Para el caso de la piña la exposición a temperaturas inferiores a 7 °C puede producir daño por frío. Las piñas maduras son menos susceptibles que las inmaduras, los síntomas incluyen color verde opaco (el desverdizado de la cáscara no ocurre apropiadamente), áreas translúcidas o de apariencia acuosa en la pulpa, oscurecimiento del tejido del corazón, mayor susceptibilidad a las pudriciones, marchitamiento y pérdida de color de las hojas de la corona (Kader, 2014). Existen varios trabajos reportados sobre la conservación de piña a bajas temperaturas, la mayoría son mediante la combinación de otro medio de conservación principal y después su almacenamiento a bajas temperaturas.

1.2.2.2 Envasado en atmósferas modificadas

Este método consiste en cambiar la composición gaseosa dentro del envase, la cual puede ser modificada de manera pasiva (a través de la respiración de los tejidos vegetales) o activa (generando la composición gaseosa antes de cerrar el empaque). El alimento perecedero es almacenado en un ambiente de composición diferente a la del aire (78.08 % N₂, 20.96 % O₂, 0.03 % CO₂ y trazas de gases inertes) (Rangel & López, 2012). Se utilizan películas plásticas de diferente permeabilidad a los gases para crear de forma pasiva una atmósfera modificada favorable por efecto de la permeabilidad del envase, así como otros factores.

Las atmósferas modificadas han sido utilizadas como tratamientos alternativos para aumentar la vida útil de los productos recién cortados. Reduciendo los niveles de oxígeno y aumentando los niveles de dióxido de carbono en el envase, lo cual ayuda a disminuir las reacciones de la respiración, así como, cambios en color, textura y otros atributos de calidad, también se ha demostrado que causa cambios en el sabor y contenido volátil en cítricos como son manzanas y mangos y sus derivados recién cortadas (Beaulieu & Baldwin, 2001).

Kader (2014) menciona los efectos de las atmósferas modificadas aproximadamente de 3-5 % O₂ y 5-8 % CO₂ en piñas, los cuales son retraso de la senescencia y reducción en la tasa de respiración, vida post-cosecha potencial de 2 a 4 semanas en aire y 4 a 6 semanas en atmósferas controladas, esto dependiendo del cultivo y grado de madurez. También debe evitarse la exposición a concentraciones de O₂ inferiores al 2 % y/o de CO₂ superiores al 10 % debido a que pueden desarrollarse sabores desagradables en la piña.

1.2.2.3 Conservación métodos químicos

Existen sustancias químicas que destruyen o inhiben el crecimiento de microorganismos, las cuales pueden ser añadidas a los alimentos para conservarlos; estas sustancias son llamadas comúnmente aditivos químicos. Los aditivos químicos pueden ser compuestos tanto naturales como sintéticos, dentro de los cuales en la actualidad los más utilizados son: azúcar, sal, vinagre y conservadores químicos como son el ácido acético, citrato de sodio, benzoato de sodio, propionato de calcio, nitratos y nitritos, entre otros. SAGARPA (2014) menciona 4 métodos que considera químicos: salmuera, adición de azúcar, la acidificación y la fermentación.

a) Adición de sal ó salmuera: en este método se utiliza sal directamente en el alimento o en forma de salmuera, inhibe el desarrollo de los microorganismos y cuando se agrega en altas concentraciones tiene efecto bactericida. A pesar de que no se emplea en la conservación de piñas, este método ofrece grandes tiempos de vida de anaquel a diversos productos.

b) Adición de azúcar: se adicionan grandes cantidades de azúcar inhibiendo el desarrollo de microorganismos, principalmente se utiliza para la cristalización de frutas, la preparación de almíbares y mermeladas. Este método es ampliamente utilizado para la conservación de piña y es de los más utilizados comercialmente, ya que existen productos de piña como son piñas cristalizadas, en almíbar, mermeladas y jaleas.

c) Acidificación: se utiliza jugo de limón, vinagre u otros ácidos (cítrico, acético, fosfórico, málico, etc.) acompañado de un proceso térmico, que impide el desarrollo de microorganismos.

d) Fermentación: este proceso lo realizan bacterias que transforman el azúcar del alimento en ácido láctico que impide el desarrollo de microorganismos perjudiciales para la conservación. En el caso de la piña se produce una bebida alcohólica muy conocida llamada tepache, el cual se logra producto de esta fermentación que se da en la piña.

1.2.2.4 Recubrimientos comestibles

Las películas y recubrimientos comestibles son materiales plastificados delgados y flexibles hechos de biopolímeros y que forman una matriz continua, mediante la adición de plastificantes de grado alimentario. Por lo general, son fabricadas por el método húmedo, que se basa en el secado de una solución formadora de película o dispersión por colada sobre un soporte conveniente (Cortez *et al.*, 2014). Estos recubrimientos pueden ser de origen proteico (caseína, proteínas de suero, colágeno, etc.) o de origen polisacárido (celulosa, quitosano, pectinas, almidón,

alginato, gelato, carragenato, carboximetilcelulosa); aunque también se emplean mezclas de proteínas y polisacáridos para su elaboración.

Existen dos grandes grupos de materiales usualmente empleados en la elaboración de los recubrimientos comestibles para frutas frescas cortadas: proteínas y polisacáridos. La elección del tipo de material a utilizar depende del tipo de producto que se quiera recubrir. Los recubrimientos de proteínas y polisacáridos se complementan con ingredientes lipídicos para aumentar la barrera al vapor de agua y agentes plastificantes como el glicerol, que contribuye a mejorar las características elásticas y de permeabilidad de esa delgada capa sobre la superficie externa de los trozos de frutas u hortalizas frescas cortadas (Montero *et al.*, 2009).

Los recubrimientos comestibles se han utilizado en la industria de productos frescos cortados como una estrategia para reducir los efectos perjudiciales de procesamiento mínimo en los tejidos vegetales. Estos pueden contribuir a extender la vida útil de frutas frescas cortadas mediante la reducción de la humedad y la migración de soluto, intercambio de gases, la respiración, y velocidades de reacción de oxidación mediante la reducción o incluso la supresión de trastornos fisiológicos (Rojas *et al.*, 2009). El mecanismo por el cual los recubrimientos conservan la calidad de frutas y vegetales es debido a que crean una barrera física a los gases, generando una atmósfera modificada, reduciendo la disponibilidad de oxígeno e incrementan la concentración de dióxido de carbono (González *et al.*, 2005). Además dan soporte estructural al alimento, ayudando a conservar su textura, limitando la pérdida de humedad y salida de fluidos del producto fresco cortado.

1.3 Líquidos de cobertura

Los frutos frescos cortados se han vuelto más atractivos para el consumidor, por lo que se han utilizado nuevos métodos de conservación para cubrir esta demanda (Silveira *et al.*, 2013), dentro de los cuales se encuentra la utilización de líquidos de cobertura. Un líquido de cobertura, también conocido como líquido de gobierno, es un fluido que se añade en la elaboración de conservas y semiconservas. Existen muchos tipos de líquido de gobierno, según el caso, se utiliza el que más ajuste de acuerdo a las características del producto que va a conservar; que pueden ser agua, jugo o pulpa de fruta con o sin la adición de productos alimentarios que confieran un sabor, como es azúcar o edulcorantes, jarabe, sal, vinagre, limón o aceites (FAO & OMS, 2008).

El objetivo de los líquidos de cobertura es mejorar el sabor y la aceptabilidad del alimento, además de contribuir a su conservación. Se añaden para mejorar el sabor del producto, sea dulce o ácido, por equilibrio del pH, etc. El fluido permite que los componentes incluidos en el líquido de cobertura se distribuyan por igual, en algunos casos, el líquido de gobierno puede ser consumido igual que el producto que ha conservado.

En los últimos años, en el mercado se han utilizado para ciertos frutos, líquidos de cobertura principalmente de jugo de frutas, pero debido al aumento de los problemas de salud relacionados con la obesidad y la diabetes y al elevado costo de la obtención de estos líquidos; este método de conservación ha causado un dilema debido a la cantidad de azúcar que contiene los jugos; asociado a estas inquietudes se han buscado soluciones para prevenir y revertir estos problemas, por lo que en las alternativas de los líquidos de cobertura se busca utilizar agua con ciertos polisacáridos como agentes conservadores, dentro de estos se sugiere

utilizar el mucílago de nopal y la inulina, debido al gran auge que están tomando en la industria alimentaria y los grandes beneficios con los que cuentan (Zamora, 2011).

1.3.1 Mucílago de nopal como agente de líquido de cobertura

El mucílago de nopal es un hidrato de carbono parte de la fibra dietética, es un componente con excelente perspectivas como un aditivo no solo en la industria alimentaria, sino también para otros usos industriales. Se puede obtener también de algunas cactáceas, o de algunos frutos, tales como sábila, mezquite, agave, maguey, entre otros (Sáenz *et al.*, 2004).

El mucílago "*Opuntia ficus-indica*" es un hetero-polisacárido de alto peso molecular, puede tener cerca de 30,000 sub-unidades. Existen pocos estudios reportados en la literatura que indiquen la composición del mucílago de nopal, y los pocos que hay coinciden en la presencia de sus componentes. Medina *et al.* (2000) reportan que el mucílago *Opuntia ficus* está compuesto de un 44.04 % de arabinosa, 20.43 % galactosa, 22.13 % xilosa, 7.02% ramnosa y un 6.38 % de ácido galactúronico. McGravie & Parolis (1981 a, b) encontraron que el mucílago de nopal se compone de una familia de polisacáridos ácidos (pH = 4.55 a 5.7) que posee una estructura ramificada, que consta de una columna vertebral de unidades de ácido α -D-galacturónico, unidades ligadas 1→2 a β -L-ramnosa unida 1→4 con ramificaciones en el C-4, las ramificaciones siendo oligosacáridos de galactosa que llevan arabinosa y xilosa como sustitutos.

El mucílago tiene la capacidad de formar redes moleculares y retener fuertemente grandes cantidades de agua, así como, de modificar propiedades como viscosidad, elasticidad, textura, retención de agua, además de que es un buen gelificante, espesante, y emulsificante (Álvarez *et al.*, 2007). El género *Opuntia* se caracteriza por producir un hidrocoloide que se asemeja a una red, formando una estructura capaz de sostener grandes cantidades de agua. Su estructura se propone como dos distintas fracciones solubles en agua; uno es pectina con propiedades gelificantes con el Ca^{2+} , y la otra sin propiedades gelificantes (Sepúlveda *et al.*, 2007).

1.3.2 Inulina de agave como agente de líquido de cobertura

La inulina es un carbohidrato no digerible de reserva energética que está presente en muchos vegetales, frutos y cereales, utilizado ampliamente como ingrediente en alimentos funcionales gracias a sus grandes beneficios a la salud como prebiótico, aporte de fibra dietética, bajo valor calórico, refuerzo de las funciones inmunológicas, aumento de la biodisponibilidad de minerales, mejora del metabolismo de las grasas y de la respuesta glicémica, reducción del riesgo de cáncer y protección contra desórdenes intestinales (Madrigal & Sangronis, 2007).

En la actualidad, a nivel industrial la inulina se extrae de la raíz de la achicoria (*Cichoriumintybus intibus L.*) y del agave (*Agave tequilana*) y se utiliza ampliamente como ingrediente en alimentos funcionales. La inulina y sus derivados (oligofructosa, fructooligosacáridos) son generalmente llamados fructanos (enlaces β -(2-1) fructosil-fructosa), que están constituidos básicamente por cadenas lineales de fructosa (Madrigal & Sangronis, 2007). Esta estructura se puede apreciar en la **Figura 4**, donde se presenta las dos estructuras químicas que presenta la inulina.

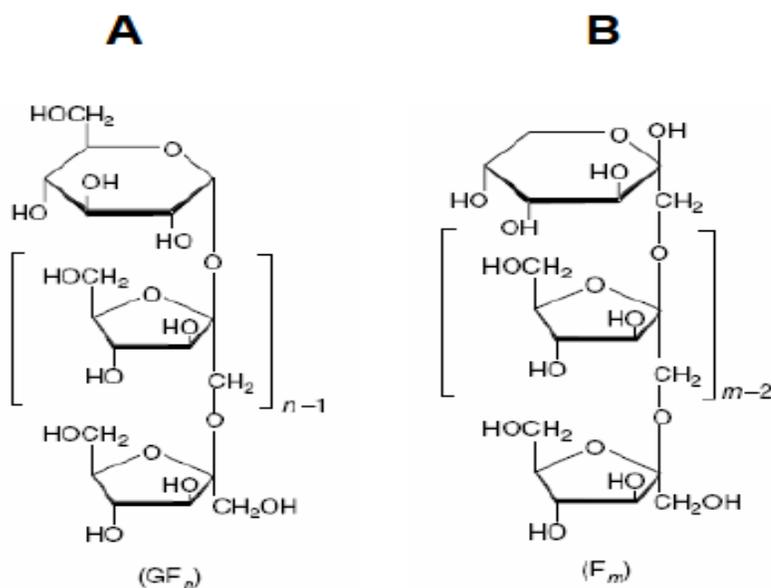


Figura 4. Estructura química de la inulina: con una molécula terminal de glucosa (β -D-glucopiranosil) (A) y con una molécula terminal de fructosa (β -D-fructopiranosil) (B) (Madrigal & Sangronis, 2007).

Los fructanos de Agave están muy ramificados tanto β -(2-1) y β -(2-6) con grados de polimerización de 3 a 30 unidades de monosacáridos (Crispín *et al.*, 2014). Son los polisacáridos no estructurales más abundantes en la naturaleza después del almidón. A nivel industrial, la inulina se presenta como un polvo blanco, sin olor, con sabor neutral y sin efecto residual.

La inulina nativa o de alta pureza, contiene azúcares libres (glucosa, fructosa, sacarosa), lo que le confiere cierto dulzor (10 % del dulzor de la sacarosa) (Franck, 2002). La inulina es estable a altas temperaturas, con propiedades humectantes, reduce la actividad de agua, favoreciendo la estabilidad microbiológica y afecta los puntos de fusión y ebullición, adicionalmente posee propiedades tecnológicas similares a la sacarosa y al jarabe de glucosa (Crittenden & Playne, 1996). En productos alimenticios se utilizan la inulina y sus

derivados como agentes espesantes, emulsificantes, gelificantes, sustituto de azúcares y de grasas, humectantes y depresores del punto de congelación.

1.4 Nanotecnología

La nanotecnología se refiere a las ciencias y técnicas que se aplican a un nivel de nano escala, esto es una medida extremadamente pequeña que permite trabajar y manipular las estructuras moleculares y sus átomos. También se explica como el control de la materia a escala atómica y molecular con al menos una dimensión característica medida en nanómetros. Va desde 1 a 1000 nm en escala, extiende su potencial desde la mecánica hasta la medicina y es capaz de crear nuevos dispositivos y técnicas. (Mora *et al.*, 2010) nos dicen que una de sus características fundamentales de las nanopartículas es su tamaño, el cual es generalmente tomado de 5 a 1000 nm, el intervalo más común con que se trabaja es de 100-500 nm.

Una nanopartícula se define como una estructura que actúa como una unidad completa en términos de transporte y propiedades. Se clasifican de acuerdo a sus características, tamaño y estructura (Rajamalar *et al.*, 2011). Su tamaño subcelular permite una mayor penetración en las superficies, son capaces de mejorar la estabilidad de las sustancias activas y pueden ser biocompatibles con tejidos y células cuando se sintetizan con materiales que son biodegradables (Mora-Huertas *et al.*, 2010). También la nanotecnología contribuye a mejorar las propiedades de los componentes bioactivos como la liberación de sus componentes, solubilidad, prolongación del tiempo de residencia en el tracto digestivo y la efectiva absorción a través de las células (Sozer & Kokini, 2009).

La nanotecnología está invadiendo la industria alimentaria con el establecimiento de grandes aplicaciones potenciales, entre las cuales se incluyen: la encapsulación y liberación de sustancias en ciertos lugares seleccionados, incrementar o modificar el sabor, la introducción de nanopartículas antibacterianas en los alimentos que incrementan su vida útil, la detección de la contaminación y mejorar en el almacenamiento de alimentos. El nano-procesamiento de alimentos y productos pueden cambiar el color, sabor, o características sensoriales; asimismo cambian la funcionalidad nutricional, eliminan productos químicos o agentes patógenos de los alimentos (Chellaram *et al.*, 2014).

1.4.1 Nanocápsulas

Hoy en día los sistemas de nanocápsulas juegan un papel importante en el sector de la transformación y propiedades funcionales encapsulando soluciones simples, coloides, emulsiones, biopolímeros y otros, dentro de alimentos (Abbas *et al.*, 2009). Desde un nivel general, Mora *et al.* (2010) las definen como sistemas nanovesiculares en las que una sustancia activa esta confinada en una cavidad rodeada por una membrana polimérica o recubrimiento; la cavidad puede contener la sustancia en fase líquida o sólida, o como una dispersión molecular. Ese reservorio lipofílico o hidrofóbico de acuerdo al método de preparación y materia prima utilizada.

La encapsulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias bioactivas (sabores, vitaminas o aceites esenciales) son introducidas en una matriz o sistema pared con el objetivo de impedir su pérdida, para evitar que reaccionen con otros compuestos presentes en el alimento o para impedir que se oxiden por efecto del oxígeno. Una ventaja adicional es que un compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado y se obtienen

productos alimenticios con mejores características sensoriales y nutricionales (Aguilar, 2007).

