



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**APLICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS LIPÍDICAS
SÓLIDAS EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS
DURANTE LA CONSERVACIÓN DE GUAYABA
(*Psidium guajava L.*) FRESCA CORTADA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

MARICELA SOFÍA PÉREZ OLIVIER

ASESORES:

**IA. RICARDO MOISÉS GONZÁLEZ REZA
DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA**

CUAUTITLÁN IZCALLI EDO. 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.

El presente trabajo fue financiado por el proyecto PAPIIT IT200814: Desarrollo de sistemas nanoparticulados alimenticios para incrementar la vida útil y nutracéutica de frutas frescas cortadas y bebidas de frutas, de la Dirección de Asuntos del Personal académico de la UNAM.

Y El proyecto PE206664: Implementación de técnicas 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 Dirección de Asuntos del Personal académico de la UNAM.

ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	2
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO	5
1.1 Generalidades de la Guayaba	5
1.1.1 Definición	5
1.1.2 Propiedades	5
1.1.3 Maduración	6
1.1.3.1 Escala de Maduración	7
1.1.4. Cosecha	8
1.1.5 Postcosecha	9
1.1.6 Producción	10
1.1.7 Conservación de la Guayaba	10
1.2 Fruta Fresca Cortada	11
1.2.1 Parámetros de Calidad	12
1.2.1.1 Respiración	13
1.2.1.2 Pérdida de Peso	14
1.2.1.3 Color	15
1.2.2 Ácido Ascórbico	16
1.2.3 Fenoles Totales	17
1.2.4 Textura	19
1.2.5 Sólidos Solubles	20
1.2.6 Acidez y pH	20
1.3 Actividad Enzimática	21
1.3.1 Pectinmetilesterasas (PME)	22
1.4 Recubrimientos Comestibles	23
1.4.1 Componentes de los Recubrimientos	25
1.4.1.1 Glicerol	25

1.4.1.2 Goma Xantana	27
1.5 Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS)	29
1.5.1 Método de Ultra Alta Homogenización (Rotor/Estator)	31
1.6 Envases	32
1.7 Atmósferas Modificadas (MAP)	35
1.7.1 Atmósfera Modificada Pasiva	36
1.7.2 Atmósfera Modificada Activa	37
1.7.3 Generación de Atmósferas Modificadas	39
1.7.4 Ventajas de las Atmósferas Modificadas	39
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	40
2.1 Cuadro Metodológico	40
2.2 Problema	41
2.3 Objetivo General	41
2.4 Objetivos Particulares	41
2.5 Materiales y Métodos	42
2.5.1 Materiales	42
2.5.2 Material Biológico	42
2.5.3 Nanopartículas Lipídicas Sólidas	42
2.5.4 Tamaño de Partícula, Índice de Polidispersión y Potencial Zeta	43
2.5.5 Preparación y Aplicación del Recubrimiento	43
2.5.6 Envasado de la Guayaba	43
2.5.7 Actividades Preliminares	44
2.5.7.1 Acondicionamiento del Frigorífico	44
2.5.8 Métodos	44
2.5.8.1 Pérdida Fisiológica de Peso	44
2.5.8.2 pH	45
2.5.8.3 Sólidos Solubles	45
2.5.8.4 Acidez Titulable	45
2.5.8.5 Concentración de Oxígeno	45
	III

2.5.8.6 Consumo de Oxígeno	46
2.5.8.7 Colorimetría	46
2.5.8.8 Textura	47
2.5.8.9 Fenoles Totales	47
2.5.8.10 Pectinmetilesterasas	48
2.5.8.11 Ácido Ascórbico	48
2.5.8.12 Análisis Estadístico	49
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
3.1 Acondicionamiento de la Cámara de Refrigeración	50
3.2 Caracterización del Sistema submicrónico	50
3.3 Perdida Fisiológica de Peso	50
3.4 pH	54
3.5 Sólidos Solubles	56
3.6 Acidez Titulable	58
3.7 Concentración de Oxígeno	59
3.8 Velocidad de Consumo de Oxígeno	62
3.9 Colorimetría	64
3.10 Textura	71
3.11 Fenoles Totales	77
3.11.1 Contenido de Fenoles en relación al Color	80
3.12 Pectinmetilesterasas	82
3.13 Ácido Ascórbico	86
CONCLUSIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	92

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Partes de la guayaba	5
FIGURA 2. Escala de maduración de la guayaba	7
FIGURA 3. Estructura ácido ascórbico	16
FIGURA 4. Estructura de ácido gálico	18
FIGURA 5. Estructura de la pectinmetilesterasas	22
FIGURA 6. Propiedades de los recubrimientos en productos frescos cortados	24
FIGURA 7. Estructura del glicerol	26
FIGURA 8. El enlace de hidrogeno intermolecular formado durante la hidratación de las gomas en agua	28
FIGURA 9. Estructura de la goma xantana	28
FIGURA 10. Estructura de una nanopartícula lipídica solida	30
FIGURA 11. Principio de rotor/estator	32
FIGURA 12. Porcentaje de pérdida de peso en guayaba fresca-cortada recubierta a dos concentraciones de 5 y 10% de NLS almacenada en atmósfera modificada activa y pasiva envasada en polipropileno	52
FIGURA 13. Porcentaje de pérdida de peso en guayaba fresca-cortada recubierta a dos concentraciones de 5 y 10% de NLS almacenada en atmósfera modificada activa y pasiva envasada en polietileno de baja densidad	53
FIGURA 14. Efecto de la concentración de NLS sobre el pH de guayaba fresca-cortada almacenada en atmósfera modificada en envase de polipropileno y polietileno	55
FIGURA 15. Gráfica de cubo para el pH en el día 14 de almacenamiento de guayaba fresca-cortada en sus diferentes tratamientos de estudio	56
FIGURA 16. Cambios en sólidos solubles de guayaba durante el tiempo de almacenamiento: a) envase de polipropileno y b) envase de polietileno de baja densidad	57
FIGURA 17. Efecto de la concentración de NLS sobre el porcentaje de ácido cítrico presente en guayaba fresca-cortada almacenada en atmosfera modificada activa y pasiva en envase de polipropileno y polietileno de baja densidad	58
FIGURA 18. Porcentaje de oxígeno de guayaba fresca-cortada recubierta con dos	60

concentraciones de NLS (5 y 10%) envasada en atmosfera pasiva y activa, en envase de polipropileno y polietileno de baja densidad	
FIGURA 19. Gráfica de cubo para el porcentaje de oxígeno del día 14 de almacenamiento de guayaba fresca-cortada a diferentes condiciones	61
FIGURA 20. Concentración de oxígeno en las muestras durante el monitoreo de velocidad de consumo de oxígeno	62
FIGURA 21. Cromaticidad de guayaba fresca cortada en función a la atmosfera y concentración de NLS envasadas en polipropileno	65
FIGURA 22. Cambios en cromaticidad de guayaba fresca-cortada en función a la atmósfera y concentración del recubrimiento de NLS envasadas en polietileno	66
FIGURA 23. Luminosidad de la guayaba a diferentes condiciones de almacenamiento envasada en polipropileno y polietileno de baja densidad	67
FIGURA 24. Efecto de la concentración de NLS sobre el índice de IO de la guayaba fresca-cortada almacenada en atmósfera activa y pasiva en envase de polipropileno	69
FIGURA 25. Diagrama de Pareto para IO para el día 28 de almacenamiento de guayaba fresca cortada almacenada en refrigeración	70
FIGURA 26. Evolución de la firmeza en función de la concentración NLS, tipo de atmósfera y envase durante el almacenamiento de guayaba (1, 14 y 28 días)	72
FIGURA 27. Grafica de cubo para la firmeza en el día 18 de almacenamiento de guayaba fresca-cortada a diferentes condiciones de estudio	74
FIGURA 28. Módulo de Young de guayaba fresca-cortada recubierta con NLS almacenada en atmosfera modificada y envasada en polipropileno y polietileno (1, 11 y 25 días)	76
FIGURA 29. Diagrama de Pareto evaluado para el módulo de Young en el día 18	76
FIGURA 30. Efecto de la concentración de NLS sobre la cantidad de fenoles contenidos en guayaba fresca cortada envasada en diferentes atmosferas y almacenadas en polipropileno y polietileno (4, 18 y 28 días)	78
FIGURA 31. Grafica de cubo para el contenido de fenoles en el día 11 de almacenamiento de guayaba fresca-cortada a diferentes condiciones	79
FIGURA 32. Diagrama de Pareto para la cantidad de compuestos fenólicos en el día 28 de almacenamiento	79

FIGURA 33. Efecto de contenido de fenoles con relación al croma durante el tiempo de almacenamiento de guayaba a diferentes condiciones envasada en PP	80
FIGURA 34. Efecto de contenido de fenoles con relación al croma durante el tiempo de almacenamiento de guayaba a diferentes condiciones envasada en PEBD	81
FIGURA 35. Diagrama de Pareto sobre la actividad PME presente en guayaba fresca cortada a diferentes condiciones de almacenamiento en el día 7.	83
FIGURA 36. Grafica de Pareto del día 18 que representa los factores que tienen más influencia sobre la actividad PME	84
FIGURA 37. Relación entre la textura y la cantidad de PME contenida en los diferentes tratamientos de la guayaba envasados en PEBD	85
FIGURA 38. Gráfico de caja para ácido ascórbico para los días de almacenamiento refrigerado de 4, 14 y 28	87
FIGURA 39. Gráfico de cubos para ácido ascórbico en la guayaba (día 14)	88
FIGURA 40. Diagrama de Pareto para la concentración de ácido ascórbico en el día 18 de almacenamiento refrigerado	89

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Composición química de la guayaba	6
TABLA 2. Permeabilidad a diferentes gases de los diferentes materiales	33
TABLA 3. Diseño de experimentos factorial completo	49
TABLA 4. Tamaño de partícula, índice de polidispersión y potencial zeta de las nanopartículas lipídicas solidas	50
TABLA 5. Resultados para velocidad de consumo de oxigeno	63
TABLA 6. Color de las de guayabas fresca-cortada recubierta con 5% y 10% de NLS y almacenadas en atmosferas modificadas durante 28 días envasada en PP y PEBD	71

RESUMEN

El consumo de frutas frescas cortadas se ha incrementado en los últimos años, debido principalmente a sus propiedades nutrimentales ya que se ha demostrado que sus antioxidantes contribuyen a la prevención de enfermedades crónicas degenerativas. Sin embargo, las frutas frescas cortadas se deterioran a mayor velocidad que los productos intactos como resultado directo de las heridas asociadas al procesamiento. En este trabajo se evaluó el efecto de la aplicación de un recubrimiento a base de nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) comestibles, con matriz polimérica de goma xantana sobre los cambios físicos, fisicoquímicos, texturales y enzimáticos en guayaba fresca-cortada y envasada en atmósfera modificada.

Guayaba de la variedad Media China (*Psidium guajava L.*) fue adquirida en la central de abastos de Cuautitlán, México seleccionándola en función a su estado de madurez. Los parámetros de control que se monitorearon fueron pérdida fisiológica de peso, °Brix, pH, acidez titulable, consumo de oxígeno, cambios en firmeza y módulo de Young, parámetros de perfil de color; Luminosidad (L^*), Coordenada verde-rojo (a^*) y coordenada azul-amarillo (b^*) así como en la cromaticidad e índice de oscurecimiento, fenoles totales, actividad de las pectinmetilesterasas y concentración de ácido ascórbico de la guayaba fresca-cortada almacenada en atmósferas controladas y refrigerada a 7 °C. La significancia estadística de los tratamientos se estableció mediante un diseño factorial completo donde los factores independientes fueron la concentración de NLS (5 y 10 %), atmósfera (activa y pasiva) además de utilizar como envase dos materiales que fueron polipropileno (PP) y polietileno de baja densidad (PEBD). En función a los resultados el mejor tratamiento fue la aplicación de NLS en 5% de concentración, envasada en PP en atmósfera activa teniendo una menor variación de pérdida fisiológica de peso, contenido de fenoles totales y actividad de las PME, así como cambios en textura y parámetros de perfil de color.

INTRODUCCIÓN

La guayaba es una de las frutas más consumidas mundialmente y tiene los cultivos más grandes en Brasil, México e India y en otros países tropicales (Singh & Pal, 2008) tiene un color amarillo y la pulpa es de color crema o rosa, cuyo tiempo de producción desde la floración hasta la cosecha va de 100 a 150 días, cuando tienen un color verde-amarillo se cosechan para consumo nacional y cuando presentan un color verde intenso son cosechadas para exportación siendo los estados de Michoacán, Aguascalientes, Zacatecas y el Estado de México quienes tienen la mayor producción (Tzec, 2010). Las técnicas de manejo y el control del proceso de maduración son cruciales para el desarrollo de la industria de la guayaba (Bashir & Abu-Gouk, 2003).

Es una fruta muy importante para la dieta del ser humano ya que entre otras cosas, es de las frutas que ofrece una mayor cantidad de vitamina C y es una buena fuente de antioxidantes como carotenoides y compuestos fenólicos los cuales juegan un papel muy importante en la prevención de enfermedades crónico degenerativas (Singh, 2011). Además que es perecedera y la pérdida de estos compuestos es muy rápida después de la cosecha, lo que disminuye su valor nutritivo si no se toman medidas adecuadas para prevenir o disminuir esta pérdida.