Se utiliza también el término microencapsulación o nanoencapsulación en la industria alimentaria o farmacéutica cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en cantidades muy pequeñas. Una característica fundamental de las nanocápsulas es su tamaño, el cual se toma generalmente de 1-500 nm con un límite superior de tamaño de 1000 nm (Quintanar *et al.*, 1998).

Las técnicas de encapsulación permite mejorar las propiedades sensoriales mediante la mejora de la textura, que se extiende en percepción del sabor y el aumento de la biodisponibilidad (Zhong *et al.*, 2009). Algunos de estos ingredientes funcionales son las vitaminas, agentes antimicrobianos, antioxidantes, conservantes, y compuestos de sabor y color. Estos ingredientes tienen diversas formas moleculares y estructurales, puede ser polar, no polar, y anfifílico con una amplia gama de pesos moleculares y estados físicos. Un mecanismo de liberación apropiado para este tipo de ingredientes debe ser capaz de proteger a estos compuestos de los químicos externos y reacciones bioquímicas que podrían ocurrir durante cualquier etapa de la producción, el almacenamiento y el transporte. El sistema también debe ser capaz de mantener el compuesto en su estado activo sin interferir con las propiedades físico-químicas del producto alimenticio (Weis *et al.*, 2006).

La tecnología de encapsulación se utiliza en muchos productos alimenticios diferentes para proteger sistemas nutracéuticos incorporados en bebidas a los aperitivos y las fórmulas infantiles a los cereales. La mayor parte de la investigación que se ha realizado sobre la nanoencapsulación fue inspirada de la administración de fármacos (Sozer & Kokini, 2009). Actualmente la encapsulación

no sólo cubre ingredientes bioactivos, sino también sirve para controlar la liberación y la estabilidad de sabores y colorantes. Por otro lado, se puede utilizar aditivos como sabores, edulcorantes, prebióticos, nutraceuticos, pigmentos, agentes antimicrobianos, antioxidantes o cualquier otro material que requiera encapsulación. La calidad de frutas frescas cortadas puede ser alargada con la incorporación de sistemas nanoencapsulados (Zambrano *et al.*, 2011).

1.4.2 Métodos de preparación de nanocápsulas

Existen varios métodos para la preparación de nanocápsulas: nanoprecipitación, emulsificación-difusión, doble emulsificación, emulsificación-coacervación, polímero de recubrimiento, capa por capa y emulsificación-evaporación (Mora *et al.*, 2010). Los más utilizados en la actualidad son el de emulsificación-difusión, nanoprecipitación y emulsificación-evaporación.

a) Emulsificación-evaporación: consiste en la disolución del polímero y el compuesto en un disolvente orgánico. La emulsión se prepara mediante la adición de agua y un surfactante a la solución de polímeros. En muchos casos, la formación de “nano-gotas” por parte del polímero se induce por sonicación (ultrasonido) y homogeneización. El disolvente orgánico luego se evapora y las nanopartículas se recolectan generalmente por centrifugación y liofilización (Llabot *et al.*, 2008).

b) Nanoprecipitación: también denominado desplazamiento del disolvente o deposición interfacial. Con esta técnica se disuelve un polímero en un disolvente o mezcla de disolventes (acetona, etanol, hexano, cloruro de metileno o dioxano) y se añaden a una solución acuosa que contiene tensioactivos, luego el disolvente

se evapora a presión reducida y las nanopartículas permanecen en la suspensión acuosa (Mora *et al.*, 2010; Llabot *et al.*, 2008).

c) Emulsificación-difusión: propuesto por Quintanar *et al.*, (1998), el cual consiste en la formación de una emulsión convencional aceite en agua entre un disolvente parcialmente miscible en agua que contiene el polímero y la sustancia activa, esto con el fin de hacer posible la difusión y una fase acuosa que contiene un estabilizante. La adición subsiguiente de agua hace que el disolvente se difunda en la fase externa, resultando en la formación de las nanopartículas. La solución se agita y se produce la precipitación de las partículas; posteriormente se recogen por centrifugación o el disolvente puede eliminarse por diálisis (Llabot *et al.*, 2008). Este método ha tomado gran auge en la industria alimentaria, ya que resulta en el desarrollo de alimentos funcionales y seguros, además de ser una excelente opción para la preparación de nanosistemas (Quintanar *et al.*, 2012).

1.4.3 Aceites esenciales usados en nanocapsulación

Las frutas frescas cortadas pierden rápidamente su sabor típico, incluso cuando se almacena en condiciones de refrigeración, esto debido a que presentan pérdida de frescura. La comercialización de frutas frescas cortadas se ha limitado debido a ser productos muy perecederos, lo que hace que los alimentos cambien sus propiedades (Lanciotti *et al.*, 2004). En los últimos años se han utilizado aceites esenciales en la conservación de frutos, debido a su actividad antimicrobiana, antioxidante y de potencializador de sabor.

Los aceites esenciales se obtienen a partir de diferentes partes de las plantas como flores, yemas, semillas, hojas, ramas, corteza, hierbas, madera, frutos y raíces. Son mezclas complejas de ésteres, aldehídos, cetonas y terpenos; además son compuestos olorosos, muy solubles en alcohol y poco solubles en agua. Para la extracción de estos compuestos se pueden utilizar distintos disolventes (acetato, etanol, y cloruro de etileno) (Rodríguez, 2011). Los aceites esenciales derivados de plantas son conocidos por su actividad antimicrobiana contra un amplio rango de bacterias y hongos. Bakkali *et al.*, (2008) definen a los aceites esenciales como una mezcla de componentes volátiles, producto del metabolismo secundario de las plantas; las esencias las definen como mezclas complejas en cuya composición se encuentran hidrocarburos, los cuales son los responsables del aroma que los caracteriza.

Son relativamente pocos los estudios sobre la actividad de aceites esenciales en alimentos o nanoencapsulación. Lanciotti *et al.*, (2004) reportaron que la aplicación de aceites esenciales de mandarina, cidra, limón y lima aumentaron la vida útil de ensalada de frutas y redujeron la carga microbiana, sin alterar las características sensoriales del producto. Los constituyentes activos de estos aceites son normalmente compuestos volátiles, hidrofóbicos y muy delicados. Por lo tanto, debido a las características de estos compuestos son buenos para ser encapsulados.

La lima es el fruto cítrico más importante utilizado para la extracción de aceites esenciales, es el producto preferido para su uso en las industrias de bebidas y confitería (Chisholm *et al.*, 2003); también la lima es una buena fuente de pectina, con una alta actividad antioxidante y microbiana. Al encapsularse el aceite esencial de lima se evita que la sustancia activa se evapore debido a que contiene compuestos volátiles como ésteres, lactonas, alcoholes y compuestos carbonilos, controla la liberación y mejora la absorción en el cuerpo de la sustancia, así como

reducir los costos de almacenamiento y transporte. Cuenta con propiedades como analgésico, antidepresivo, antimicrobiano, antioxidante, antirreumático, antiséptico, antiviral, astringente, bactericida, carminativo, desinfectante, desodorante, galactagogo, insecticida, por mencionar los más conocidos. En el caso de la utilización de frutos funcionan como agentes antioxidantes y antimicrobianos, retardando el oscurecimiento enzimático y la aparición de hongos, además de ser saborizante.

En cuanto a su composición, Acevedo *et al.*, (2006) en un estudio para identificar los componentes volátiles del aceite esencial de lima encontraron 24 compuestos los cuales son categorizados en hidrocarburos monoterpénicos, monoterpénos oxigenados, hidrocarburos sesquiterpénicos y sesquiterpenos oxigenados; dentro de estos compuestos se describen el linalol, terpineol, citral, acetato de linalil, bergapteno, limoneno, pineno, sabineno y terpinoleno. Lota *et al.*, (2012) estudió el aceite esencial de lima Rangpur en distintos estados de maduración, encontrando que el limoneno como principal componente, seguido por el β -pireno y γ -terpineno.

CAPÍTULO II.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1 Problema y objetivos

2.1.1 Problema

La piña es una fruta muy consumida y apreciada por su fácil accesibilidad y distintas formas de consumo; sin embargo, presenta un gran problema para su conservación fresca cortada, ya que, una vez pelada y cortada desarrolla cambios tales como oscurecimiento enzimático, pérdida de jugosidad y firmeza, haciéndola susceptible a descomposición física y química dándole un aspecto y sabor desagradable, es por ello que se buscan nuevas alternativas para disminuir estos efectos, debido a que la piña tiene un gran potencial de comercialización en el mercado, es una de las frutas tropicales más apetecidas por su excelente sabor, sus propiedades culinarias y medicinales; constituyendo la tercera fruta más importante del mundo, resaltando que el 70 % de la piña que se produce a nivel mundial se consume como fruta fresca con un elevado grado de calidad, buscando su exportación en estado fresco cortadas y en derivados, con el fin de satisfacer necesidades alimentarias de la población, siendo muy importante para las economías nacionales e internacionales.

Existen diferentes alternativas para su conservación, una de estas es la utilización de jugo de frutas que hace que el alimento mantenga varias de sus propiedades y no sufra descomposición tan rápido, alargando la vida útil, pero no se recomienda debido al elevado precio que se requiere para la extracción de éstos, en este sentido se pretende utilizar mucilago de nopal e inulina como líquidos de cobertura debido a que su obtención es barata, para conservar sus propiedades físicas, fisicoquímicas, texturales y alargar su vida de anaquel; estos dos agentes pueden emplearse como reguladores de la presión osmótica, depresores de la actividad acuosa de un producto en una dispersión (Álvarez *et al.*, 2007), disminuyendo el desarrollo del crecimiento microbiológico y las reacciones químicas de la piña

Actualmente se utilizan potenciadores de sabor que intensifican y enriquecen el sabor deseado en un alimento. Se busca utilizar nanocápsulas de aceite esencial de lima como potenciador de sabor y encapsulador de olores, por lo que ha comenzado a abrirse camino en la industria alimentaria, a pesar del gran dilema que se tiene aún por la aceptación de su uso en alimentos. Por lo que se decidió estudiar el efecto que tiene el mucílago de nopal, la inulina y nanocápsulas de aceite esencial de lima como líquidos de cobertura, evaluando el efecto que tienen en la conservación de piña fresca cortada a bajas temperaturas.

2.1.2 Objetivo General

Evaluar el efecto de la composición del líquido de cobertura incorporando nanocápsulas de aceite esencial de lima en piña fresca cortada, almacenada en refrigeración mediante la determinación de los cambios en sus propiedades físicas, fisicoquímicas y texturales que ayuden a incrementar su vida útil.

2.1.3 Objetivos particulares

Objetivo Particular 1

Determinar los cambios físicos de piña fresca cortada en un líquido de cobertura (mucílago de nopal e inulina) incorporado con nanocápsulas de aceite esencial de lima, mediante la evaluación de los parámetros de color, imagen y peso drenado/volumen para establecer su efecto sobre los cambios superficiales y pérdida de peso.

Objetivo Particular 2

Relacionar los cambios fisicoquímicos de piña fresca cortada con líquido de cobertura (mucílago de nopal e inulina) incorporado con nanocápsulas de aceite esencial de lima, con la calidad fisicoquímica del producto a través de la medición de sólidos solubles, pH y acidez.

Objetivo Particular 3

Analizar los cambios texturales de piña fresca cortada en líquido de cobertura (mucílago de nopal e inulina) incorporado con nanocápsulas de aceite esencial de lima, determinando la firmeza y textura por pruebas de punción y TPA (Análisis de perfil de textura) para correlacionarlos con la pérdida de calidad del producto.

2.2 Selección, justificación de variables y diseño experimental

En los últimos años, se han dedicado muchos esfuerzos para proporcionar a los consumidores comida saludable y lista para consumir; sin embargo, las frutas y vegetales son tejidos vivos lo cual significa que son productos muy perecederos (Benítez *et al.*, 2014). La piña es una fruta muy popular en todo el mundo y su forma principal de venta es cortada. Su vida útil depende en gran medida de la temperatura de almacenamiento y los principales síntomas de deterioro con los cambios de color y textura (Marrero & Kader, 2006), por lo que se buscan nuevas alternativas para su conservación.

Se decidió utilizar como medio de conservación mucílago de nopal e inulina debido a sus grandes propiedades en la industria alimentaria y su bajo costo de obtención. Para la otra variable, las nanocápsulas se trabajaron de aceite esencial de lima, debido a ser uno de los cítricos más utilizados en la industria alimentaria y ser un agente antioxidante y antimicrobiano, con lo que ayuda a retardar el oscurecimiento enzimático y la aparición de hongos, alargando su vida útil de la piña almacenada en refrigeración.

Se realizó un diseño factorial general con 2 factores (medio de conservación e incorporación de nanocápsulas) teniendo 3 niveles de variación para el medio de conservación (mucílago de nopal, inulina y mucílago de nopal/inulina) y de incorporación de nanocápsulas (con y sin nanocápsulas). Se realizó un análisis con base en ANDEVA para la evaluación de las diferencias significativas entre las variables independientes utilizando el programa estadístico MINITAB 17 ($\alpha = 0.05$), en todos los experimentos se realizaron 3 réplicas.

Cuadro 4. Selección de variables

Factor de variación	Nivel de variación	Variable dependiente	Técnica o instrumento de medición
-Medio de conservación	-Mucílago de nopal -Inulina -Mucílago de nopal/Inulina	Color	Análisis de imagen (Briones y Aguilera, 2005)
		Sólidos solubles	Refractómetro
		pH	Potenciómetro
		Acidez	Método de acidez total por volumetría (AOAC, 1990)
-Incorporación de nanocápsulas (NC's)	-Con nanocápsulas (C/NC's) -Sin nanocápsulas (S/NC's)	Prueba de punción (Firmeza)	Texturómetro
		Prueba de TPA	Texturómetro
		Porcentaje de transmitancia (Turbidez)	Espectrofotómetro
		Peso drenado/ Volumen	Peso drenado/Volumen
		Imagen (Color y superficie)	Microscopía

En el **Cuadro 4** se presentan los factores, niveles de variación y las técnicas que fueron utilizadas para determinar los cambios físicos, fisicoquímicos y texturales determinados en piña fresca almacenada en refrigeración a 8 °C, durante un período de 4 semanas. Estas condiciones se eligieron conforme a la información bibliográfica que se encontró disponible, ya que se halló que la piña fresca cortada dura aproximadamente 7 días, y la mayoría de los estudios reportados para su conservación se realizaron entre 12 y 15 días, por lo que la finalidad de estudiar 4 semanas fue para analizar el efecto que tienen estos dos polisacáridos como agentes conservadores y que al ser utilizados en un líquido de cobertura alargan la vida útil de la piña fresca cortada, así como, si la incorporación de nanocápsulas de aceite esencial de lima tiene algún efecto positivo o negativo en la piña.

2.3 Actividades preliminares

2.3.1 Caracterización de la cámara de refrigeración

Antes del almacenamiento de las muestras de piña, se llevó a cabo la caracterización de la cámara de refrigeración ubicada en el laboratorio 16 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán campo 4, con el fin de ajustar el refrigerador a las condiciones de trabajo utilizadas durante la experimentación, teniendo un control de la temperatura y humedad relativa. Se tomaron lecturas de 4 puntos diferentes en distintas zonas del refrigerador (rejillas), estos puntos se eligieron tratando de abarcar toda el área y dejando menos espacios sin lectura, como se muestra en la **Figura 5**. Una vez registrada la temperatura, se llevó a cabo los ajustes necesarios para mantener una temperatura promedio de 8 °C ± 1.

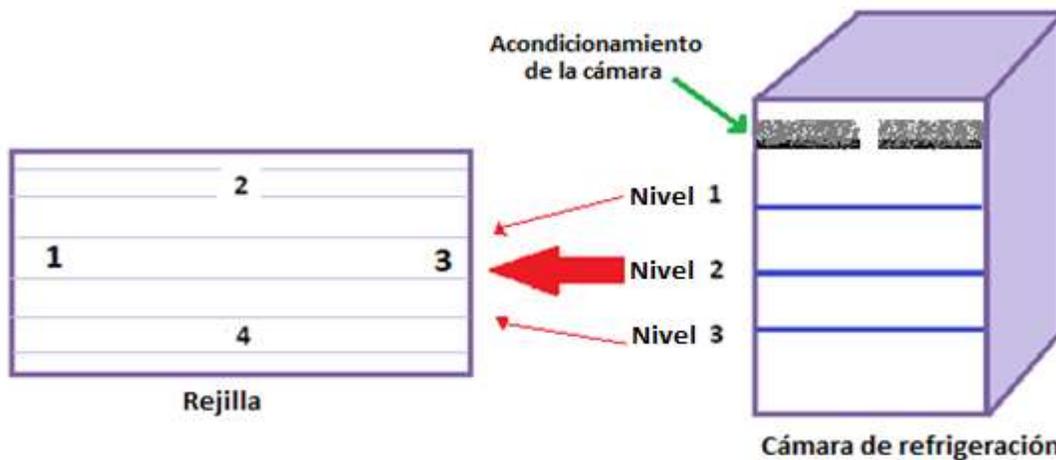


Figura 5. Zonas de lectura para la caracterización de la cámara de refrigeración

2.3.2 Selección de la materia prima

Se adquirió un lote de 40 kg de piña variedad MD2 en la central de Abastos Cuautitlán, México, con un peso aproximadamente de 1.5 kg, con un estado de madurez fisiológica 2 (Ver página 19). Estas se seleccionaron mediante inspección visual, tamaño, color y uniformidad, eliminando aquellos frutos que tuvieron daño mecánico.