Los cambios en el estilo de vida de los consumidores y un gran avance en la comercialización de las frutas han dado lugar a un notable incremento en la demanda de alimentos sanos, prácticos y listos para comer siendo los más convenientes las frutas frescas-cortadas, las cuales están definidas por la IFPA (International Fresh-cut Produce Association) como las frutas o verduras que han sido recortadas, peladas y/o cortadas siendo un producto totalmente utilizable, que posteriormente se empaqueta para así ofrecer a los consumidores nutrición, conveniencia y sabor, manteniendo la frescura. Son una innovación en la industria alimentaria aunque empiezan a tener importancia en el mercado debido a la aceptación del consumidor puesto que representan una alternativa

natural y práctica de alimentación (Alandes, *et al.*, 2009), estos productos al estar cortados favorecen la pérdida de color, sabor, compuestos nutricionales y otras características fisicoquímicas debido a que los productos frescos-cortados continúan de forma más rápida con los procesos metabólicos propios de la fruta, ya que aumentan su producción de etileno y la velocidad de respiración provocando la pérdida de calidad (González-Aguilar, *et al.*, 2010).

El uso de recubrimientos comestibles es una alternativa para prolongar la vida útil de la guayaba. Estos son una capa delgada de material comestible que es aplicada sobre la superficie del alimento para generar una barrera semipermeable a los gases, al vapor de agua y compuestos volátiles en las frutas recién cortadas; estos recubrimientos retardan la respiración, la pérdida de humedad y la senescencia de la fruta protegiendo al mismo tiempo el aroma, la textura y el color a lo largo del tiempo de almacenamiento (González-Aguilar, *et al.*, 2010).

El recubrimiento que se utilizó, está hecho a base de Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS) las cuales son lípidos coloidales de tamaño submicrónico es decir, con un tamaño menor a una micra y que han sido desarrolladas para encapsular y liberar componentes lipofílicos funcionales, las NLS son típicamente preparadas usando el método de homogenización caliente en donde un lípido y una solución acuosa de tensoactivo se homogenizan a una temperatura por encima del punto de fusión del lípido que da por resultado una nanoemulsión de aceite-agua, (Helgason, *et al.*, 2009; Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2013) las NLS tienen un gran potencial tecnológico en diferentes áreas incluyendo la industria alimentaria y la habilidad del recubrimiento para preservar la calidad de los frutos frescos-cortados dependen directamente de la composición del recubrimiento, el tipo de producto, el estado de madurez y las condiciones de almacenamiento.

Así mismo la aplicación del envasado en atmósferas modificadas (MAP) ofrece la posibilidad de extender la vida útil de los productos frescos-cortados, retardando la velocidad de respiración de productos, la degradación enzimática de sustratos complejos

(Oluwafemi, *et al.*, 2013), esta técnica de conservación es donde el aire que rodea el alimento dentro del paquete cambia a otra composición por medio de una mezcla de gases lo que genera una atmósfera pasiva (aquella que puede ser generada dentro del paquete en base al proceso natural de respiración del producto para alcanzar la composición de gas deseada a través del tiempo) o activa (es un proceso rápido de sustitución o desplazamiento de gas, para establecer una mezcla de gas deseada dentro del paquete, de esta manera las características iniciales del alimento pueden prolongarse) (Oluwafemi, *et al.*, 2013), de igual manera también depende de la permeabilidad al O₂ y al CO₂ del envase al adaptarse a la respiración del alimento para que forme una atmósfera modificada en equilibrio haciendo que la vida útil del producto incremente (Sandhya, 2010) estas características iniciales también dependen de varios factores como lo son la temperatura de almacenamiento, el tipo del producto y la permeabilidad del envase; es por ello que para este proyecto se buscó analizar el efecto que ejerce la combinación de estos factores sobre guayaba fresca cortada recubierta de NLS.

La guayaba es una fruta altamente consumida en México su naturaleza es muy perecedera y al estar cortada favorece un mayor deterioro y pérdida de nutrientes en menor tiempo, es por ello que en este proyecto se busca establecer el efecto que tiene el uso de un recubrimiento en base de nanopartículas lipídicas solidas (NLS) aplicado sobre guayaba fresca-cortada, envasada en atmosferas modificadas que fueron almacenadas en dos tipos de polímeros como envase (polipropileno y polietileno de baja densidad) durante 28 días a 7°C. Generalmente la guayaba almacenada a temperatura ambiente alcanza su completo estado de madurez entre los tres y cinco días después de su cosecha (Pascual-Pineda, *et al.*, 2010)

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1 GENERALIDADES DE LA GUAYABA

1.1.1 DEFINICIÓN

La guayaba (*Psidium guajava L*) es un fruto tropical, redondo, un poco achatado en los polos de entre 5-10 cm de diámetro y con un peso promedio entre 100-250 g, de aroma característico; consta de una piel delgada, pulpa carnosa de color crema, sabor dulce y textura arenosa teniendo en el centro una cavidad donde se almacenan las semillas (Singh, 2011). México es el segundo mayor productor de guayaba en el mundo (Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2013).

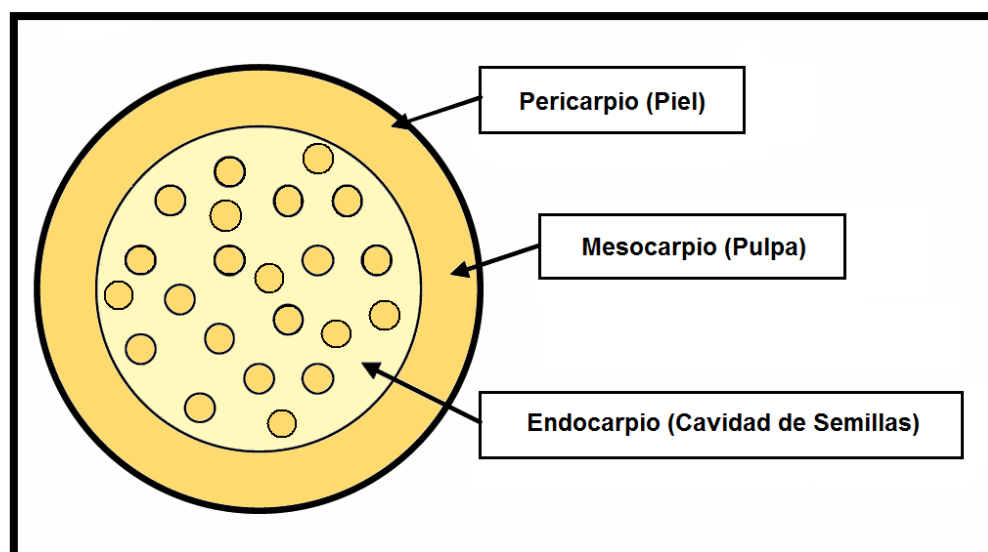


Figura 1. Partes de la guayaba (Marquina, *et al.*, 2008)

1.1.2 PROPIEDADES

Ha ganado gran importancia debido a su aroma agradable, buen sabor y alto valor nutritivo, excelente fuente de vitaminas A, C, tiamina, riboflavina así como de minerales

como calcio, hierro y fósforo (Medina & Pagano, 2003), es importante dar a conocer de manera amplia su contenido y los beneficios que se pueden derivar de su consumo, así como informar sobre los diferentes usos que puede tener (Sagarpa, 2009).

Tabla 1. Composición química de la guayaba (Medina & Pagano, 2003).