2.3.3 Preparación de las muestras

La piña se lavó y desinfectó con plata coloidal a una concentración de 10 mL/L durante 10 minutos; se eliminó la cáscara y el corazón, después se cortó en prismas rectangulares con dimensiones de ancho de 1.5 cm, largo de 2 cm y una profundidad de 1 cm, que posteriormente fueron colocadas en una solución de CaCl_2 al 1.5 % durante 5 minutos para darle rigidez a la piña (Avendaño *et al.*, 2013) y que funcione como agente amortiguador del pH antes de ser envasadas (**Figura 6**).

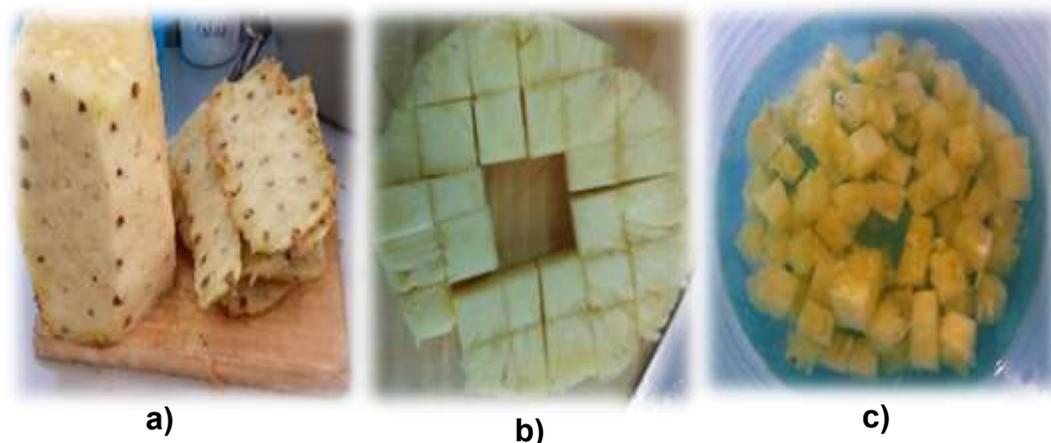


Figura 6. Preparación de las muestras. a) Lavado y pelado de la piña, b) Corte en prismas rectangulares, c) Inmersión en CaCl_2

2.3.4 Elaboración de nanocápsulas

Las nanocápsulas de aceite esencial de lima fueron preparadas por el método de emulsificación-difusión propuesto por Quintanar *et al.*, (1998) y optimizado para encapsulación de activos alimenticios por Zambrano *et al.*, (2011), en el laboratorio L-16 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria a una concentración de 1 g/L de aceite esencial de lima obteniéndose tamaños de partícula promedio de 217 ± 21 nm con una amplitud de 64 nm representado por un índice de polidispersión de 0.189 y un potencial zeta de -24 mV. Estos sistemas coloidales fueron los que se emplearon en la preparación del líquido de cobertura de acuerdo con el diseño experimental propuesto.

2.3.5 Elaboración de dispersiones (líquido de cobertura)

Las dispersiones empleadas como líquido de cobertura se prepararon de acuerdo a lo descrito en el **Cuadro 5**, considerando en todas la adición de 0.6 mg/L de benzoato de sodio, 5 % de azúcar y 0.1 % de ácido cítrico. Además todos los tratamientos fueron comparados contra un control que contenía únicamente los ingredientes mencionados en este párrafo.

Cuadro 5. Formulación de líquidos de cobertura para la conservación de piña fresca cortada

Polisacárido	Proporción (%)	Nanocápsulas (125 ml/L)
Mucilago de nopal	0.2	Con
Mucilago de nopal	0.2	Sin
Inulina de agave	2	Con
Inulina de agave	2	Sin
Mucilago de nopal + Inulina de agave	0.2 + 1.8	Con
Mucilago de nopal + Inulina de agave	0.2 + 1.8	Sin
Control	-	Sin

2.3.6 Proceso de envasado de las muestras

Las piñas se envasaron en vasos de poliestireno cristal, en cada vaso se colocaron 80 ± 1 g de piña con 70 ml de la dispersión del líquido de cobertura, tratando de evitar que la piña flotara. Una vez envasadas se introdujeron a la cámara de refrigeración a 8 °C para su almacenamiento durante 4 semanas.

2.4 Actividades experimentales

2.4.1 Evaluación de color

Se determinó el color por el método de análisis de imagen propuesto por Briones & Aguilera (2005), en el cual se utilizó una caja oscura que no permite el paso de la luz, la cual al interior tenía un sistema de iluminación dado por dos focos de 20 watts acomodados en un ángulo de 45°, uno en una esquina superior y otro en la esquina inferior contraria, ahí se montó una cámara digital en un ángulo de 90° respecto a la muestra, lo cual redujo el brillo. La foto se tomó sin iluminación ni acercamiento y con un temporizador de 10 s. Las imágenes fueron tratadas en Adobe Photoshop CS6 mediante el cual se obtuvieron los parámetros L*, a* y b* y así se realizó el análisis de color de las muestras para obtener el ángulo de tonalidad (°Hue), y cromaticidad (croma) mediante las ecuaciones 1 y 2 (Palou *et al.*, 1999).

$$^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{Ec. (1)}$$

$$\text{Croma} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{Ec. (2)}$$



Figura 7. Caja oscura propuesta (Briones y Aguilera, 2005)

2.4.2 Análisis de imagen

La morfología de la piña se observó en un microscopio óptico USB Digital Microscope modelo BW 908X08 Series, a 200 X, determinando los cambios superficiales de la estructura de la piña en función a las condiciones de envasado y tiempo de almacenamiento.



Figura 8. Microscopio óptico digital

2.4.3 Evaluación de peso drenado/volumen

Se determinó la pérdida de peso drenado, donde el peso drenado fue el peso de las partes sólidas separadas del líquido. Se drenó el líquido de la parte sólida y se pesó esta parte, para ello se utilizó una balanza digital ScoutPro marca OHAUS, luego se anotó sobre el total del volumen inicial y finalmente se calculó la pérdida o ganancia de peso de las piñas, en comparación con el peso inicial en la experimentación. La ecuación 3 muestra la manera en que se realizó dicho cálculo.

$$\% \text{ de pérdida de peso} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

2.4.4 Evaluación de sólidos solubles

Para la determinación de sólidos solubles se utilizó un refractómetro digital marca Hanna, modelo HI 96801, empleando la metodología propuesta por el AOAC 22.04 (AOAC, 2014), la cual se fundamenta en la relación entre el índice de refracción y la concentración de las soluciones sacarinas, donde las mediciones se realizaron sobre la fase líquida de la muestra, expresando el valor en °Brix.



Figura 9. Refractómetro

2.4.5 Evaluación de pH

La determinación del pH se realizó por medio de un potenciómetro digital marca Hanna modelo HI208, el cual se calibró antes de las mediciones con soluciones buffer. El pH se determinó en el jugo de piña de acuerdo al método del AOAC 32.010 (AOAC, 2014).



Figura 10. Potenciómetro

2.4.6 Evaluación de acidez

La determinación de la acidez se realizó por el método de acidez total por volumetría 942.15 del AOAC (AOAC, 2014), el cual consiste en determinar la acidez por medio de una titulación ácido-base con una solución de NaOH 0.1 N y fenoftaleína como indicador, aquí se obtiene el volumen gastado para neutralizar el ácido, posteriormente se utiliza una relación para obtener el porcentaje de acidez (Ec. 4).

$$\% \text{ acidez} = \frac{V * N * m_{eq} * \text{Vdilución}}{W} * 100 \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

V = Volumen gastado de NaOH

N = Normalidad de la solución de NaOH

Meq = Miliequivalentes para el ácido a cuantificar (Ácido cítrico)

W = Peso o volumen de la muestra

Vdilución = Volumen de agua utilizado para diluir la muestra

2.4.7 Evaluación de firmeza y análisis de perfil de textura

La firmeza y el análisis de textura se determinaron por medio de un texturómetro CT3 marca Brookfield; para el caso de la firmeza se realizó una prueba de punción para conocer la distancia en milímetros penetrados y así obtener su firmeza. Se utilizó una célula de carga de 5 kN y una sonda de 3 mm de diámetro. Para el análisis de perfil de textura se aplicó una prueba de compresión uniaxial de dos ciclos, con un cilindro de 20 mm de diámetro, analizando los parámetros de fracturabilidad, cohesividad y dureza.



Figura 11. Texturómetro

2.4.8 Evaluación de turbidez

La turbidez se determinó en el líquido de cobertura de todas las muestras experimentales, por medio de un espectrofotómetro marca Genesys modelo UV-Vis; aquí el procedimiento turbidimétrico consiste en hacer incidir un haz de luz blanca sobre una solución y medir por espectrofotometría la absorbancia y/o transmitancia de la muestra, en un intervalo de longitudes de onda de la luz visible (400-800 nm) (Ortiz-Estrada *et al.*, 2007); en este caso, la turbidez está referida al porcentaje de transmitancia que tengan las dispersiones. Las mediciones se realizaron a una longitud de onda de 402 nm. Esta longitud de onda se seleccionó ya que se realizó un barrido experimental para ver que longitud de onda se encontraba el pico más alto y utilizarlo como referencia para las demás lecturas.



Figura 12. Espectrofotómetro

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Actividades preliminares - caracterización de la cámara de refrigeración

La cámara de refrigeración tuvo una distribución de temperaturas en promedio de 8 ± 1 °C, con una humedad relativa de 80 %, esto se logró después de acondicionar la cámara colocando unicel para la regulación del flujo del aire dentro para que la temperatura fuera la recomendable, garantizando con esto una correcta distribución de aire y temperatura dentro de la cámara y así contar con las condiciones óptimas para llevar a cabo el almacenamiento del producto.

3.2 Evaluación de color

El cambio de color es uno de los parámetros más importantes en fruta fresca cortada durante su almacenamiento, el cual afecta directamente la percepción de la calidad en los consumidores (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005). En general el color en todas las muestras pasó de un color inicial amarillo a un amarillo muy claro, lo cual se le atribuye a la utilización de ácido cítrico que contenía el líquido de cobertura, ya que este ácido funciona como agente antioscurecimiento. Se ha reportado que se produce un fenómeno debido a la oxidación fenólica, la cual está catalizada por enzimas polifenoloxidasas la cual cambia el color en las melaninas (Budu & Joyce, 2003).

3.2.1 Luminosidad (L*)

La **Figura 13** muestra los cambios de luminosidad (L*) para las muestras analizadas en función al contenido de mucilago de nopal y/o inulina y la adición de nanocápsulas de aceite esencial de lima.

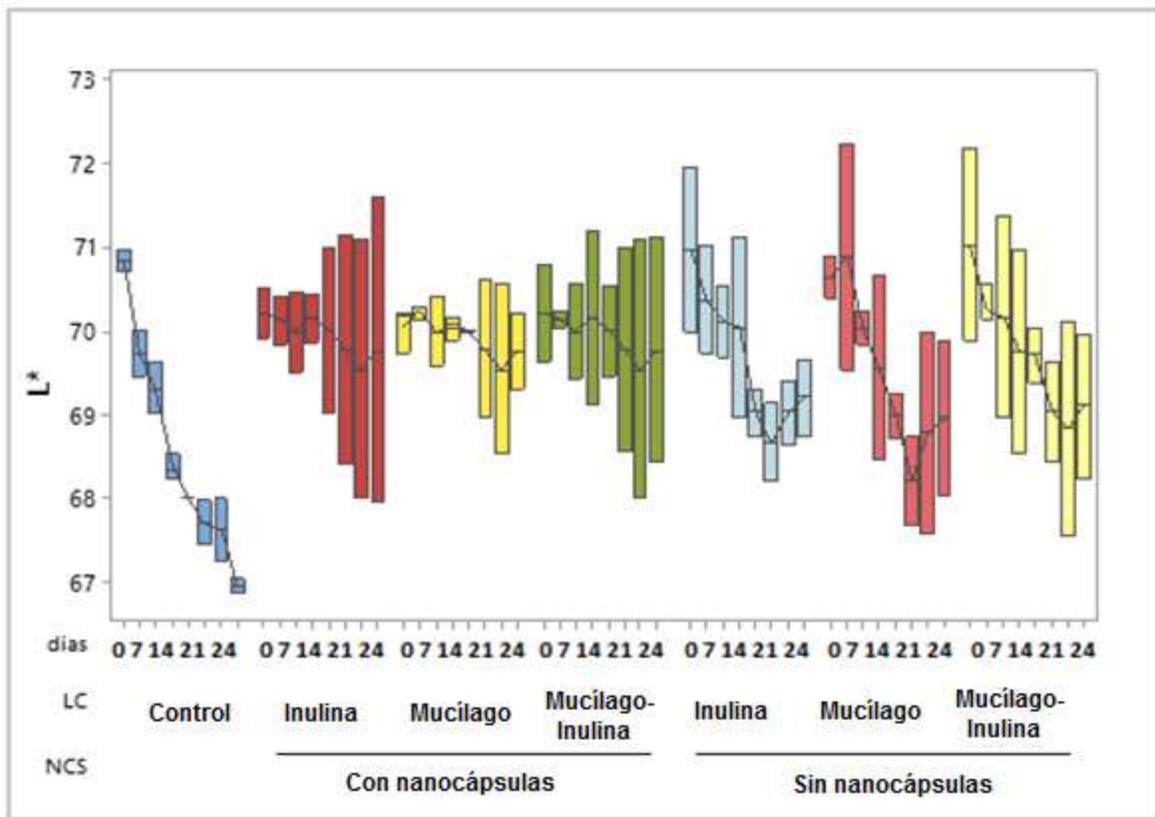


Figura 13. Gráfico de caja para luminosidad de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8°C.

Se aprecia que la luminosidad inicial fue alrededor de 71 unidades, en general todos los tratamientos tuvieron una ligera disminución de L*, a partir del día 10 se muestra una diferencia de cambio en función a la composición del líquido de cobertura, siendo las muestras con nanocápsulas de aceite de lima las que

tuvieron las menores variaciones y en particular aquellas que contenían mucílago de nopal; en la muestra control hubo una pérdida de luminosidad del 7 % durante toda la experimentación. En las muestras con nanocápsulas, en todos los tratamientos no hubo diferencias significativas, en los tres tratamientos la luminosidad disminuyó 1.5 % a comparación de las muestras que no contenían nanocápsulas en las cuales disminuyeron 3.5 % e igual no hubo diferencia entre los tres tratamientos.

Se ha encontrado en otros estudios una disminución de luminosidad, González-Aguilar *et al.*, (2004) estudiaron los cambios de color en piña fresca cortada tratada con agentes antioscurecimiento durante 14 días de almacenamiento a 10 °C y encontraron que estos redujo los cambios en L* en comparación con el control el cual presentó una pérdida de luminosidad del 12 %. Dentro de las muestras que contenían nanocápsulas los tratamientos que contenían mucílago de nopal presentaron menores cambios.

Montero *et al.*, (2008) reportaron una disminución del 15 % de este parámetro para rebanadas de piña almacenadas en atmósferas modificadas durante 20 días a 5 °C, esto debido a que se hacen más traslucidas en lugar de dar un pardeamiento del tejido conforme pasa el tiempo de almacenamiento, esta fenómeno se manifiesta con la disminución de la luminosidad y se consideró que este desarrollo se relaciona con la velocidad de difusión de agua y solutos a través de las membranas celulares del tejido de la fruta, cambios en la permeabilidad de la membrana, contenido de azúcar y las diferencias en la presión osmótica interna. Esto se puede comprobar con el control, ya que tuvo una disminución mayor en comparación con los otros tratamientos, por lo que la inulina y el mucílago de nopal ayudan a conservar las propiedades iniciales de la piña durante un mayor tiempo.

3.2.2 Ángulo de tonalidad (°Hue)

En la **Figura 14** se muestran los cambios de °Hue en piña para todos los tratamientos, los °Hue representan una escala de la tonalidad de color, en el cual en el círculo de color se representa 360°, donde el 0° representa el color rojo, 90° el color amarillo, 180° el color verde y 270° color azul (Rocha & Morais, 2003). Los valores obtenidos para todos los tratamientos excepto en el control, fueron aproximadamente de 90° que representan la escala de color amarillo, por lo que los datos obtenidos están dentro de un rango aceptable para la piña fresca cortada.

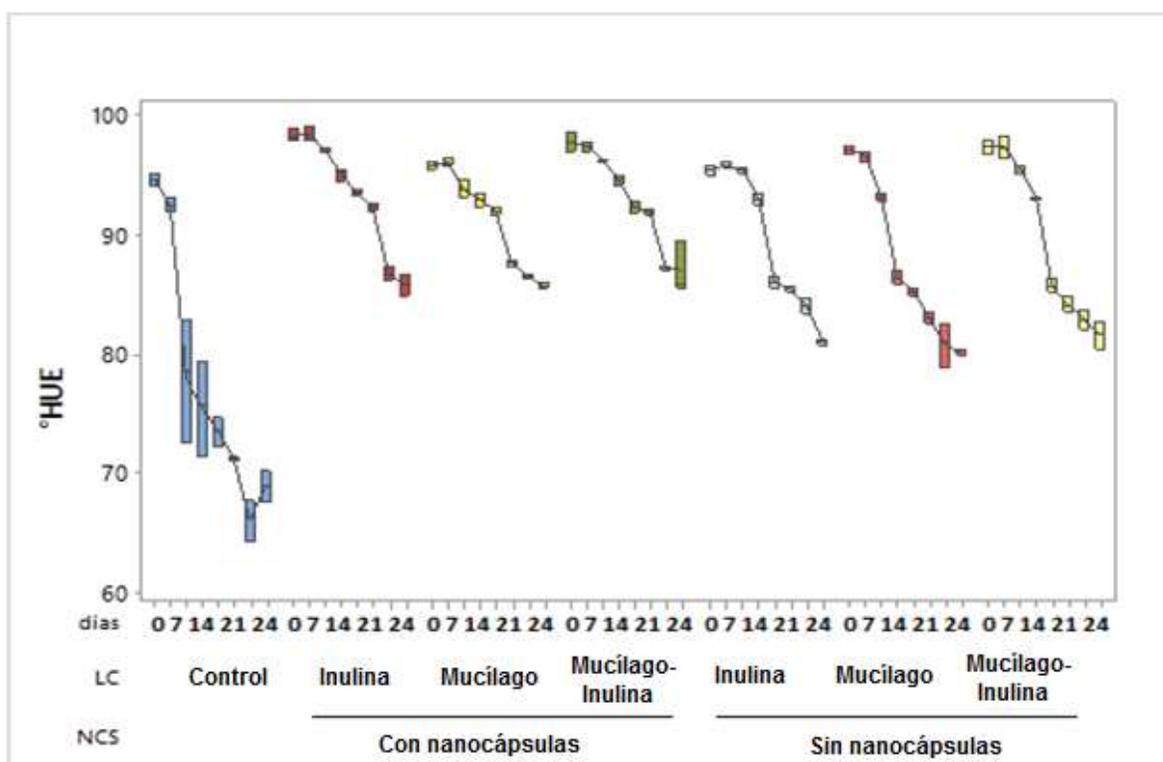


Figura 14. Gráfico de caja para °Hue de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8°C.

Se observa que existe una disminución en los °Hue para todos los tratamientos durante toda la experimentación; durante los primeros 7 días se presentó un comportamiento constante en los tratamientos, después de este día se observa una disminución hasta el día 17, donde se mostró otra disminución notable y de ahí se mantienen los valores en un intervalo más constante hasta el último día de almacenamiento. Para el tratamiento control existió una disminución del 31 %, se le atribuye esta disminución debido al oscurecimiento enzimático que se produce en las piñas por efecto de la polifenoloxidasas en comparación con los tratamientos que contenían inulina y mucílago de nopal que presentaron una menor disminución de este parámetro con lo que estos dos polisacáridos funcionan aparte de conservadores a mantener un color agradable para el producto. Los tratamientos con nanocápsulas existió una disminución de 12 %, entre estos tratamientos. Los que tenían inulina no tuvieron una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre ellos, a comparación con el tratamiento que contenía solamente mucílago de nopal el cual presentó el menor cambio para este parámetro.

Los tratamientos sin nanocápsulas no tuvieron diferencias significativas y presentaron una disminución del 15.5 %; en todos los casos la disminución de este parámetro se debe a los cambios en el oscurecimiento enzimático asociados a la actividad de la polifenoloxidasas que produce este cambio de color que mostró la piña y a pesar de que no fue muy notorio el cambio a simple vista, analizando la disminución en los °Hue se aprecia mejor como la tonalidad de amarillo fue disminuyendo. En general los tratamientos que tenían mucílago de nopal e inulina utilizados para su conservación mantuvieron una tonalidad amarilla en la piña, destacando el tratamiento con mucílago de nopal y nanocápsulas que tuvo la menor disminución en este parámetro, por lo que mantiene por mayor tiempo el color del producto, dándole un aspecto agradable y similar al color inicial.

En otros estudios se ha reportado la disminución de °Hue: Sangsuwan *et al.*, (2008) trabajaron con piña y melón fresco cortado con recubrimientos comestibles de quitosan y metilcelulosa almacenados durante 12 días a 10 °C, donde reportaron que el ángulo de tonalidad (°Hue) de la piña tiende a disminuir con el tiempo de 93 a 87. Marrero & Kader (2006) reportaron una disminución del ángulo de tonalidad en piñas almacenadas en atmósferas modificadas durante 15 días a diferentes temperaturas, por lo que los resultados obtenidos se consideran en un intervalo aceptable debido a que estos estudios solo tienen una duración máxima de 15 días, comparada con el presente estudio que es de 4 semanas, alargando su vida útil, dando ventajas sobre su distribución y venta.

3.2.3 Cromaticidad (croma)

La cromaticidad también llamada croma, representa la pureza o intensidad del color, es el grado de diferencia existente entre un color y un gris de su misma luminosidad y claridad, que se corresponde con la saturación del color percibido; este es un parámetro importante dentro del color, ayuda a evaluar la calidad de alimentos frescos y procesados (Duque *et al.*, 2007). En la **Figura 15** se presentan los cambios de cromaticidad obtenidos para todos los tratamientos de piña fresca cortada refrigerada a 8 °C.

El valor inicial para el croma fue de aproximadamente 35 unidades, debido al estado de madurez de la piña que se eligió para la experimentación. El croma disminuyó durante toda la experimentación para todos los tratamientos. El control presentó una pérdida de cromaticidad del 60 %, los tres tratamientos sin nanocápsulas presentaron un comportamiento similar, sin diferencias significativas, los cuales perdieron 34.3 %, mientras que aquellos que contenían nanocápsulas tuvieron la menor pérdida de cromaticidad durante el

almacenamiento con una pérdida de cromaticidad promedio del 20 % respecto a la condición inicial y sin diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) debida al tipo de polisacárido empleado. Debido al equilibrio entre los componentes al tercer día todos los tratamientos tuvieron el cambio más significativo con una disminución del 8.6 % en cromaticidad respecto a la condición inicial.

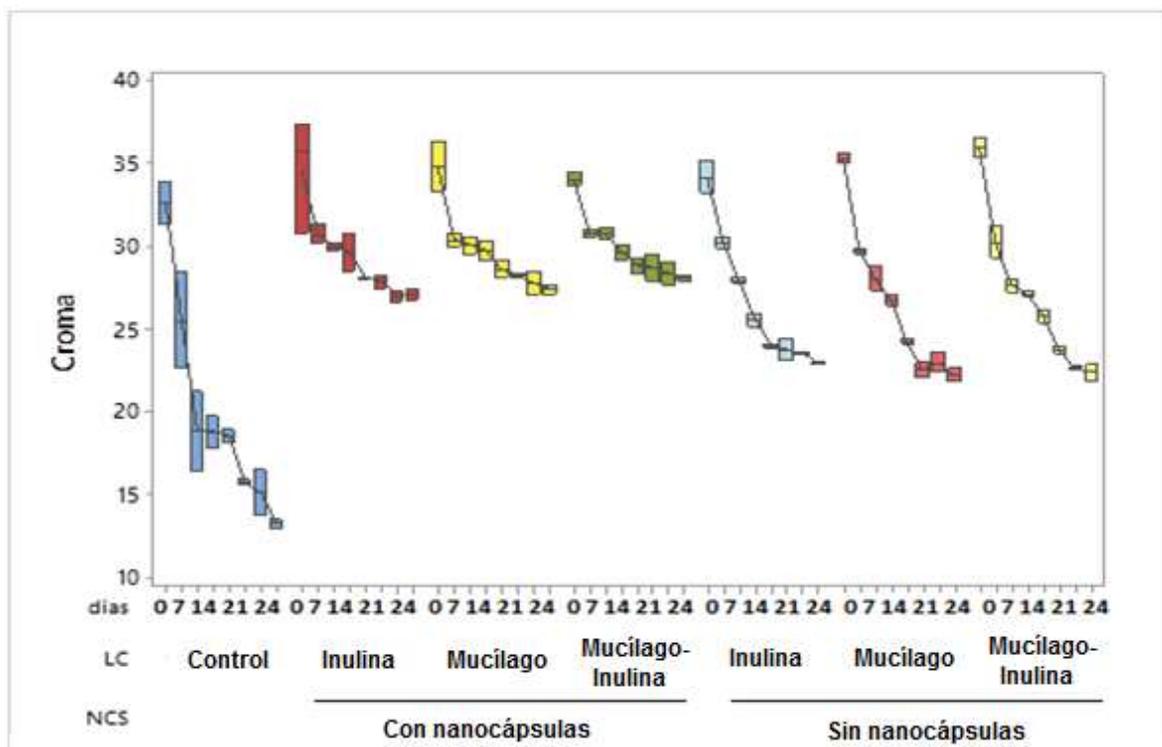


Figura 15. Gráfico de caja para cromaticidad de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C.

Las muestras de piñas que contenían inulina y las de mucílago de nopal presentaron una pérdida de cromaticidad del 21.4 %, los tratamiento que contenía la mezcla de mucílago-inulina tuvieron una pérdida del 17.6 %, obteniendo mejores resultados manteniendo esa intensidad de color por más tiempo.

La efectividad de utilizar un líquido de cobertura con alguno de estos dos polisacáridos (mucíalgo de nopal y/o inulina) para la conservación de piña fresca cortada se observa debido a que mantenían por más tiempo la cromaticidad, estos resultados están de acuerdo a los resultados obtenidos por otros autores, como Marrero & Kader (2006) informaron una disminución del croma de 23 a 15 en piñas almacenadas en atmósferas modificadas durante 15 días a diferentes temperaturas, por lo que utilizar un líquido de cobertura ayuda a disminuir la pérdida de cromaticidad del producto por más tiempo.

3.3 Análisis de imagen

En el **Cuadros 6** se presenta un comparativo de la estructura superficial de piña fresca cortada utilizando una escala hedónica, obtenida por el análisis de imágenes durante 4 semanas de almacenamiento refrigerado, observándose que no existe un daño estructural notorio entre las muestras respecto al tiempo de almacenamiento. Se demuestra que el líquido de cobertura independientemente de su composición (inulina y/o mucílago de nopal), con o sin nanocápsulas de aceite esencial de lima ayuda a mantener la estructura de la piña y a pesar de que hubo ligeros desprendimientos de fibras de la piña durante el transcurso de las 4 semanas, este desprendimiento no causó daños morfológicos visibles entre los tratamientos.

En las imágenes se presentan de igual manera los valores obtenidos de °Hue, lo cual también sirve para el análisis, en el cual observamos el cambio de color en los tratamientos durante la experimentación, como se mencionó en el apartado de la página 60 tuvieron un color amarillo al inicio de la experimentación, cambiando a un amarillo claro, este cambio se aprecia mejor en la tercera semana de almacenamiento.

Cuadro 6. Comparativo de la estructura de la piña fresca para los tratamientos sin nanocápsulas.

	Semana 1		Semana 2	
	S/NC's	C/NC's	S/NC's	C/NC's
Control				
	°Hue = 93.01	°Hue = 94.03	°Hue = 76.53	°Hue = 75.13
Mucílago				
	°Hue = 96.76	°Hue = 96.25	°Hue = 88.23	°Hue = 92.33
Inulina				
	°Hue = 95.89	°Hue = 98.50	°Hue = 87.13	°Hue = 94.22
Mucílago-Inulina				
	°Hue = 97.39	°Hue = 97.47	°Hue = 88.01	°Hue = 93.04

Continuación Cuadro 6. Comparativo de la estructura de la piña fresca para los tratamientos con nanocápsulas.

	Semana 3		Semana 4	
	S/NC's	C/NC's	S/NC's	C/NC's
Control	 °Hue = 71.05	 °Hue = 71.35	 °Hue = 67.19	 °Hue = 68.14
Mucilago	 °Hue = 83.15	 °Hue = 87.70	 °Hue = 80.17	 °Hue = 85.79
Inulina	 °Hue = 85.34	 °Hue = 92.33	 °Hue = 81.03	 °Hue = 85.82
Mucilago-Inulina	 °Hue = 84.16	 °Hue = 92.01	 °Hue = 81.65	 °Hue = 86.98

3.4 Evaluación de peso drenado/volumen

Para evaluar si algún método aplicado a la conservación de frutos frescos cortados funciona, hay que comprobar si este método no provoca la pérdida de peso por drenado en el producto (Zambrano, 2013), en este caso, si el líquido de cobertura provocó la pérdida de peso drenado al interior del envase. La pérdida de peso drenado en el producto tiene relación directa con la migración de sólidos de la piña hacia el líquido y por ende cambios en la turbidez del mismo. En la **Figura 16** se muestra el comportamiento de la pérdida de peso (porcentaje de la pérdida de peso) en función al tratamiento de las piñas durante su almacenamiento refrigerado.

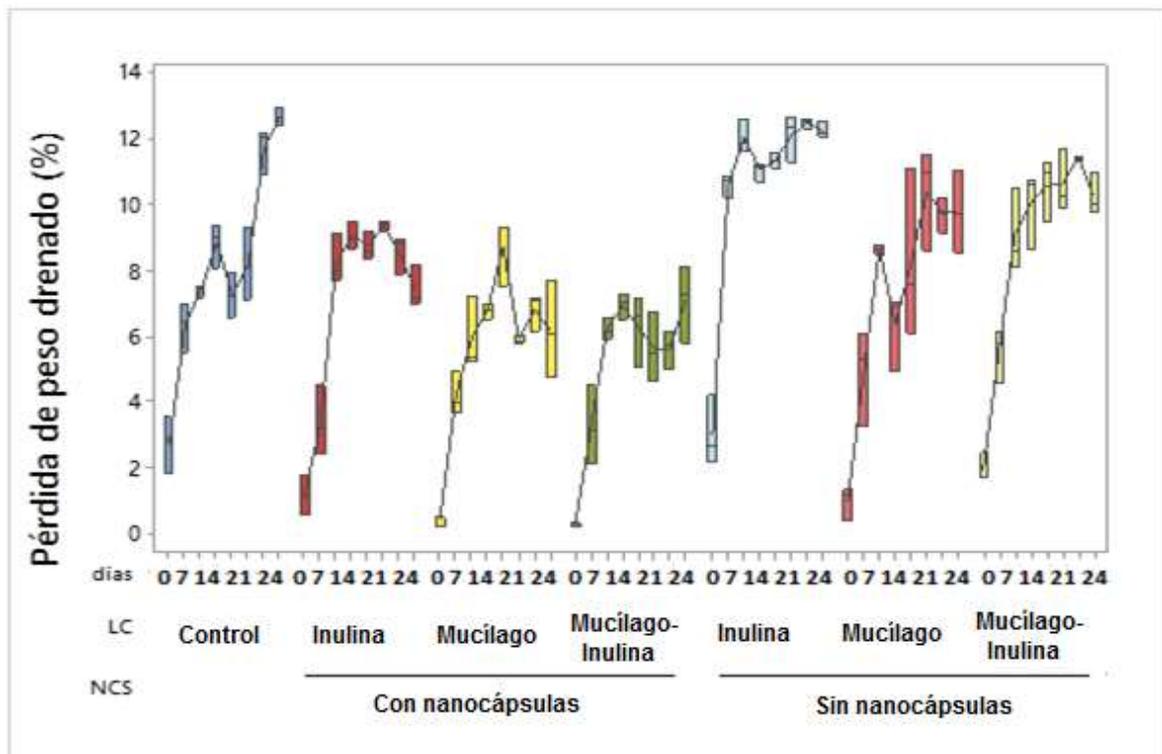


Figura 16. Gráfico de caja para pérdida de peso de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8°C.

En la **Figura 16** se resalta que la menor pérdida de peso drenada la tuvieron las muestras inmersas en la dispersión que contenía nanocápsulas con aceite esencial de lima, las cuales tuvieron una pérdida de 8.6 %, 8.2 % y 7.6 % para inulina, mucilago de nopal y mucilago de nopal-inulina respectivamente, en relación a la condición inicial. Los tratamientos sin nanocápsulas tuvieron mayores pérdidas en cuanto al peso drenado, siendo la de mayor pérdida las que contenían inulina al 2 % como líquido de cobertura, seguida por la de mucilago de nopal y finalmente la mezcla de mucilago de nopal-inulina. El tratamiento con mucilago de nopal-inulina con nanocápsulas tuvo la menor pérdida de peso drenado al final del almacenamiento refrigerado, sin que por ello implique diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos con nanocápsulas ($p \leq 0.05$).

Las piñas inmersas en sistemas con y sin nanocápsulas perdieron peso paulatinamente durante los primeros 7 días para posteriormente permanecer prácticamente sin variación, siguiendo una tendencia a disminuir hasta el final del almacenamiento, este comportamiento se puede atribuir a que la piña absorbe agua del líquido de cobertura. Las muestras control tuvieron una pérdida de peso del 9.5 % con respecto al inicial, mostrando la mayor pérdida de todos los tratamientos, por tanto la utilización de estos dos agentes (mucílago de nopal e inulina) en un líquido de cobertura, son una barrera que limita la pérdida de sólidos de la piña o ganancia de agua en la piña durante su almacenamiento, favoreciendo al producto para su venta.

3.5 Evaluación de sólidos solubles

En la **Figura 17** se presenta el comportamiento de los sólidos solubles expresados en °Brix para los diferentes tratamientos de piña almacenados en refrigeración. En esta figura se aprecia una disminución de los °Brix con un valor promedio de 9.7 a

7.5; Hernández *et al.*, (2007) reportaron valores de °Brix de 9.5 y 7.5 para piña en diferentes estados de madurez, por lo que los datos obtenidos se encuentran dentro de los intervalos reportados para este fruto. Los tres tratamientos con nanocápsulas, presentaron una disminución hasta el día 7, después de ese día se mostró un ligero aumento de 0.1 unidades, posteriormente a ese día cada tratamiento tuvo diferentes comportamientos. Para el caso de las muestras de inulina con nanocápsulas presentaron mayor variación, después del día 10 hubo una disminución hasta el día 17, y el valor se mantuvo constante los últimos días de almacenamiento. Para las muestras con mucílago de nopal y la mezcla mucílago de nopal-inulina con nanocápsulas, después del día 7 mantuvieron un valor más constante sin variación. El tratamiento con mucílago de nopal tuvo las menores variaciones durante todo el almacenamiento refrigerado.