Componente	Contenido (%)
Humedad	84.3
Carbohidratos	15.7
°Brix	13.82
Azúcares Totales	11
pH	4.1
Cenizas	0.75
Vitamina C	248 mg

La guayaba destaca por su aporte de ácido ascórbico ya que está presente en cantidades mayores que en cualquier otro cítrico. El contenido de este ácido se encuentra mayor cantidad en la piel, posteriormente en la pulpa y menos en la cavidad de las semillas; varía entre 56 a 600 mg, aunque el intervalo en fruta casi madura oscila entre 350 a 400mg (Gaona, 2002).

1.1.3 MADURACIÓN

La madurez en la recolección de la guayaba es uno de los factores más importantes que determina el tiempo de conservación y la calidad final; entender el proceso de maduración implica complejos cambios metabólicos y celulares que incluyen la síntesis de nuevas proteínas y enzimas. Por medio de compuestos químicos y/o mediante la manipulación del medio se ha podido inhibir el proceso de maduración. (Jain, *et al.*, 2001). Durante la maduración, la guayaba pasa a través de una serie de cambios evidentes en el color, textura y sabor por el aumento en su contenido de azúcar y la disminución en el contenido de ácidos, lo que indica que los cambios de composición

están teniendo lugar y con el tiempo, la evidencia de la maduración puede ser vista y sentida al tacto en una evaluación física (Bashir, 2003; Vaclavik & Christian, 2008).

Los índices de madurez indican el tiempo ideal de la cosecha y por lo tanto son importantes para la formulación de estrategias de mercado, la regulación del comercio y el uso eficiente de la mano de obra y recursos, ya que si son cosechadas en una etapa de madurez inadecuada tienden a mostrar pérdida fisiológica de peso, en general también presentan una alta y baja calidad (Benkeblia & Tennant, 2011). La guayaba es considerada un fruto climatérico ya que el proceso de maduración continua después de su cosecha (Kader, 2011; Vakkalanka, *et al.*, 2012; James & Ngarmsak, 2010).

1.1.3.1 ESCALA DE MADURACIÓN

El color externo de la guayaba puede ser utilizado para determinar diferentes etapas de maduración y por lo que se ha establecido la siguiente escala de colores con objeto de realizar la separación por color y estandarizar este parámetro para facilitar comparaciones entre diferentes etapas de madurez (Gaona, 2002). Esta escala de colores incluye la siguiente clasificación (figura 2).



Figura 2. Escala de maduración de la guayaba (Gaona, 2002).

- 1) **Completamente Verde:** el color externo es un verde intenso. En esta etapa, está en proceso de terminar con el crecimiento y alcanza su máximo tamaño, por lo general tiene una gran firmeza.
- 2) **Verde Claro:** El color verde se vuelve menos intenso de manera general en toda la superficie, lo que indica que está en madurez fisiológica; la firmeza es alta.
- 3) **Vede amarillo:** El color amarillo empieza a notarse en la superficie, pero no rebasa el 50%. La firmeza disminuye ligeramente en comparación a las dos etapas anteriores. Está en proceso de alcanzar las características de color, sabor, textura, aroma típicas de la guayaba.
- 4) **Amarillo con verde:** El color amarillo empieza a dominar y este se observa más del 50% de la superficie.
- 5) **Completamente amarillo:** Su aspecto es de un amarillo brillante, la firmeza es menor, que en todas las etapas anteriores.

1.14 COSECHA

Generalmente se cosecha en forma manual, se realiza de la siguiente forma: el 25% se recolecta en los meses de julio-agosto; otro 25% en octubre-noviembre y el 50% en los meses de diciembre-febrero, estos datos son basados en las producciones totales en México, lo que prácticamente permite tener producciones en todo el año (Yirat Becerra, *et al.*, 2009).

Los daños mecánicos son determinantes en la calidad de la guayaba, daños que en ocasiones es imposible detectarlos a simple vista, pero a medida que se llevan a cabo los procesos de maduración se obtiene una pérdida de calidad que repercute en cuestiones económicas. En muchas ocasiones dichos daños se producen en el momento de la cosecha, el transporte o el almacenamiento. La cosecha y la manipulación inadecuada provocan daños mecánicos (golpes, raspaduras superficiales, etc.) que conducen a la rápida descomposición por patógenos. Si esta tiene daños mecánicos carece de aceptabilidad del consumidor y recupera bajos ingresos en el mercado. Si se tiene un mal manejo esta tendrá una baja calidad y un tiempo de vida útil muy corto, lo que dificultará

que abarque grandes distancias, es por ello la importancia de manejar mejor la cadena de producción principalmente la postcosecha.

1.15 POSTCOSECHA

La vida postcosecha de las frutases generalmente más corta que la vida postcosecha de las que están basadas en la apariencia y la calidad de la textura. Sin embargo, algunas frutas son generalmente colectadas sin madurar de manera que puedan soportar el sistema de manejo postcosecha cuando se envían a larga distancia.

Comprender los factores biológicos y ambientales que afectan la velocidad de deterioro postcosecha es esencial para el desarrollo de tratamientos para mantener la calidad y extender la vida útil. Es por ello importante evaluar el efecto de diferentes tratamientos (como los recubrimientos o los envases de materiales convencionales o biodegradables) con respecto a su aptitud para evitar la pérdida de compuestos bioactivos en los frutos altamente perecederos como la guayaba.

La aplicación de técnicas y tratamientos son importantes para mantener una mejor calidad, en términos de apariencia, textura, sabor y valor nutritivo, seguridad alimentaria y para reducir las pérdidas a lo largo de la cadena de suministro entre la cosecha y el consumo y para prolongar la vida postcosecha (Yahia, 2011). El método y/o la duración de almacenamiento, se ha encontrado que influyen en la fisiología-post corte (Lamikanra, 2002). Varios de estos tratamientos, como el calor, el frío y la irradiación se han probado y encontrado que son eficaces para desinfectar la guayaba. La guayaba ha sido clasificada entre los frutos que son más tolerantes a la dosis de radiación ionizante de menos de 1 kGy (Kader, *et al.*, 1989). En general, un solo tratamiento de conservación puede no ser suficiente para controlar efectivamente todas las enfermedades (Singh, 2011).

1.16 PRODUCCIÓN

La producción en México va del orden de las 300 mil toneladas anuales; siendo los estados que más aportan: Michoacán 44%, Aguascalientes 32%, Zacatecas 16% y el 8% restante el Estado de México y Querétaro. Prácticamente tiene una temporalidad de todo el año, pero sus meses de mayor producción son diciembre con un 13.6%, octubre con 9.8% y noviembre con el 9.2%. En México, existen diversas variedades, predominan Media China, en los estados de Aguascalientes, Zacatecas y Michoacán. (Mercado-Silva, *et al.*, 1998).

1.17 CONSERVACIÓN DE GUAYABA

Al tener una baja vida postcosecha, es necesario buscar alternativas para incrementar su vida útil, una de ellas es el control de la temperatura de almacenamiento, la cuales es de 7 a 10 °C, principalmente cuando la guayaba se encuentra en un estado de madurez 2 (véase fig. 2). Si el almacenamiento es por debajo de 7 °C se ocasionan daños por frío, los síntomas incluyen maduración anormal, oscurecimiento de la pulpa, del pericarpio o su decoloración por efecto de degradación de pigmentos y un aumento en la incidencia de descomposición causada por la antracnosis (manchas en la epidermis de la guayaba) causada por hongos debidos a la mala manipulación de la humedad relativa del almacenamiento.

El mercado de productos refrigerados listos para consumir ha experimentado un crecimiento en los últimos años, impulsado principalmente por la demanda de los consumidores de alimentos frescos y saludables, convenientes y sin aditivos, que son sanos y nutritivos. La industria alimentaria ha respondido a esta demanda con el desarrollo de productos creativos, las nuevas prácticas de producción, el uso innovador de la tecnología y las iniciativas de marketing hábiles (CODEX STAN, 1995; James & Ngarmsak, 2010). Uno se esos productos listos para consumir y que actualmente tienen alta demanda y amplia variedad en el mercado son las frutas frescas-cortadas las cuales proveen de practicidad, buen sabor y buena calidad para el consumidor, siendo el uso de

recubrimientos comestibles en combinación con un almacenamiento en atmósferas modificadas quienes mantengan estas características propias de la guayaba aumentando por más tiempo su vida útil y por tanto evitando las pérdidas físicas y económicas.

1.2 FRUTA FRESCA-CORTADA

La Asociación Internacional de Productos Frescos-Cortados (*International Fresh-cut Produce Association*, IFPA) define como productos frescos-cortados a las frutas o verduras que han sido recortadas, peladas y/o cortadas siendo un producto totalmente utilizable, que posteriormente será envasado para su posterior consumo ya que con estas características de practicidad se ofrece a los consumidores nutrición, conveniencia y sabor, manteniendo la frescura.

Para su elaboración, solamente se deben utilizar productos frescos enteros de buena calidad, sin daños fisiológicos ni patológicos, golpes ni residuos de pesticidas u otros daños que incidan directamente sobre la calidad y vida útil del producto; por tanto no se podrán aprovechar partes del producto parcialmente deteriorados, ya que los tejidos de las frutas y hortalizas frescas cortadas están vivos y por ello, responden a los cortes realizados durante su preparación con un aumento en su actividad fisiológica y una mayor susceptibilidad al deterioro, pues al disminuir su tamaño se rompen tejidos y se expone una mayor área a las condiciones ambientales externas, favoreciendo la pérdida de humedad, el ablandamiento de los tejidos, la pérdida de aromas, los cambios de color y la entrada de microorganismos indeseables (Montero-Calderon, 2009).

En general las frutas frescas-cortadas son particularmente atractivas para los consumidores jóvenes que consumen estos productos como botanas. Los fabricantes han respondido a esta creciente demanda mediante la producción de estos alimentos para exportación. Los consumidores compran productos listos para consumir para mayor comodidad, lo que ha dado lugar a una considerable innovación y diversificación en la industria de alimentos, estos productos reducen el desperdicio orgánico en los hogares,

ya que permiten al consumidor adquirir sólo las cantidades necesarias (James & Ngarmsak, 2010).

El mayor obstáculo para la venta comercial de estos productos es la vida útil limitada debido a su susceptibilidad a la oxidación enzimática y el ablandamiento de los tejidos. Además, la eliminación de la barrera epidérmica de protección natural y el aumento de la humedad y azúcares disueltos en la superficie, proporcionan condiciones ideales para la colonización y multiplicación de microorganismos (Oms-Oliu, *et al.*, 2008). Por ello es importante evaluar factores como la respiración, la textura, el cambio de color, la acidez, el contenido de azúcares totales y actividades enzimáticas, que son parámetros que sirven como indicadores de la calidad de las frutas frescas-cortadas, muy particularmente en este caso la guayaba y que ayudarán a establecer los cambios y/o efectos que ocurren con el uso de recubrimientos de Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS) y de atmósferas modificadas, almacenadas a bajas temperaturas.

1.2.1 PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA FRUTA FRESCA-CORTADA

La calidad es una combinación de características que determinan el valor de los productos para el consumidor, ellos juzgan la calidad con base en su apariencia y firmeza (atributos externos), las siguientes compras dependerán de su experiencia al comer (aroma, sabor, textura), otros parámetros de calidad como la calidad nutricional y la seguridad (atributos ocultos) influyen cada vez más en las decisiones del consumidor para realizar nuevamente compras del producto; sólo las frutas o verduras de la más alta calidad se deben utilizar para el procesamiento de productos frescos-cortados. (James & Ngarmsak, 2010).

Una guayaba de buena calidad es aquella que presenta un buen aspecto general, con leves defectos tales como raspaduras, rozaduras, costras, manchas o quemaduras de sol, siempre y cuando no afecten la calidad y la conservación. Para ello deben cumplir con un

proceso de selección riguroso (NMX-FF-040-SCFI-2002). Para el caso de México, la cosecha es de forma manual. Los componentes de calidad, en general, son cinco:

1. **La apariencia**, donde se contempla el tamaño, forma, color, brillantez y presencia de defectos externos e internos causados por aspectos físicos, fisiológicos y/o fitosanitarios.
2. **Textura**, que se incluye la firmeza, jugosidad.
3. **Sabor**, este aspecto incluye dulzura, acidez, astringencia y aroma.
4. **Nutricional**, incluye el contenido de carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales.
5. **Seguridad**, principalmente lo que se refiere a la presencia de tóxicos naturalmente presentes (Gaona, 2002).

También los factores climáticos y el entorno en el que se producen los cultivos tienen un impacto significativo en la calidad y la vida útil de los productos frescos-cortados, la temperatura y la intensidad de la luz tienen influencia en la composición y la calidad nutricional, la ubicación, la época de producción pueden influir en los niveles de ácido ascórbico, caroteno, riboflavina, etc. altos niveles de lluvia aumentan la susceptibilidad de la planta a los daños mecánicos, la intensidad de la luz por lo general da lugar a niveles bajos de ácido ascórbico (vitamina C) (James & Ngarmsak, 2010).

1.2.1.1 RESPIRACIÓN

La respiración es un proceso metabólico que proporciona la energía para los procesos bioquímicos de plantas, pero en el caso de los frutos frescos-cortados cuando se exponen al contacto con oxígeno aumentan su velocidad de respiración (Sandhya, 2010). Ya que cuando la fruta es cortada, se da un consumo acelerado de azúcares, lípidos, y ácidos orgánicos, dando lugar a un aumento de la producción de etileno, lo que induce la maduración y provoca la senescencia (Oms-Oliu, *et al.*, 2008).