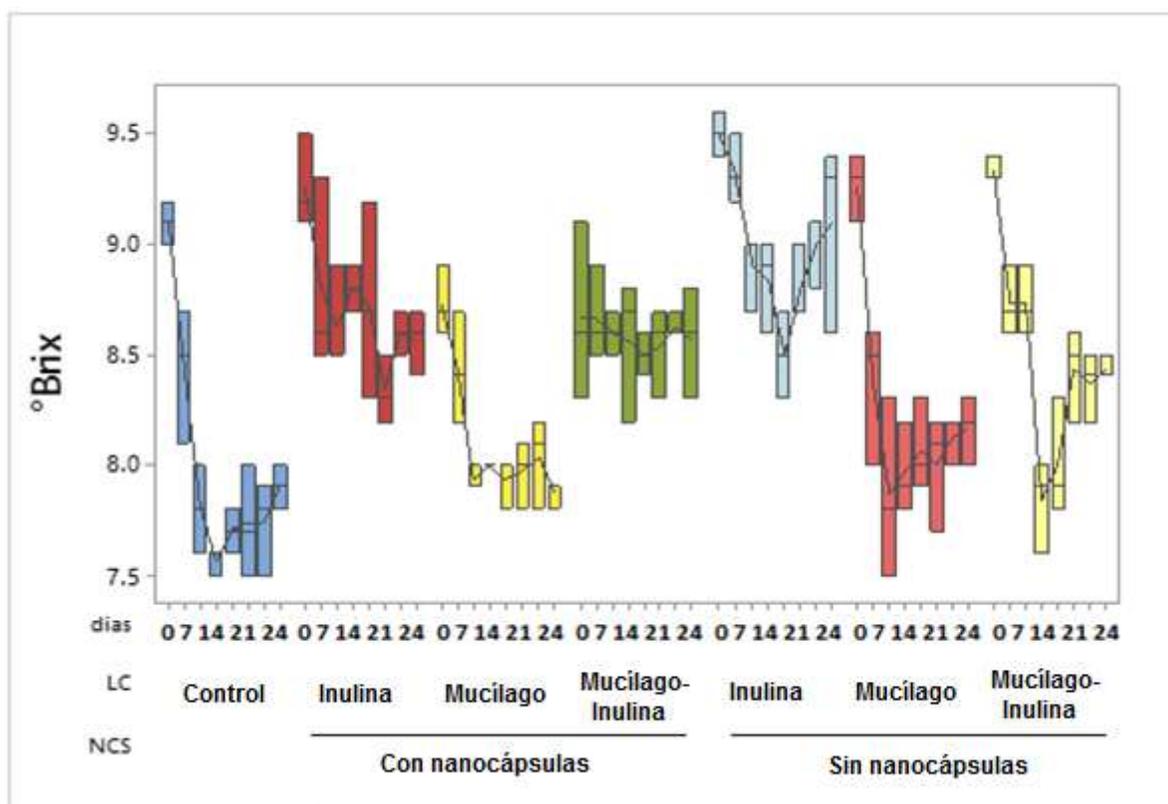


Figura 17. Gráfico de caja para °Brix de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C.

Las piñas frescas cortadas inmersas en líquido de cobertura sin nanocápsulas mostraron mayores variaciones en relación a los sólidos solubles. Las muestras con inulina tienen una disminución hasta el día 14 de 1 unidad, después de ese día hubo un aumento en los °Brix de 0.5 unidades. Para las muestras con mucílago de nopal tuvieron una disminución hasta el día 7 de 1.6 unidades, después tuvieron ligeras variaciones atribuidas a las diferencias entre los trozos de piña y a la difusión de azúcares entre el líquido de cobertura y la piña hasta el día 14 pero sin diferencias significativas ($p \leq 0.05$). La muestra de mucílago de nopal-inulina es el tratamiento que presenta más variaciones, resaltando que tiene una disminución hasta el día 14 y posteriormente un aumento de 0.3 unidades, y mantener constante el valor durante los últimos días.

Las muestras control tuvieron una disminución de 1.6 unidades hasta el día 10. Para todos los casos las variaciones en este parámetro se le atribuyen a la deshidratación osmótica que ocurre durante su almacenamiento, pues, a pesar de que se adicionaron pocos sólidos solubles y los polisacáridos son una barrera a la difusión, de cualquier manera debe existir un equilibrio entre la piña y el líquido de cobertura, el cual se aprecia al inicio, la piña tiene mayor contenido de °Brix y el líquido tiene 5 % de azúcar, con el tiempo se va produciendo el equilibrio y es donde la piña pierde sólidos que pasan hacia el líquido de cobertura.

El tratamiento de mucílago de nopal-inulina con nanocápsulas presentó la menor variabilidad en el comportamiento de los sólidos solubles durante el almacenamiento, comprobándose que llegó a un equilibrio osmótico desde los primeros días y se mantuvo. Silveira *et al.*, (2013) en un estudio de atributos de calidad en melón fresco cortado en líquidos de cobertura con jugos de frutas almacenados a 5 °C durante 7 días, encontraron una reducción de sólidos solubles al séptimo día almacenamiento, este comportamiento es muy similar al obtenido con las piñas el cual se le puede atribuir al metabolismo de la piña fresca

cortada, ya que por el hecho de estar viva, sigue el proceso de respiración, el consumo de azúcares y por ende variando los niveles de los sólidos solubles, además de que la piña disminuye sus sólidos debido a que confiere sólidos al medio (líquido de cobertura), ya que de igual manera se debe tener un equilibrio en la fase líquida.

3.6 Evaluación de pH

El pH es la medida del grado de acidez o alcalinidad de un alimento o bebida. En el caso en frutos es un parámetro muy importante para la calidad final del producto, ya que es el principal factor que influye en la composición de su microflora y es determinante para controlar el crecimiento bacteriano, debido a que la mayoría de las levaduras y mohos crecen en condiciones ácidas.

En la **Figura 18** se muestran los datos de pH obtenidos durante el almacenamiento refrigerado para la piña en los diferentes tratamientos; se observa que el pH mostró una disminución de 3.8 a 2.8; sin embargo los tratamientos sin nanocápsulas y el control a pesar de que tuvieron una ligera disminución, no implican variaciones estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) con un intervalo de 3.85 a 3.69, disminuyendo solo 0.16 unidades. Los tratamientos con nanocápsulas mostraron un comportamiento sin variaciones estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) hasta el día 14, después de ese día hubo una disminución estadísticamente significativa ($p \geq 0.05$) hasta el día 21 de 0.9 unidades, y finalmente el último día de experimentación existió un ligero aumento de 0.05 unidades.

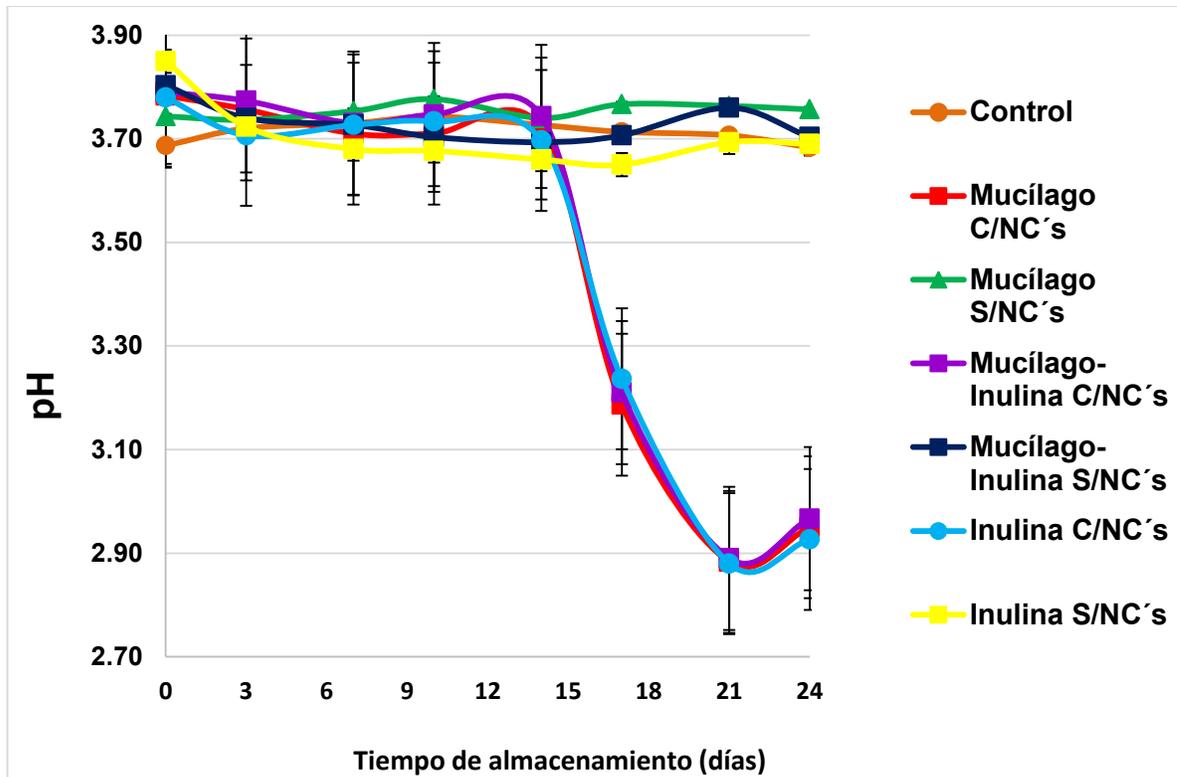


Figura 18. Gráfico de pH para todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C

La disminución de pH al final del almacenamiento 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 que se da la degradación del poliéster utilizado (PCL) en medio acuoso, produciendo ϵ -ácido hidroxicaproico, lo que induce generalmente a una acidificación del medio; con lo anterior se explica esta disminución significativa (Masson *et al.*, 1996; Lacoulonche *et al.*, 1999). Para este parámetro la utilización de mucílago de nopal y/o inulina sirve para mantener un medio adecuado para la conservación de la piña, sin la utilización de nanocápsulas de aceite esencial de lima.

Varios autores han reportado valores para pH de piña fresca cortada almacenada en diferentes condiciones, Montero *et al.*, (2008) reportaron valores similares para el pH de 3.5 en piña fresca cortada envasada en atmósferas modificadas a 8 °C y Wu *et al.*, (2012) para rodajas de piña fresca, donde le aplicaron un tratamiento de argón de alta presión para mantener los atributos de calidad durante su almacenamiento en frío obtuvieron valores de pH de 3.62.

3.7 Evaluación de acidez

El grado de acidez de un producto alimenticio indica el contenido en ácidos orgánicos libres, usado como un parámetro de calidad en los alimentos. En general se prefieren valores más altos de acidez titulable total durante el almacenamiento, debido a que se correlacionan con valores de pH bajos, evitando de ese modo la aparición de microorganismos en las frutas recién cortadas (Mantilla *et al.*, 2013).

La **Figura 19** presenta el porcentaje de acidez expresado como ácido cítrico, en general para todos los tratamientos la acidez aumento; en el primer día se obtuvieron valores de acidez de 0.16 a 0.27, infiriendo que se encontraba en el estado de madurez fisiológica y dentro de los rangos establecidos, estos resultados concuerdan con los obtenidos por el parámetro de pH, ya que, como se sabe al disminuir el pH, la acidez aumenta.

Los tratamientos que no tenían nanocápsulas presentaron hasta el día 7 una ligera disminución de la acidez, posteriormente se incrementó este valor 0.06 %, sin existir variaciones estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los tres tratamientos. Los tratamientos con nanocápsulas tuvieron un comportamiento

lineal, para las muestras que tenían mucilago de nopal y la mezcla de mucilago de nopal-inulina mostraron en el día 3 y 7 respectivamente una muy ligera disminución, lo cual se le puede atribuir a un error experimental, debido a que solo es un punto fuera del comportamiento y que después de esos días los valores de acidez siguieron incrementándose; en el día 17 se obtuvieron valores más altos, esto concuerda con el cambio de pH que sufrieron las muestras con nanocápsulas a partir de ese día, adjudicado a la degradación del poliéster que se utilizó para encapsular a las nanopartículas de aceite esencial de lima.

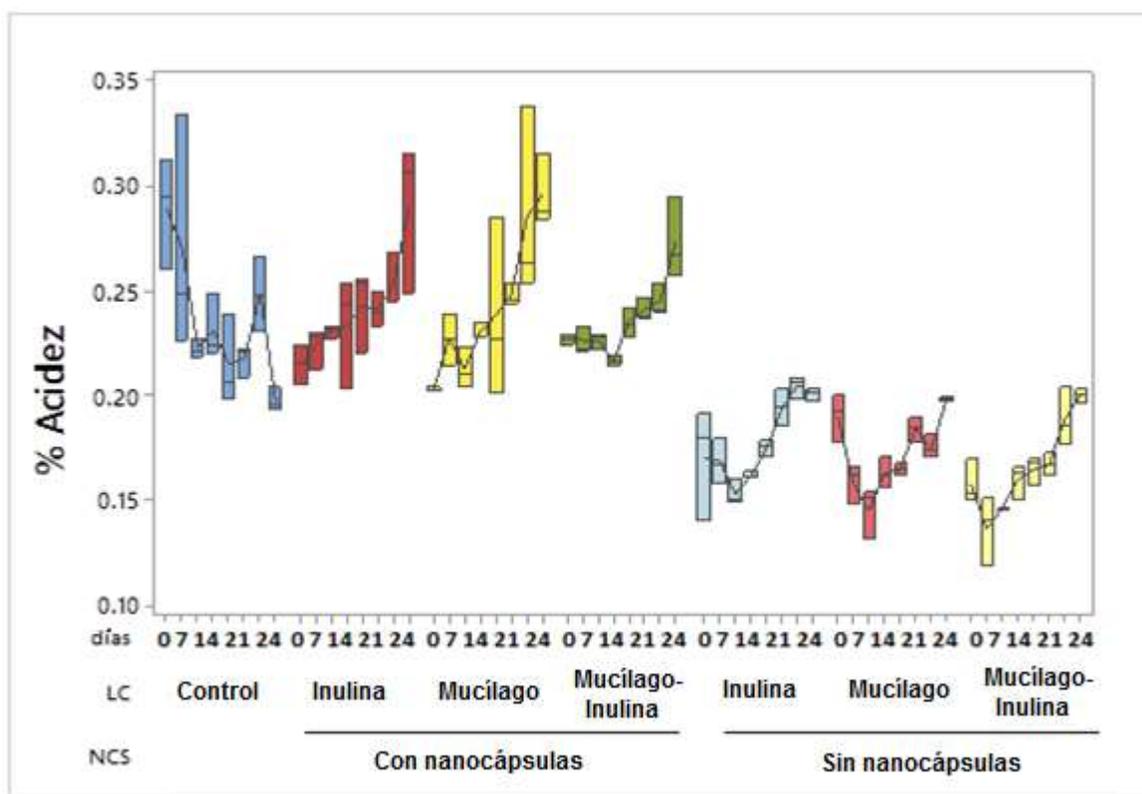


Figura 19. Gráfico de caja para porcentaje de acidez para todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C.

En el control se observa que existió una disminución significativa de la acidez, la cual fue de 0.1 %, por lo tanto, una de las razones para utilizar mucílago de nopal e inulina como agentes conservadores, es que ayuda a que la acidez no disminuya y con esto se reduce la aparición de microorganismos por un mayor tiempo, así como evita que el producto se fermente más rápido. Se encontraron datos reportados de piña fresca cortada sometidas a radiación UV-C y posteriormente almacenadas a 10 °C durante 11 días que mostraron un incremento en la acidez de 0.4 a 1.2 %, reduciendo la aparición de microorganismos (Pan & Zu, 2012).

3.8 Evaluación de firmeza y análisis de perfil de textura

3.8.1 Firmeza

La firmeza en frutos es una propiedad cuantitativa y su determinación tiene gran interés para la caracterización de la fruta en cuanto a su calidad, su estado de madurez y su resistencia a daños mecánicos durante la recolección, manipulación y transporte hasta el consumidor (Barreiro & Ruiz-Altisent, 1996).

En la **Figura 20** se presenta la firmeza obtenida para todas las muestras de piña fresca cortadas almacenadas en refrigeración; se observa que la firmeza disminuyó conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento. Las muestras que no tenían nanocápsulas presentaron una tendencia a disminuir mostrando variaciones durante los días de muestreo, para las muestras de mucílago de nopal y la mezcla de mucílago de nopal-inulina no existieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), en estas en promedio existió una pérdida de firmeza de 2.2 N, que equivale al 59.4 % con respecto a la condición

inicial, para las muestras de inulina existió una pérdida de 1.7 N (56.25 %); las variaciones que se presentaron en estos tres tratamientos son atribuidas a que las muestras eran de diferentes piñas y no se puede tener la misma firmeza, además de que las fibras cambian entre muestra y muestra afectando la lectura, al igual que la muestra puede que estuviera muy cerca del corazón de la piña o en las esquinas, con lo que su firmeza cambia.