Implica una cadena de reacciones de oxidación-reducción, la cual es catalizada por una enzima específica dependiendo del producto (Fonseca, *et al.*, 2002). Existe una relación inversamente proporcional entre la velocidad de respiración y la vida de almacenamiento. Cuanto mayor es su velocidad, más corto es el tiempo de almacenamiento y cuando la velocidad es más baja, mayor será su conservación (García E., 2002).

La mayoría de los frutos muestran un aumento característico en la velocidad de respiración que coincide con los cambios evidentes en el color, sabor y textura propios de la maduración. Esta velocidad es indicativa de la rapidez con la que ocurren los cambios de composición que están teniendo lugar y por lo tanto, da un parámetro del potencial de la vida útil, también está influenciada por el tamaño y la variedad (Barrett, *et al.*, 2005). Y estas velocidades son por lo regular directamente proporcionales a la temperatura de almacenamiento, aumentando así la vida útil a temperaturas más bajas (Mangaraj & Goswami, 2011). La respiración aerobia consiste en la descomposición oxidativa de las reservas orgánicas en moléculas simples, como el dióxido de carbono (CO₂) y agua con liberación de energía. Los sustratos orgánicos degradados en este proceso, pueden incluir hidratos de carbono, lípidos y ácidos orgánicos, este proceso consume oxígeno (O₂) en una serie de reacciones enzimáticas y debido a estos procesos metabólicos, que continúan incluso después de la cosecha, la vida útil del producto se reduce.

1.2.1.2 PÉRDIDA DE PESO

La guayaba fresca-cortada es altamente susceptible a la pérdida de peso debido a que después del corte los tejidos internos están expuestos a una atmósfera compuesta por gases (Watada, 1999); lo que da como resultado la reducción o eliminación de la resistencia a la transpiración propia de la fruta provocando una pérdida de agua, lo que favorece la pérdida de peso y la resequedad, haciendo que la fruta sea poco atractiva durante la comercialización, provocando una pérdida económica.

Así mismo una transpiración excesiva puede conducir a la deshidratación y reducción de la firmeza, lo que promueve la senescencia debido a la reducción de los procesos o de los reguladores enzimáticos (Oluwafemi, 2012). Esta pérdida de peso es un indicativo de un proceso de deshidratación debido a la transpiración y que implica la transferencia de agua desde la célula a la atmósfera circundante, por lo que representa una manera de evaluar la eficacia del recubrimiento en la preservación de la calidad (Pérez-Gago, 2010) por lo tanto, la evaluación de la pérdida de peso es muy importante para la fruta fresca-cortada durante su almacenamiento.

1.2.1.3 COLOR

Los consumidores toman en consideración la apariencia como un criterio que se puede caracterizar por el tamaño, forma, brillo, condición y la ausencia de defectos y lo cual se relaciona con la aceptación o el rechazo (Badui, 2006). Sin embargo, el color contribuye más que cualquier otro factor ya que el cambio más evidente en muchas frutas durante la maduración es su color externo. La respuesta del ojo humano se estandarizó, dando origen al sistema "*Comisión Internationale de L'Eclerage* (CIE)". Para la definición de color hay una serie de atributos que deben tenerse en cuenta:

- **°Hue:** Son el blanco y los grises colores carentes de tono.
- **Claridad o luminosidad:** Es simplemente el brillo de un color, los colores más pálidos tienen mayor ligereza que los colores oscuros.
- **La saturación:** Se utiliza para indicar la intensidad de la respuesta cromática: pálido o colores pastel tienen una baja saturación, mientras que los colores profundos y vivos tienen alta saturación (Lozano, 2006).

En este espacio el color es independiente del dispositivo, creando colores consistentes sin importar el dispositivo que se utiliza para tomar la imagen. Donde L^* es

la luminosidad o componente de luminosidad, que va de 0 a 100, mientras que a* (va de verde a rojo) y b* (azul a amarillo).

1.2.2 ÁCIDO ASCÓRBICO

El ácido ascórbico también conocido como Vitamina C es un nutriente esencial soluble en agua y en medios no acuosos, tales como el etanol y acetonitrilo. Más del 90% es suministrada en la dieta humana por las frutas y verduras. También es conocido por sus propiedades antioxidantes y está involucrado en la síntesis de colágeno y también en la calcificación de los dientes (Lee & Kader, 2000; Shyla & Nagendrappa, 2013).

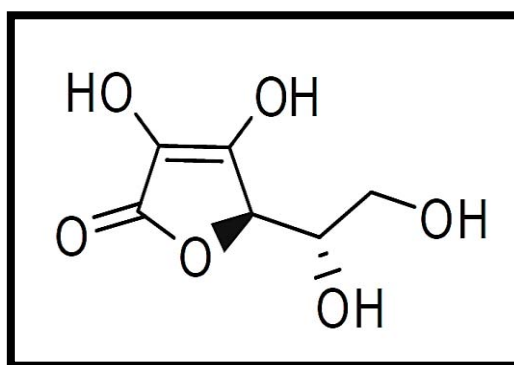


Figura 3. Estructura del ácido ascórbico (Shyla & Nagendrappa, 2013)

El contenido de ácido ascórbico en la guayaba alcanza un nivel máximo en la fase verde madura y comienza a disminuir rápidamente a medida que la fruta madura (Bashir, 2003). De todas las vitaminas, es la más susceptible a su destrucción por oxidación atmosférica, puede ser fácilmente degradada, dependiendo de muchas variables como el pH, la temperatura, la luz, y la presencia de enzimas, oxígeno y catalizadores metálicos (Shyla & Nagendrappa, 2013; Santos & Silva, 2008).

Es estable cuando se expone al aire, la luz, y la temperatura ambiente durante un corto período. Sin embargo, en soluciones acuosas o en los alimentos, su estabilidad está relacionada con las condiciones de almacenamiento y la composición de la matriz; ya que es muy susceptible a descomponerse. Se pierde fácilmente cuando el alimento se

somete a condiciones adversas de manipulación, un prolongado tiempo de almacenamiento, altas temperaturas, humedad relativa baja, daño mecánico y por frío; también es considerada como el agente más común anti-oscorecimiento principalmente en fruta recién cortada, el inconveniente es que sólo da una protección temporal, ya que se oxida en el proceso (Barrett, *et al.*, 2005).

Aunque su concentración disminuye durante la maduración, el contenido total tiende a aumentar debido a que el volumen total y el tamaño de la fruta aumentan con el avance de la madurez.

1.2.3 FENOLES TOTALES

Son sustancias orgánicas ampliamente distribuidas en el reino vegetal. Los compuestos fenólicos, comprenden un grupo diverso de moléculas clasificadas como metabolitos secundarios en las plantas, que tienen una amplia gama de estructuras y funciones (Haminiuk, *et al.*, 2012). La PPO (polifenoloxidasas) y sus compuestos fenólicos se encuentran en diferentes compartimentos celulares (citoplasma/plastidios y vacuola) (Yan & Sugar., 2013).

Los compuestos fenólicos se han considerado los grupos más importantes, numerosos y más abundantes en el reino vegetal. Tienen un anillo aromático que lleva uno o más grupos hidroxilo y su estructura puede variar de una molécula fenólica sencilla a la de un polímero de alto peso molecular complejo (Haminiuk, *et al.*, 2012).

Procesos como pelar, cortar o aplastar, facilitan la correcta extracción de los compuestos fenólicos, pero podrían causar alteraciones que posteriormente conducen a una incorrecta identificación y cuantificación de estos compuestos (De la Rosa, *et al.*, 2010). Se sintetizan como metabolitos secundarios con funciones de defensa, y son en gran medida responsables de las propiedades del color, la astringencia, sabor y aroma cuya composición forma parte un grupo hidroxilo OH-aromático, es decir, unido a un anillo bencénico.

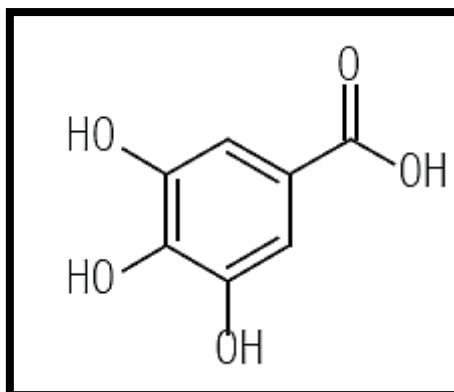


Figura 4. Estructura de Ácido Gálico (Fenol) (Forero, *et al.*, 2012)

- *Propiedades Físicas*

Los fenoles presentan algunas propiedades semejantes a los alcoholes, debido a la presencia del grupo - OH. Los más sencillos son líquidos o sólidos blandos e incoloros y se oxidan con facilidad por lo que se encuentran coloreados. En presencia de impurezas o bajo influencia de la luz, el aire y ciertos compuestos como el cobre y el hierro, se teñen de amarillo, marrón o rojo.

- *Propiedades Químicas*

Están influenciadas por sus estructuras, pues el fenol cede un protón al agua para formar el ión hidronio, de acuerdo a esto, el fenol se comporta como un ácido. A partir del fenol es posible producir otros compuestos químicos, su carácter ácido le permite ceder un protón para formar así sales y éteres (James & Ngarmasak, 2010). El creciente interés por estas sustancias es debido principalmente a su potencial antioxidante y la asociación entre su consumo y la prevención de algunas enfermedades. La cantidad presente en las frutas depende en gran medida del grado de madurez, variedad, clima, composición del suelo, la ubicación geográfica y las condiciones de almacenamiento, entre otros factores.

El procesamiento de productos frescos-cortados causa grandes alteraciones del tejido y provocan la liberación de enzimas que interactúan con los sustratos asociados

con el tejido de la fruta. El corte también aumenta la producción de etileno y estimula la respiración y el metabolismo fenólico. Estos compuestos a su vez sirven como sustratos para enzimas polifenoloxidasas que, en presencia de oxígeno, con el tiempo conducen a la formación de polímeros complejos color marrón (James & Ngarmsak, 2010).

1.2.4 TEXTURA

La caracterización de los alimentos se basa en las pruebas sensoriales para comprobar cómo los ingredientes, los procesos y modificaciones pueden afectar a algunos atributos como el color, sabor, olor y textura (Ortega-Rivas, 2012). Un factor importante de la fruta fresca-cortada es el aseguramiento de una textura aceptable ya que su superficie no tiene protección suficiente y por lo tanto pierde humedad a una velocidad extremadamente rápida, esto da como resultado el ablandamiento rápido y por lo tanto una pérdida de la textura firme. Este ablandamiento durante el almacenamiento es el resultado de cambios estructurales en las paredes celulares primarias; esto es causado por la actividad enzimática que conduce a la disolución de los compuestos pécticos y una disminución en su resistencia a la presión. Lo que compromete la vida útil de frutas recién cortadas.

Algunas pruebas instrumentales aún no han sido capaces de desplazar el juicio realizado por la percepción sensorial humana, estas mediciones y la evaluación sensorial buscan lograr la caracterización adecuada del alimento (Ortega-Rivas, 2012). Varias pruebas se pueden utilizar para determinar los cambios de textura en las frutas recubiertas tales como el análisis de perfil de textura (TPA), la compresión, y ensayos de punción. En prueba de TPA la muestra de fruta se comprime dos veces imitando la acción de la mandíbula y los parámetros obtenidos a partir de este ensayo se correlacionan bien con la prueba de TPA para determinar los cambios en la calidad de las texturas (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005).

1.2.5 SÓLIDOS SOLUBLES

El azúcar es el componente principal de los sólidos solubles totales (SST) en la mayoría de frutas y verduras. Estos son componentes no volátiles de mucha importancia, no sólo por su asociación con el sabor dulce, el ablandamiento y el desarrollo de color, sino porque brindan un balance con los ácidos generados durante la maduración, aumentan durante la maduración y actúan como fuente de carbono para los precursores del aroma. En la práctica los sólidos solubles, también son llamados °Brix, estos se miden en el jugo de fruta porque es mucho más fácil de medir.

La medición de los SST, funciona como un indicador razonable de los niveles de azúcar o dulzura y son medidos usando un refractómetro que opera sobre la base de la refracción de la luz por las muestras de jugo y sólo necesitan unas pocas gotas de muestra para la medición. (James & Ngarmsak, 2010; Badui, 2006).

1.26 ACIDEZ Y pH

Aunque el desarrollo de dulzura es importante, los ácidos orgánicos también influyen en el sabor general. La acidez ayuda a formar el equilibrio deseable entre el azúcar-acidez necesario para un sabor agradable, que generalmente disminuye durante la maduración (Thompson, 2003).

Son benéficos para la conservación de la fruta, debido especialmente a que tienen un efecto bacteriostático. En las frutas, los ácidos que se encuentran frecuentemente son cítricos, málicos y tartáricos; su contenido disminuye mientras que aumenta el contenido de azúcar, durante el almacenamiento, el ácido se consume a través de la respiración, por lo que reduce progresivamente a medida que la fruta madura. Normalmente no se toma como una medida de la madurez de la fruta por sí mismo pero por lo general se relaciona con los sólidos solubles, dando lo que se denomina °Brix: proporción de ácidos (Thompson, 2003).

La acidez titulable varía significativamente durante la temporada y es un parámetro más definitivo en los efectos en el sabor de los ácidos. Estos constituyen la mayor parte de los sólidos solubles que se encuentran en los cítricos. Aproximadamente el 10% de los ácidos están en la forma de ácido málico (Barrett, *et al.*, 2005). El pH varía ligeramente, debido a la acción amortiguadora de ácido cítrico, y también es un parámetro importante para determinar si los posibles microorganismos alterantes de alimentos son susceptibles de desarrollarse durante la manipulación y el almacenamiento postcosecha.