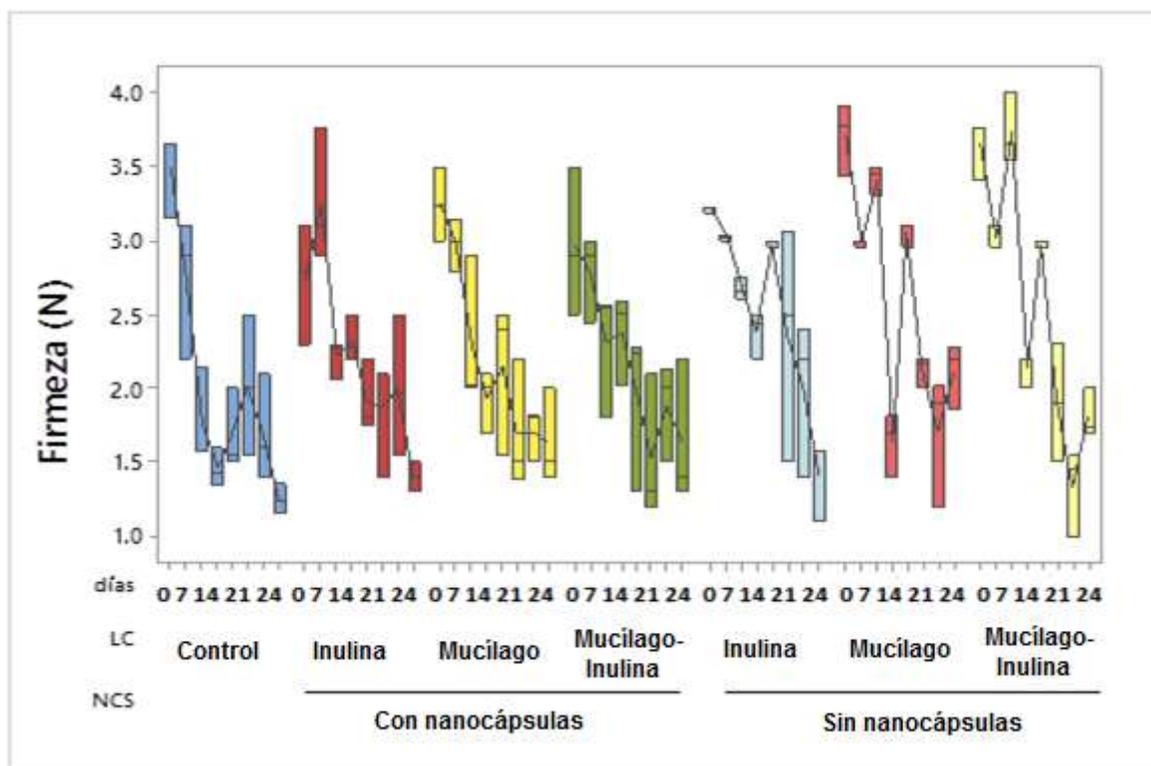


Figura 20. Gráfico de caja para firmeza de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C.

Se observa que la piña control fue la que tuvo la mayor pérdida de firmeza durante el tiempo de almacenamiento, ya que la fuerza necesaria para la punción del fruto fue de 3.5 a 1.3 N durante el almacenamiento refrigerado, dando una pérdida de firmeza aproximada del 62.85 %. Las muestras que contenían nanocápsulas no tuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), para estos tres

tratamientos, en promedio existió una disminución de la firmeza de 1.8 N que representa aproximadamente el 48.57 % con respecto a la condición inicial, estos tuvieron un mejor comportamiento en comparación con los que solo contenían polisacáridos, con lo que la utilización de un líquido de cobertura con un algún polisacárido (mucílago de nopal y/o inulina) incorporando nanocápsulas, ayudan como barrera para mantener la firmeza por más tiempo.

Las muestras tratadas con mucílago de nopal y nanocápsulas tuvieron un mejor comportamiento, presentando la menor disminución de firmeza, esto se puede explicar debido a la composición del mucílago que contiene una considerable cantidad de ácido galacturónico, el cual asociado a la presencia de iones calcio refuerza los enlaces poliméricos en la superficie del producto (Aguilar, 2007), que al entrar en contacto con la pectinmetilestereasa y poligalacturonasa de la pared celular, permite la formación de enlaces o ligantes entre las células, ayudando a mantener la estructura y textura del tejido de los frutos, por lo que utilizar mucílago de nopal en la conservación de piña fresca cortada ayudaría a mantener sus propiedades por más tiempo, debido a que este es un factor muy importante en los frutos frescos cortados que determina la decisión de compra del consumidor.

Existen datos reportados sobre la pérdida de firmeza en piña fresca cortada: Rocculi *et al.*, (2009) obtuvieron una disminución de valores de firmeza para piña fresca cortada almacenada en atmósferas modificadas durante 10 días a 4 °C, explicando que esta disminución de firmeza puede ser consecuencia de una menor actividad de las enzimas responsables del ablandamiento de los tejidos, que son la poligalacturonasas, pectinmetilesteras y β -galactosidasa. Por otro lado, Chia-Ling *et al.*, (2007) realizaron en su trabajo la mejora de calidad de piñas frescas cortadas con ácido ascórbico almacenadas en atmósferas modificadas durante 7 días a 4 °C y encontraron una disminución de la firmeza en todos sus

tratamientos. En este trabajo se obtuvieron valores menores comparados con otros estudios que tuvieron menor tiempo de almacenamiento.

3.8.2 Análisis de perfil de textura

La textura es un parámetro muy importante en la calidad final del producto, la cual es una limitante importante para que el consumidor decida adquirir o no ese producto; con el análisis de perfil de textura se miden diferentes parámetros como masticabilidad, gomosidad, dureza, cohesión, elasticidad, firmeza, entre otros. Estos ensayos no sólo cuantifican la textura de los alimentos, sino que también evalúan la coherencia de los procesos de fabricación y su calidad final. Para evaluar la textura se realizó una prueba de análisis de perfil de textura, donde los parámetros que se tomaron en cuenta fueron dureza, fracturabilidad y cohesividad.

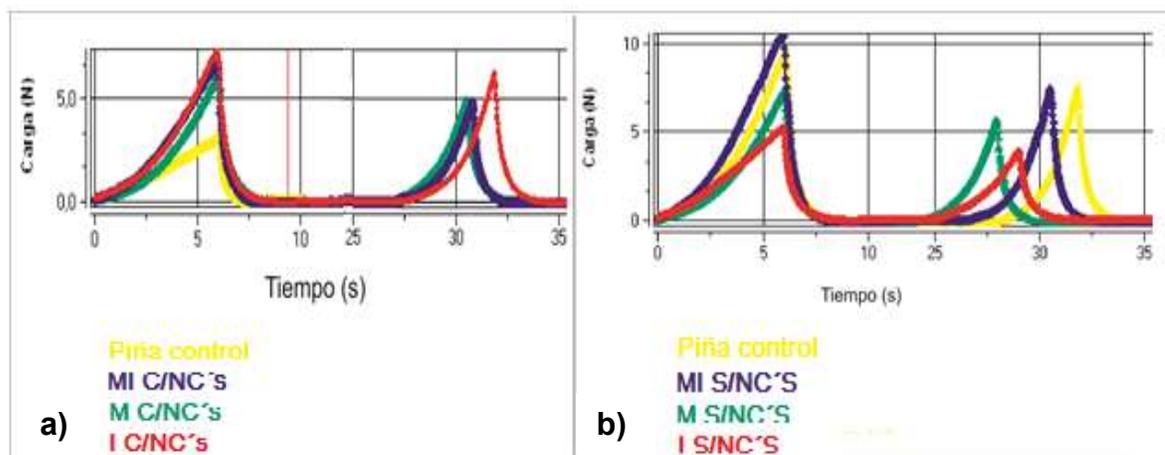


Figura 21. Gráfico comparativo del análisis de perfil de textura de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C. a) Tratamientos con nanocápsulas de aceite esencial de lima. b) Tratamientos sin nanocápsulas de aceite esencial de lima.

En la **Figura 21** se presenta un gráfico comparativo del perfil de textura realizado para los diferentes tratamientos, en el cual se puede apreciar que los tratamientos con nanocápsulas tienen comportamientos similares a comparación de los tratamientos sin nanocápsulas que presentan más variaciones. Estos comportamientos se analizaran a continuación para cada parámetro evaluado.

Dureza

La dureza en frutos es de los factores más importantes junto con la firmeza en la elección de un producto fresco cortado; en la **Figura 22** se muestra el comportamiento de la dureza durante las 4 semanas de almacenamiento para todos los tratamientos de piña fresca cortada.

Se observa que la mayor pérdida de dureza se presenta en las muestras control donde hubo una disminución de 6 a 1 N hasta el día 10, después de ese día la dureza presentó un aumento de 1 N hasta el final del almacenamiento. Para el caso de las muestras con nanocápsulas los tratamientos con inulina y la mezcla mucílago de nopal-inulina no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), estas muestras tuvieron una disminución de 5 a 2 N aproximadamente hasta el día 7, después de ese día se tuvieron menos variaciones en la dureza manteniendo el valor. La muestra tratada con mucílago de nopal presentó una disminución hasta el día 7 y un ligero aumento de la dureza de 1 N y finalmente la dureza volvió a disminuir hasta llegar a 1 N. Estas variaciones durante la experimentación, como ya se había mencionado anteriormente, se deben a que las piñas son diferentes y las fibras de la piña cambian entre muestra y muestra.

Las muestras sin nanocápsulas mostraron diferencias entre los tres tratamientos, presentando un mejor comportamiento el tratamiento de mezcla de mucílago de nopal-inulina. Los otros dos tratamientos sin nanocápsulas tuvieron variaciones durante su almacenamiento, pero siguiendo una tendencia a disminuir. Los tratamientos de la mezcla de mucílago de nopal-inulina promueven un medio adecuado de conservación para las piñas, debido a que al utilizar estos dos polisacáridos ayudan a mantener la estructura, evitando una rápida degradación de la piña y por ende retardando la pérdida de textura del producto; con lo anterior se deduce que la utilización de nanocápsulas en el líquido de cobertura mantiene por más tiempo esta característica textural.

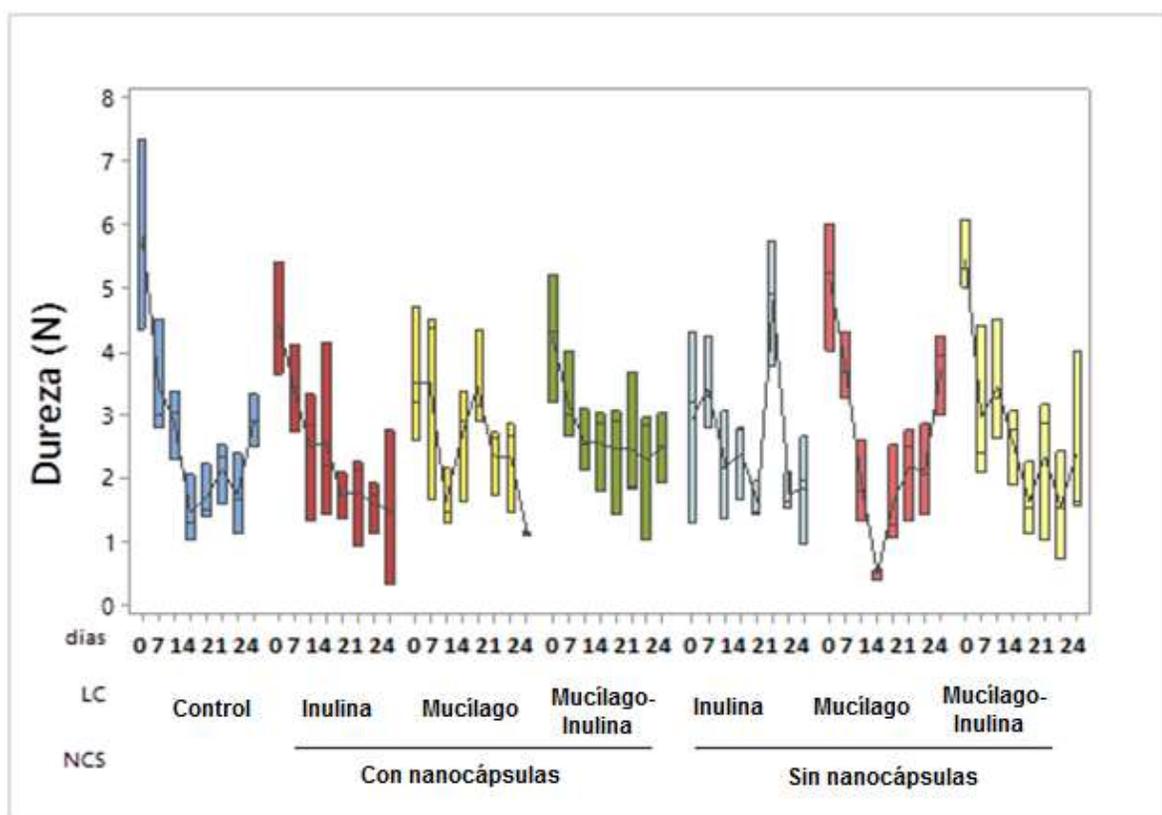


Figura 22. Gráfico de caja para dureza de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C.

Se han encontrado reportados diferentes valores de dureza para piña, que en mayor medida dependen del estado de madurez de la piña y del tratamiento que se utilice para su conservación. Montero *et al.*, (2008) estudiaron el efecto del envasado en la calidad de piñas frescas cortadas almacenadas a 5 °C durante un tiempo de 20 días, donde las piñas presentaron variaciones en todos los días de muestreo para este parámetro, explicando que este comportamiento se debe a que las características estructurales de la piña nunca serán uniformes e iguales.

Fracturabilidad

El parámetro de fracturabilidad se considera como el esfuerzo máximo que un alimento podrá soportar antes de que se fracture, lo cual es punto muy importante al momento de vender un producto, ya que contribuye para dejar una buena referencia al consumidor. En la **Figura 23** se muestran los cambios de fracturabilidad para las piñas frescas cortadas obtenidos a partir del análisis de perfil de textura.

Este parámetro disminuye conforme pasa el tiempo de almacenamiento para todas las muestras. Se observa que las muestras tuvieron diferentes comportamientos. Las muestras que fueron tratadas con nanocápsulas expresan menos variaciones a comparación con las muestras que no contenían nanocápsulas; sin embargo, tienen diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0.05$); para el caso de la inulina con nanocápsulas tuvo una disminución de 12 unidades hasta el día 14, después de ese día se tuvo un aumento de 6 unidades al final de las 4 semanas. El tratamiento de mucilago de nopal presentó más variaciones entre los datos teniendo un intervalo de 15 a 3 unidades. Finalmente el tratamiento de la mezcla de mucílago de nopal-inulina fue el que obtuvo menor

variación mostrando una disminución de 8 unidades hasta el día 7, después mantuvo un comportamiento constante.

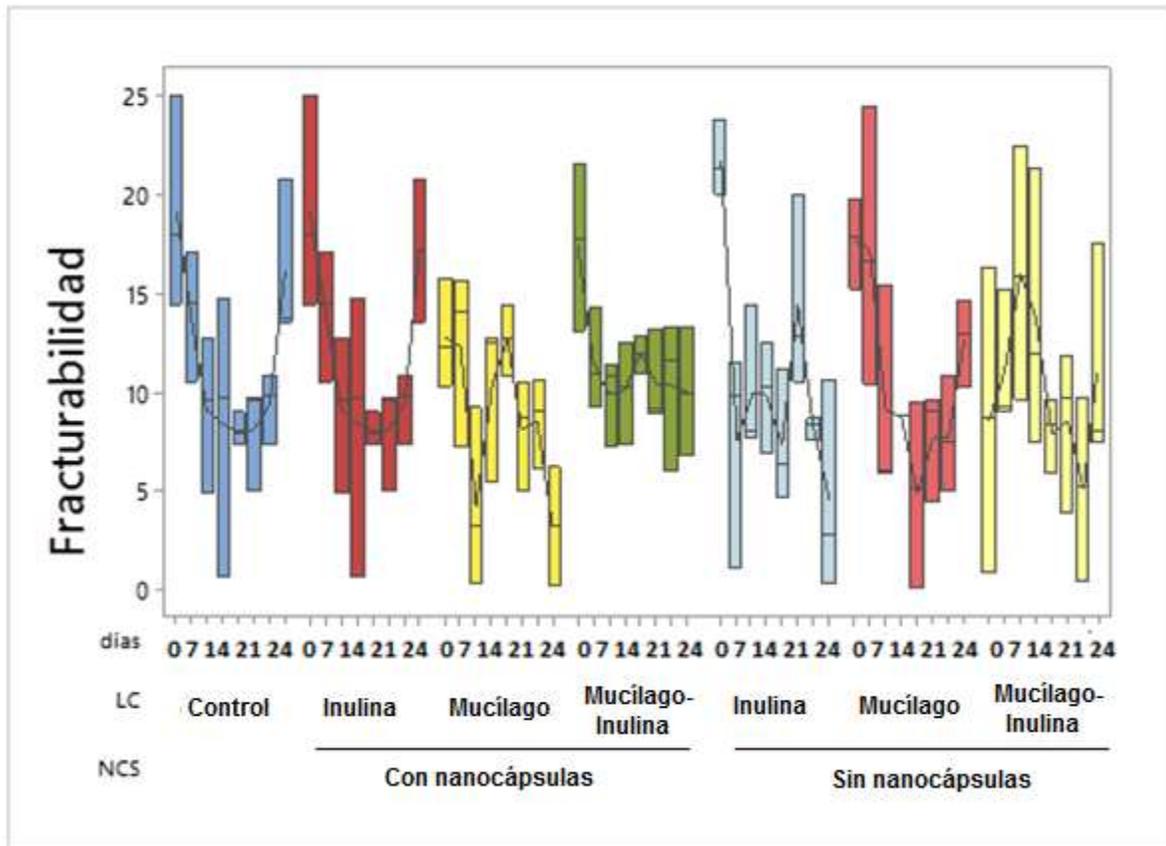


Figura 23. Gráfico de caja para fracturabilidad de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C.

Las muestras que no tenían nanocápsulas también presentaron diferentes comportamientos, en el tratamiento de inulina al día 3 se observa una disminución notoria de la fracturabilidad de 16 unidades, después de ese día durante el almacenamiento, mostraron diferentes disminuciones y aumentos, las cuales estuvieron dentro de un intervalo de 15 a 4 unidades aproximadamente. El tratamiento de mucilago de nopal, presentó un mejor comportamiento. La fracturabilidad disminuyó 13 unidades hasta el día 10, los siguientes días hubo un

aumento de 6 unidades: y el tratamiento de la mezcla de mucílago de nopal-inulina mostró un comportamiento muy variado, obteniendo una fracturabilidad máxima de 15 unidades y mínima de 5 unidades, teniendo una disminución de 10 unidades. Las variaciones en este parámetro son causadas principalmente por las fibras de la piña, debido a que su estructura cambia entre las muestras y al momento de realizar la prueba las fibras influyen en la penetración afectando el valor.

Las muestras control tuvieron una disminución de 12 unidades hasta el día 14, luego de ese día hubo un aumento 7 unidades. Estas variaciones se atribuyen, como ya se ha mencionado anteriormente, a las características estructurales de la piña, ya que las muestras no son uniformes y cambian entre sí. Aunque los resultados obtenidos presentan notorias variaciones, se observa que la muestra tratada con la mezcla de mucílago de nopal-inulina con nanocápsulas, presentó el mejor comportamiento con una menor disminución de 7 unidades en este parámetro, pero para deducir si es efectivo el tratamiento al final, los datos se deben contrastar con los resultados de dureza para mencionar que tratamiento mantiene mejor esta característica textural.

Cohesividad

Otro parámetro analizado es la cohesividad, que representa una medida del grado estructural del material, en el caso de los frutos es la magnitud de la fuerza con la que se encuentran unidas o enlazadas las células que forman la estructura interna del fruto (Benítez *et al.*, 2015). En la **Figura 24** se muestran los valores obtenidos para cohesividad, cuyo valor se incrementó conforme pasaban los días de almacenamiento.

Las muestras tratadas con nanocápsulas tuvieron menor variación de cohesividad. Entre estas tres muestras no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), encontrándose el valor entre 0.25 y 0.50; los tratamientos con inulina y la mezcla de mucílago de nopal-inulina tuvieron un incremento de la cohesividad hasta el día 21 de 0.2 unidades, después de ese día se presentó una disminución de 0.05 unidades, donde la textura de la piña empezó a tener más cambios significativos debido a que la fuerza intracelular con la que las células del tejido se mantenían unidas iba disminuyendo, produciendo ablandamiento de las paredes celulares (Denoya *et al.*, 2015) y por ende perdiendo firmeza el tejido. La muestra de mucílago de nopal exhibió algunas variaciones en los datos, pero manteniéndose en el intervalo mencionado.

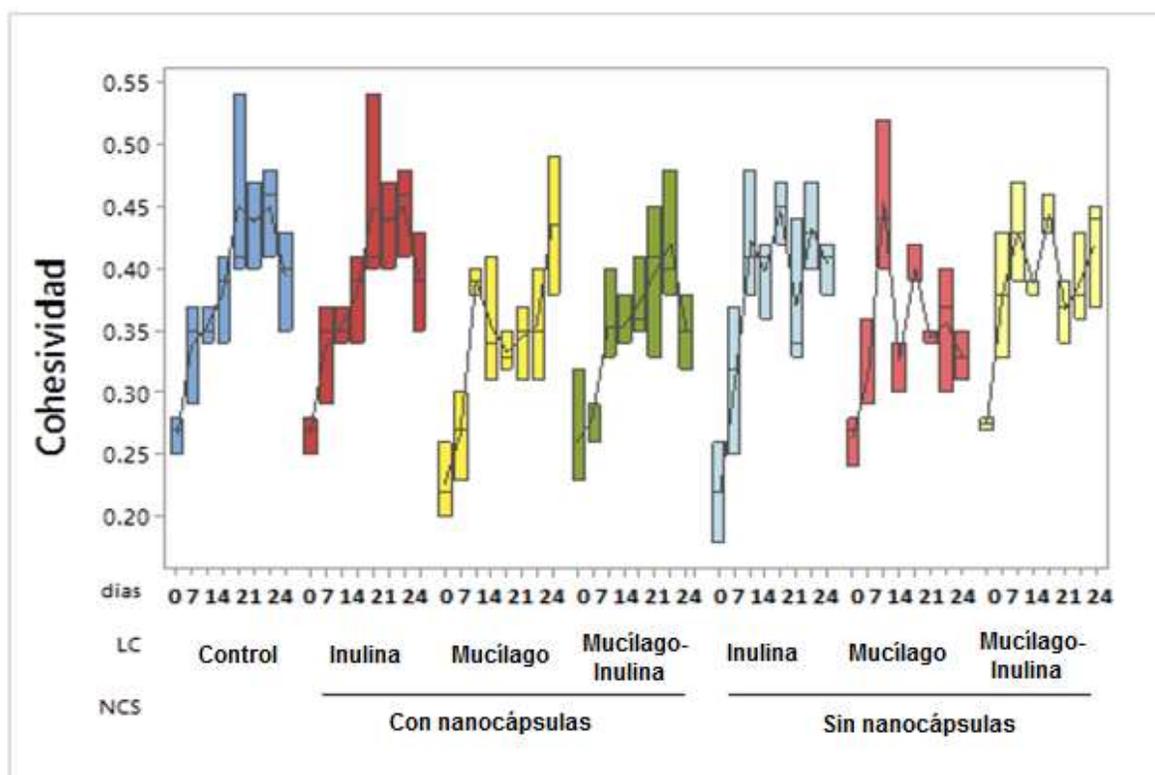


Figura 24. Gráfico de caja para cohesividad de todos los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C.

Los muestras sin nanocápsulas tuvieron comportamientos con más variaciones; las muestras tratadas con mucílago de nopal y la mezcla de mucílago de nopal-inulina, mostraron un comportamiento muy similar donde los valores obtenidos van de 0.25 a 0.45 al día 7 de almacenamiento. Se observa que hubo un incremento de la cohesividad, luego se tienen variaciones de los datos hasta el final del almacenamiento. El tratamiento de inulina tuvo un intervalo de valores de 0.20 a 0.44, e igual al séptimo día de almacenamiento se aprecia el incremento de este parámetro, los días posteriores a pesar de que existen variaciones el valor se mantiene constante.

En la **Figura 24** también se aprecia que al utilizar las nanocápsulas en los tratamientos se mantiene por mayor tiempo las células unidas y a pesar de que si existe un ablandamiento de los tejidos, los polisacáridos utilizados (mucílago de nopal e inulina) ayudan a la piña a mantener su estructura sin deformarse, esto se puede visualizar de igual manera en el análisis de imágenes realizado (**Cuadro 6**, páginas 68 y 69), donde no se observan cambios visibles en la estructura de la superficie de la piña.

3.9 Evaluación de turbidez

La turbidez es la característica o medida del grado de claridad u opacidad de un líquido, debido a la presencia de partículas en suspensión, también conocida como la propiedad óptica de una suspensión que provoca que la luz sea dispersada antes que transmitida a través de la sustancia (Sawyer, 1994). La **Figura 25** muestra los valores obtenidos de porcentaje de transmitancia durante las 4 semanas de almacenamiento; se decidió utilizar esta escala para la turbidez debido a que la transmitancia de luz que proporciona un espectrofotómetro en soluciones está relacionada con la concentración de sólidos presentes en el

medio, con lo que ayudara a verificar si existe un intercambio de sólidos entre la piña y el líquido de cobertura.

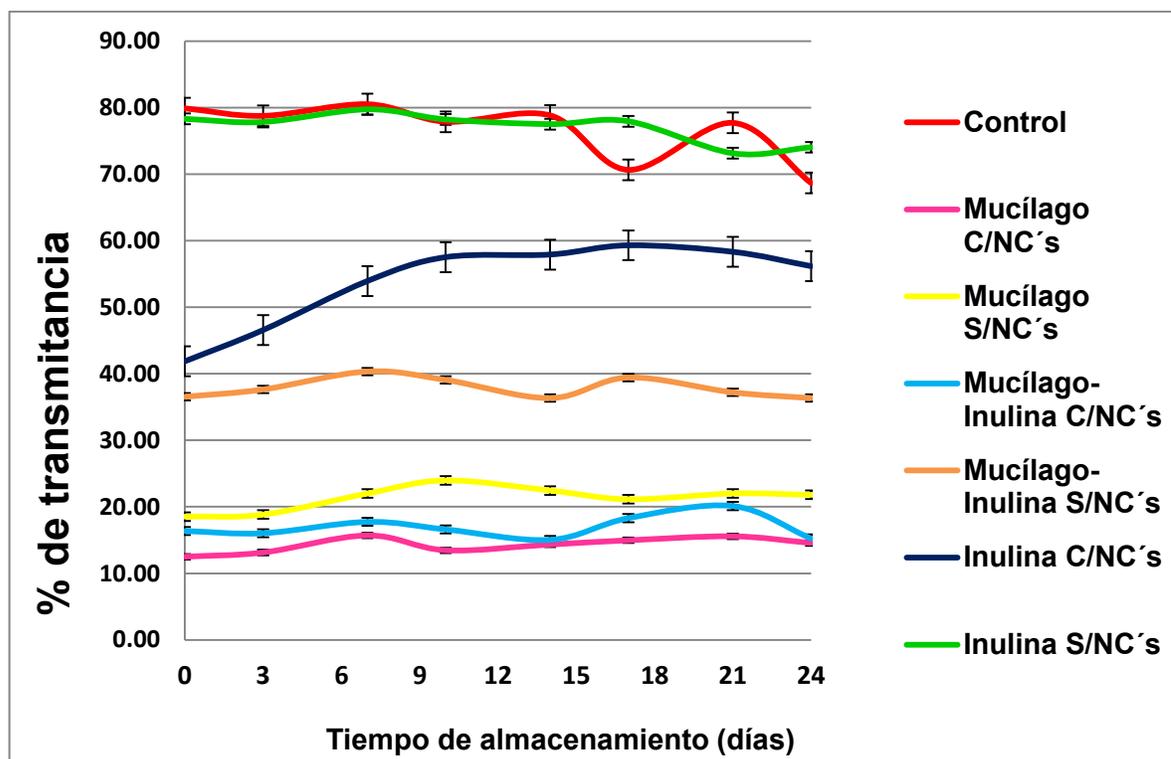


Figura 25. Gráfico para porcentaje de transmitancia de todos los líquidos de cobertura de los tratamientos de piña fresca cortada durante el almacenamiento a 8 °C.

Como se observa la turbidez tuvo comportamientos muy diferentes para cada muestra, entre todos los tratamientos tuvieron diferencias estadísticamente significativas debido a que la composición del líquido era distinta, confiriéndole ciertas características como cierta opacidad y viscosidad. En función del tiempo no se presentaron diferencias entre los tratamientos. Los líquidos que contenían mucílago de nopal, ya sea solo o en la mezcla mucílago de nopal-inulina, con y sin nanocápsulas tiene una menor transmitancia, deduciendo que son más turbios, en comparación de los líquidos que tenían inulina solamente, esto atribuido a las

características que le proporciona el mucílago de nopal, como es la alta viscosidad al líquido, ya que forma más enlaces y evitan que la luz pase. Las nanocápsulas le dieron al líquido de cobertura una mayor turbidez en todos los casos debido a que las nanocápsulas son un aceite que forman una emulsión y al ser liberado incrementa la propiedad de opacidad en el líquido de cobertura.

Las muestras tratadas con mucílago de nopal con nanocápsulas presentaron un porcentaje de transmitancia en un intervalo de 13 al 16 % manteniendo el valor constante, en el caso de las muestras de mezcla mucílago de nopal-inulina con nanocápsulas tuvieron un intervalo de 17 a 20 %, atribuyendo a que en el líquido no se tuvieron muchas partículas sólidas ajenas a la composición del líquido inicialmente. Para las muestras de inulina con nanocápsulas existió una disminución más notoria de este parámetro de 60 a 44 %, debido a que en el líquido se tuvieron más partículas sólidas, las cuales pueden ser fibras de la piña que se desprendieron, por lo que al momento de hacer las mediciones se pueden tener estas fibras, considerando que esas muestras contenían el mayor número de partículas sólidas, aumentando la turbidez del líquido de cobertura.

Para los tratamientos sin nanocápsulas, las muestras tratadas con mucílago de nopal y la mezcla mucílago de nopal-inulina tuvieron un comportamiento más constante sin diferencias significativas ($p \leq 0.05$), teniendo un intervalo de 18.5 a 22 % y 36 a 39.5 % respectivamente; las muestras de inulina sin nanocápsulas mostraron una disminución del porcentaje de transmitancia de 78.3 a 74 %, pero no tuvo cambios significativos. El control presentó una disminución de este parámetro de 13.5 % con respecto a la condición inicial. Deduciendo que la utilización de estos dos polisacáridos (mucílago de nopal e inulina) funcionan como barrera para el paso de sólidos hacia el líquido, manteniendo la estructura de la piña y disminuyendo el desprendimiento de fibras de la piña.

CONCLUSIONES

Es posible llevar a cabo la conservación de piña fresca cortada incorporándola a un líquido de cobertura compuesto de polisacáridos y nanocápsulas, mostrándose que el grado de conservación depende de la composición del líquido de cobertura, siendo además importante el control del almacenamiento refrigerado.

El análisis superficial de imágenes permitió establecer que la piña fresca cortada no mostró cambios aparentes de aspecto durante el tiempo de almacenamiento. La pérdida de peso fue retardada en mayor medida por la utilización de los polisacáridos mucílago de nopal e inulina, así como la incorporación de nanocápsulas. Todos los tratamientos mantuvieron estas propiedades alargando su vida útil por más de un mes de almacenamiento.

El empleo de un líquido de cobertura con base en la mezcla mucilago-inulina contribuyó a mantener por más tiempo la textura de piña fresca cortada, la que se favoreció por la incorporación de nanocápsulas al sistema.

Los tratamientos que utilizaron nanocápsulas mostraron los mejores comportamientos, pero el tratamiento que logro mantener por más tiempo las propiedades de la piña fue el de la mezcla mucílago de nopal-inulina con nanocápsulas, por lo que conservar piña fresca cortada en líquidos de cobertura a bajas temperaturas es una excelente alternativa para preservar las propiedades de la piña fresca y alargar su vida útil.

RECOMENDACIONES

- Complementar el estudio de conservación de piña fresca cortada por más tiempo y a diferentes temperaturas de almacenamiento. También utilizar otras frutas para ver si tiene el mismo efecto conservarlas en líquidos de cobertura.
- Utilizar diversas concentraciones de los polisacáridos (mucílago de nopal e inulina) utilizados para poder evaluar hasta que cantidad es buena o tiene aspectos negativos para la conservación de piña fresca cortada. Además de seguir manteniendo sus propiedades fisicoquímicas y texturales por más tiempo.
- Realizar la evaluación microbiana para conocer si tiene crecimiento bacteriano de algún patógeno dañino para la salud. Además de realizar cuantificaciones de la actividad de la enzima pectinmetilesterasa y poligalacturonasa para conocer de manera más profunda el efecto de utilizar líquidos de cobertura en la textura de piña fresca cortada.
- Buscar alternativas para mantener el color de la piña, ya que debido a la utilización de ácido cítrico las piñas van sufriendo un blanqueamiento que podría causar que el consumidor no comprara ese producto.
- Mejorar el aspecto del líquido de cobertura para el caso del mucílago de nopal, ya que visualmente es opaco y no es tan llamativo para los consumidores.

REFERENCIAS

- Abbas, K., Saleh, A., Mohamed, A. & Mohdazhan, N. (2009). The recent advances in the nanotechnology and its applications in food processing: A review. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(3 & 4), 14-17.
- Acevedo, B. A., Ricciardo, G. L., Dellacassa, E. & Avanza, J. R. (2006) Componentes volátiles del aceite esencial de Lima Rangpur. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Universidad Nacional del Nordeste. 1-3.
- Aguilar Chávez, C. (2007). *Optimización del proceso de modificación del almidón de maíz ceroso por extrusión y el uso de mezclas de almidones modificados con mucílago de nopal para la encapsulación de aceite esencial de naranja empleando el secado por aspersion*. Pachuca de Soto, Hidalgo. Tesis de Licenciatura en Química en Alimentos, Universidad Autónoma de Estado de Hidalgo.
- Almeida, D. P. F. & Huber, D. J. (2007). Polygalacturonase-mediated dissolution and depolymerization of pectins in solutions mimicking the pH and mineral composition of tomato fruit apoplast. *Plant Science*. 172, 1087-1094.
- Álvarez, O. C., Díaz, S. C., Ramírez, V. D. & Yáñez, F.J. (2007). Secado por Aspersion de Mucílago de Nopal. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Departamento de Bioingeniería. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. IPN. Guanajuato, Gto. Pág. 277.

- Anzaldúa, A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y práctica. Zaragoza: Acribia, S.A.
- AOAC. (2014). Official Methods of Analysis. 15th edition. Washington D. C.
- Avendaño, R. G. C., López, M. A. & Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(1), 87-96.
- Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H., Tan, C. & Adzahan, N. (2014). Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 88, 1-7.
- Barreiro, P. & Ruíz-Altisent, M. (1996). Propiedades mecánicas y calidad de frutos. Definiciones y medidas instrumentales. *Fruticultura Profesional*. 77, 48-51. Consultado el 27 de Noviembre del 2014, http://oa.upm.es/5379/1/Barreiro_17.pdf
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D. & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils— A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 446–475.
- Beaulieu, J. C. & Baldwin, E. A. (2001). Flavor and aroma of fresh-cut fruits and vegetables. En: O. Lamikanra (Ed.). Fresh cut fruits and vegetables: Science, Technology and Market. CRC Press: Boca Raton, FL, EE.UU. pp. 391-426.
- Benítez, S., Achaerandio, I., Pujola, M. & Sepulcre, F. (2015). Aloe vera as an alternative to traditional edible coatings used in fresh-cut fruits: A case of study with kiwifruit slices. *Food Science and Technology*, 61, 184-193.

- Benítez, S., Soro, L., Achaerandio, I., Sepulcre, F. & Pujolá, M. (2014). Combined effect of a low permeable film and edible. *Journal of Food Process Engineering*, 37, 91-99.
- Bourne, M. C. (1994). Converting from empirical to rheological test on foods- it's a matter of time. *Cereal Foods World*, 39 (11), 37-39.
- Brennan, M., Le Port, G. & Gormley, R. (2000). Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technology/FST*, 33(4), 283-289.
- Briones, V. & Aguilera, J.M. (2005). Image analysis of changes in surface color of chocolate. *Food Research International*, 38, 87-94.
- Budu, A. S., & Joyce, D. C. (2003). Effect of 1-methylcyclopropene on the quality of minimally processed pineapple fruit. *Animal Production Science*, 43(2), 177-184.
- Cáceres, I., Mulkay, T., Rodríguez, J. & Paumier, A. (2014). *Conservación de productos hortofrutícolas*. Instituto de Investigaciones en fruticultura Tropical. Consultado el 20 de Diciembre del 2014. <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5012/cuf0127s.pdf>
- Cerrato, I. (2013). *Estudio de mercado para la comercialización de piña MD2*. Secretaria de Agricultura y Ganadería, Programa Nacional de Desarrollo Agroalimentario, México, Consultado el 20 de Septiembre del 2014. pronagro.sag.gob.hn/dmsdocument/164.
- Chellaram, C., Murugaboopathi, G., John, A. A., Sivakumar, R., Ganesan, S., Krithika, S. & otros. (2014). Significance of Nanotechnology in Food Industry. *APCBEE Procedia*, 8, 109-113.

- Chia-Ling, L., Cheng-Kuang, H. & Ming-Mei, H. (2007). Improving the quality of fresh-cut pineapple with ascorbic acid/sucrose pretreatment and modified atmosphere packaging. *Packaging Technology and Science*, 20, 337-343.
- Chisholm, M. G., Wilson, M. A & Gaskey, G. M. (2003). Characterization of aroma volatiles in key lime essential oils (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Flavour and Fragrance Journal*, 18(2), 106-115.
- Cortez, V. W. R., Pizato, S., Andreghetto de Souza, J. & Prentice, C. (2014). Using edible coatings from Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) protein isolate and organo-clay nanocomposite for improve the conservation properties of fresh-cut 'Formosa' papaya. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22, 197-202.
- Crispín, I. G., Lobato, C. C., Espinoza, A. H., Álvarez, R. J. & Vernon, C. E. (2014). Effect of inulin and agave fructans addition on the rheological, microstructural and sensory properties or reduced-fat stirred yogurt. *LWT-Food Science and Technology*, 30, 1-7.
- Crittenden, R. & Playne, M. (1996). Production, properties and applications of food-grade oligosaccharides. *Trends Food Science Technology*, 7, 353-361.
- Denoya, G., Vaudagna, S. & Polenta, G. (2015). Effect of high pressure processing and vacuum packaging on the preservation of fresh-cut peaches. *food Science and Technology*, 62, 801-806.
- Díaz Robledo, J. (2004). *Descubre los frutos exóticos*. Madrid, España: Ediciones Norma.

Duque, C. A., Giraldo, G. G. & Mejía, D. C. (2007). Variación del color en mango, mora y uchuva en diferentes tratamientos de deshidratación osmótica. Universidad de Quindío. *Revista de Investigaciones*, 17, 19-26.

Food Agricultural Organization of the United Nations (FAO). (2003). Code of hygienic practice for fresh fruits and vegetables CAC/RCP, el línea. Consultado el 28 de Septiembre del 2014. <http://www.codexalimentarius.net/web/standard>.

Food Agricultural Organization of the United Nations (FAO), (2014). Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, Departamento de Agricultura. Consultado el 21 de Diciembre del 2014. <http://www.fao.org/docrep/T0073S/T0073S03.htm>

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_051s.pdf.

Franck, A. (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87, 287-291.

García, P. A., Muñiz, B. S. Hernández, G. A., González, L. & Fernández, V. D. (2013). Analysis the Osmotic and Hot air dehydration kinetic of pineapple fruit (Ananas Comosus, Cayena Lisa variety). *Postharvest: Biology and Technology*, 22 (1), 62-69.

Garrett, E.H. (1998). Fresh-cut produce. Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods. *Aspen Publishers*. Maryland, E.U., 264 pp.

- Gil, A. (2010). *Tratado de Nutrición: Composición y Calidad Nutritiva de los alimentos* (2 ed.). Madrid, España: Medica Paramericana.
- González, A. G., Monroy, G. I., Goycolea, V. F., Díaz, C. M. & Ayala, Z. (2005). Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. Simposium nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. *Vegetales frescos cortados*. 1, 121-133.
- González-Aguilar, G. A., Ruíz-Cruz, S. Cruz-Valenzuela, R., Rodríguez-Felix, A. & Wang, C.Y. (2004). Physiological and quality changes of fresh-cut pineapple treated with antibrowning agents. *Food Science and Technology*, 37, 369-376.
- Gorny, J.R. (2001). Food safety guidelines for the fresh-cut produce industry. 4th edition. International Fresh-cut Produce Association. Arlington, E.U.: 216 pp.
- Hernández, V. C. E. (2009). *Acción y efectos de la polifenoloxidasa en alimentos*. Monografía de Química Industrial. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Veracruz. Consultado el 22 de Diciembre del 2014. <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32464/1/hernandezvaldez.pdf>
- Hernández, Y., González, M., & Lobo, M. G. (2007). Importancia del grado de madurez en el procesado mínimo de frutas. *V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones (S6-O203)*. Universidad Politécnica de Cartagena (pp. 837-847).
- Hong, K., Xu, H., Wang, J., Zhang, L., Hu, H., Jia, Z., Gu, H., He, Q. & Gong, D. (2013). Quality changes and internal browning developments of summer pineapple fruit during storage at different temperatures. *Scientia Horticulturae*, 151, 68-74.

- Kader, A. A. Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha de piña. Indicadores básicos. Consultado el 27 de Septiembre del 2014. <http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Pina/>
- Karakurt, Y. & Huber, D. J. (2007). Characterization of wound-regulated cDNAs and their expression in fresh-cut intact papaya fruit during low-temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*. 44, 179-183.
- Konopacka, D. & Plochanski, W. (2004). Effect of storage conditions on the relationship between apple firmness and texture acceptability. *Postharvest Biology and Technology*, 32(2), 205-211.
- Lacoulonche, F., Gamisans, F., Chauvet, A., García, M.L., Espina, M. & Egea, A. (1999). Stability and in vitro drug release of flurbiprofen-loaded poly- ϵ -caprolactone nanospheres. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 25(9), 983–993.
- Lan, C. & Umezuruike, L. O. (2013). Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed-A review. *Journal of Food Engineering*, 119, 497-507.
- Lanciotti, R., Gianotti, A., Patrignani, F., Belletti, N., Guerzoni, M. & Gardini, F. (2004). Use of natural aroma compounds to improve shelf-life and safety of minimally processed fruits. *Trends in Food Science & Technology*, 15 (3 & 4), 201-108.
- Lemoine, M.J. & Solis, V.R. (1980) Efecto de la refrigeración y del estado de madurez en la vida y almacenamiento de la piña (*Ananas comosus*) variedad Cayena lisa, México, Tesis de Licenciatura, UNAM, pp. 135.

- Lenart, A., Greda, K. & Ciurzynska, A. (2014). Effect of pre-treatment conditions on content and activity of water. *Food Science and Technology*, 59, 1075-1081.
- Llabot, J. M., Palma, S. D. & Allemandi, D. A. (2008). Nanopartículas poliméricas sólidas. *Farmacotecnia*. 53, 40-47. Consultado el 22 de Enero del 2015. <http://www.facaf.org.ar/main/revista/numeros/n53/farmacotecnia.pdf>.
- Lota, M. L., de Rocca, S. D., Tomi, F. Jacquemond, C. & Casanova, J. (2002). Volatile components of peel and leaf oils of lemon and lime species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 796-805.
- Madrigal, L. & Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57, 387-396.
- Majdoub, H. R. (2001). Prickly pear nopals pectin from *Opuntia ficus-indica* physico-chemical study in dilute and semi-dilute solutions. *Carbohydrate Polymers*, 46, 69-79.
- Mantilla, N., Castell-Perez, M.E., Gomes, C. & Moreira, R.G. (2013). Multilayered antimicrobial edible coating and its effect on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *LWT - Food Science and Technology*, 51, 37-43.
- Marrero, A. & Kader, A. (2006). Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 163-168.
- Martínez-Ferrer, M., Harper, C., Pérez-Muntoz, F., & Chaparro, M. (2002). Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *Journal of Food Science*, 67(9), 3365-3371.

- Masson, V., Maurin, F., Devissaguet, J.P. & Fessi, H. (1996). Stability of poly (epsilon-caprolacton) nanospheres in sterile aqueous-media, *International Journal of Pharmaceutics*. 139(1-2), 113-123.
- McGravie, D. & Parolis, H. (1981 a). Methylation analysis of mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research*, 88, 305-314.
- McGravie, D. & Parolis, H. (1981 b). The acid-labile peripheral chains of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research*, 94, 57-65.
- Medina, .L., Brito De La Fuente, E., Torrestiana, B. & Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14, 417-424.
- Meza, J. & Velázquez, P. (2007). Inhibición del oscurecimiento enzimático y cambios texturales en manzana golden delicious tratada con jugo de piña. *Chapingo Serie Zonas Aridas*, 6, 1-7.
- Montero, C. M., Rojas, G. M. A. & Martín, B. O. (2008). Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biology and Technology*, 50, 182-189.
- Montero, C. M., Rojas, G. M. A., Soliva, F. R. & Martín, B. O. (2009). Tendencias en el procesado mínimo de frutas y hortalizas frescas. *Horticultura Internacional*. 69, 48-51.
- Montiel, R. M. (2009). *Mejora de la calidad de piña mínimamente procesada con tratamientos por irradiación UV-C*. México. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

- Mora, H., C. E., Fessi, H. & Elaissari, A. (2010). Polymer-based nanocapsules for drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*. 385, 113-142.
- Nadya, H., Zainal, S., Nadzirah, K., Siti Roha, A., Atikah, O. & Tengku, E. (2012). Physicochemical Properties Analysis of Three Indexes Pineapple (Ananas Comosus) Peel Extract Variety N36. *APCBEE Procedia*, 4, 115-121.
- NMX (2008), NMX-FF-028-SCFI-2008. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano- fruta fresca- piña (Ananas comosus var. comosus)- Especificaciones. México: SCFI 2014. Consultado el 3 de Octubre del 2014.
- Olivas, G. I., Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 45, 657–670.
- Ortiz, B. S (2003). *Secado con bomba de calor para la deshidratación de frutos*. Puebla. Tesis de Licenciatura Ingeniería Química con área en Ingeniería de Procesos. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas. http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/ortiz_a_bs/capitulo3.pdf.
- Ortiz-Estrada, C. H., Santoyo-Arreola, J. G., Luna-Bárceñas, G., Sánchez, I. C. & Vásquez-Medrano, R. C. (2007). Transición y estabilidad de fase de soluciones poliméricas en CO₂ supercrítico por turbidimetría. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 6 (3), 347-357.
- Oussalah, M., Caillet, S., Salmieri, S., Saucier, L. & Lacroix, M. (2004). Antimicrobial and antioxidant effects of milk protein-based film containing essential oils for the preservation of whole beef muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(18), 5598-5605.

- Palou, E., López-Malo, A., Barbosa-Cánovas, G. V., Welti-Chanes, J., Swanson, B. G. (1999). Polyphenoloxidase activity and colour of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Food Science*, 64, 42-45
- Pan, Y. & Zu, H. (2012). Effect of UV-C radiation on the quality of fresh-cut pineapples. *Procedia Engineering*, 37, 113-119.
- Pérez, C. L. (2003). *Aplicación de métodos combinados para el control y desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad Blanquilla) mínimamente procesada*. Valencia. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Consultado el 25 de Febrero del 2015. <http://202.28.199.34/multim/3126916.pdf>.
- Perpetua, Y. (2008). Sensory and rheological properties of reduced-fat rock buns and mango pie containing a papaya (*Carica papaya*) derived fat replacer, Tesis previa a la obtención del título de Máster en Ciencia y Tecnología Kwame Nkrumah, Kumasi, Ghana, pp 65-68.
- Quintanar, G. D., Alléman, 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.
- Quintanar, G., D., Zambrano, Z., M. L., Gutiérrez, C., E. & Mendoza, M., N. (2012). Impact of the emulsification-difusion method on the development of pharmaceutical nanoparticles. *Recent Patents on Drug Delivery and Formulation*, 6(3), 184-194.
- Rab, A., Sajid, M., Khan, N., Nawab, K., Arif, M. & Khattak, M. (2012). Influence of storage temperature on fungal prevalence and quality of citrus fruit (cv. blood red). *Pakistan Journal of Botany*, 44, 831-836.

- Rajamalar, C. G., Chandrika, M. & Chellaram, C. (2011). Chemical Synthesis and Structural Elucidation of Novel Compounds-Schiff Bases. *CiiT International Journal of Biometrics and Bioinformatics*, 3(10), 468-472.
- Rangel, M. M. & López, M. 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.
- Rocculi, P., Coccia, E., Romania, S., Sacchetti, G. & Dalla, R. M. (2009). Effect of 1-MCP treatment and N₂O MAP on physiological and quality changes of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 51, 371–377.
- Rocha A. & Morais, A. (2003). Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour changes. *Food Control*, 14(1), 13-20.
- Rodríguez, S. E. (2011). Natural antimicrobial agent use in the preservation of fruits and vegetables. *Ra Ximhai*, 7(1), 153-170.
- Rojas Grau, M., Soliva Fortuny, R., & Martín Belloso, O. (2009). Edible coating to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 20, 438-447.
- Rojas, M. & Gerschenson, L. (2001). Ascorbic acid destruction in aqueous model systems an additional discussion. *Journal Scientific Food Agriculture*, 81, 1433-1439.
- Sáenz, C., Sepúlveda, E. & Matsuhiro, B. (2004). Opuntia spp mucilages: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, 57, 275-290.

- SAGARPA. (2014). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Consultado el 2 de Octubre de 2014. <http://www.siap.gob.mx/pina/>.
- Salinas-Hernández, R., González Aguilar, G., Pirovani, M. & Ullín-Montejo, F. (2007). Modelling deterioration of fresh-cut vegetables. *www.ujat.mx/publicaciones/uciencia*, 23(2), 183-196.
- Sangsuwan, J., Rattanapanone, N. & Rachtanapun, P. (2008). Effect of chitosan/methyl cellulose films on microbial and quality characteristics of fresh-cut cantaloupe and pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 49, 403-410.
- Sawyer, C. N & P. L. McCarthy. Chemistry for Environmental Engineering, (3^a ed.), McGraw-hill, 1994, pp. 332.
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E. & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*, 68, 534-545.
- SIAP. (2014). *Base de datos de la producción agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Consultado el 1 de Octubre de 2014. <http://www.siap.gob.mx>.
- Silveira, A.C., Aguayo, E. & Artés, F. (2013). Shelf-life and quality attributes in fresh-cut Galia melon combined with fruit juices. *Food Science and Technology*. 50, 343-348.
- Sozer, N., & Kokini, J. (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology*, 27(2), 82-89.

- Toivonen, P. M. A. & Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 48, 1-14.
- Weiss, J., Takhistov, P. & McClements, D. (2006). Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*, 71, 107-116.
- Wu, Z. S., Zhang, M. & Adhikari, B. (2012). Application of high pressure argon treatment to maintain quality of fresh-cut. *Journal of Food Engineering*, 110, 395-404.
- Yam, K. L. & Papadakis, S. E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analysing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 137-142.
- Zambrano Z., M., Mercado S., E., Gutiérrez C., E., Castaño T., E. & Quintanar G., D. (2011). Optimizacion of nanocapsules preparation by the emulsion-diffusion method for food applications. *LWT-Food Science and Technology*, 44(6), 1362-1368.
- Zambrano, Z. M. (2013). *Desarrollo y caracterización de sistemas nanopartículados con ingredientes alimenticios como vectores para incrementar la vida útil de alimentos*. Querétaro. Tesis de Doctorado en Ciencias de los alimentos, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Zamora V. R. (2011). *Elaboración de un alimento funcional a base de Sccharomyces boulardii e inulina*. Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias en producción agrícola sustentable. Instituto Politécnico Nacional.

Zhong, Q., Tian, H. & Zivanovic, S. (2009). Encapsulation of fish oil in solid zein particles by liquid–liquid dispersion. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33, 255-270.