1.3 ACTIVIDAD ENZIMÁTICA

Una enzima es una proteína que actúa como catalizador biológico, llevando a cabo reacciones bioquímicas a muy altas velocidades, no se consume durante la reacción y en general presenta un elevado grado de especificidad. Todas las células, incluyendo microorganismos y organismos superiores, producen enzimas. Su acción está estrechamente ligada con las reacciones metabólicas, y la mayoría de las transformaciones químicas requeridas para mantener activas a las células, tardarían mucho tiempo en efectuarse o simplemente no procederían si no estuvieran presentes las enzimas. Su estudio en el campo de los alimentos es de primordial interés, debido a que son responsables de algunos cambios químicos que sufren los alimentos, cambios que pueden resultar en beneficios (maduración de frutas) o perjuicios (oxidación de ácidos grasos y oscurecimiento enzimático) (Quirasco & López-Munguía, 2006).

El procesamiento de productos frescos-cortados está acompañado por la alteración de las células de la superficie y el estrés de lesiones de los tejidos subyacentes. Las actividades enzimáticas aumentan como consecuencia del incremento de la permeabilidad que resulta de la interrupción del tejido y la mezcla de enzimas y sustratos que son secuestrados dentro de vacuolas. Existe un claro aumento de la actividad en relación con el producto intacto, las propiedades de las enzimas como peroxidasas (POD) afectan el sabor de la fruta y la textura las cuales afectan significativamente las cualidades de almacenamiento de los productos frescos cortados (Lamikanra & Watson, 2001).

1.3.1 PECTINMETILESTERASAS

Las enzimas pectinmetilesterasas (PME), también conocidas como pectinesterasas, cataliza la hidrólisis del grupo metoxilo de la pectina, y la formación de ácido péctico como un producto de la reacción. La PME es una de las enzimas más importantes en la industrialización y la conservación de frutas, zumos u otros productos industriales que implican la presencia o ausencia de pectina nativa (Carvalho, 2009). Provoca la formación de un mayor número de grupos carboxilo libres capaces de interaccionar a través de iones divalentes, como el calcio, y crear estructuras tridimensionales más rígidas que aumentan la dureza de los frutos; por esta razón, en ciertos casos es común la adición de calcio para mantener la textura de los productos, sobre todo de los que han sido tratados térmicamente (Badui, 2006)

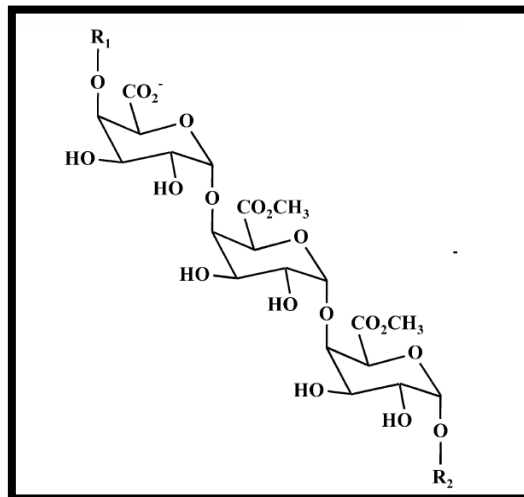


Figura 5. Estructura del sustrato de las pectinmetilesterasas (Jolie, 2010).

Es una de las enzimas clave en el contexto de procesamiento de frutas y de verduras, puede afectar positiva o negativamente la calidad estructural de alimentos de origen vegetal (la viscosidad, textura) la acción conjunta con las poligalacturonasas, en la maduración provoca que las pectinas se degraden y el fruto adquiera una textura

adecuada para el consumidor; pero también, una excesiva actividad enzimática causa ablandamiento notorio, pérdida de textura, propicia las condiciones para un ataque microbiano y aumenta la concentración de ácido galacturónico. La PME junto con otras pectinasas encuentra aplicaciones (reales o potenciales) como una ayuda a la transformación exógena. El procesamiento de alimentos puede aplicarse para inactivar o para impulsar la actividad enzimática (Quirasco & López-Munguía, 2006).

Las pectinmetilesterasas, especialmente las de plantas, parecen ser muy sensibles al ambiente iónico. La estabilidad del pH depende de la fuente de la enzima, y el rango para todas las PME se extiende desde pH 1 a 10. El análisis del contenido de PME en la guayaba debe iniciar al mismo pH para garantizar que los cambios de color sean reproducibles. Sin embargo, las soluciones amortiguadoras interfieren con la medición de la producción de ácido, por lo que los reactivos deben estar preparados como soluciones sino utilizando muy poco de estas soluciones amortiguadoras. (Hagerman & Austin, 1986).

1.4 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Un recubrimiento o película comestible se ha definido como una capa delgada continua que, se coloca sobre la superficie de la fruta o entre los alimentos y que está formada de un material comestible, el cual funciona como un reemplazo protector del tejido natural (epidermis) del alimento y ayuda a extender la vida útil, este se puede consumir junto con el alimento ya que no modifica su sabor (Bravin, 2006; Barrett, *et al.*, 2005).

Actualmente, su uso es quizá la técnica más novedosa y prometedora para alargar la vida útil, por los beneficios que aporta como barrera a los gases y al vapor de agua, además de la posibilidad de utilizarla como vehículo de sustancias activas en el alimento, permitiendo conservar la calidad de la fruta.

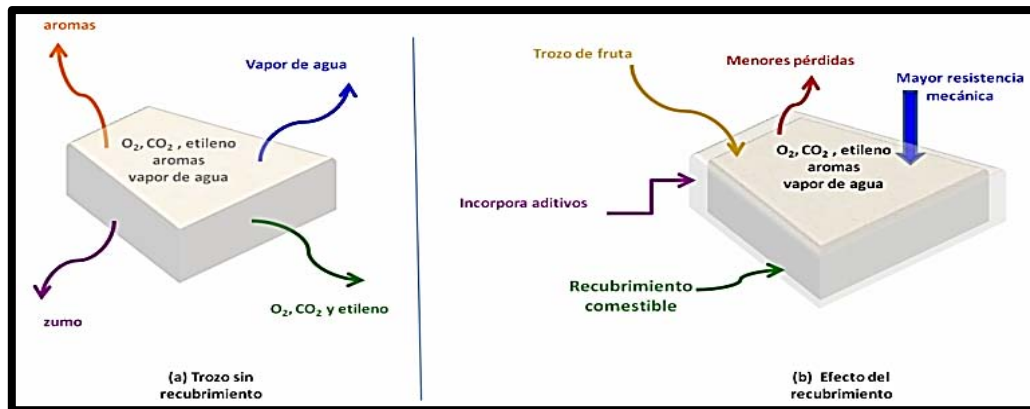


Figura 6. Propiedades de los recubrimientos comestibles en productos frescos cortados (Montero-Calderon, 2009).

Estos recubrimientos proveen una barrera protectora semipermeable entre el producto y el ambiente que lo rodea al tiempo que permite de forma selectiva el intercambio controlado de los gases, (O_2 , CO_2 , etileno, compuestos aromáticos) además dan soporte estructural al alimento ayudando a reducir la respiración, retardar la pérdida de agua, los cambios de color, mejorar la textura y la integridad física, mejorar las características de manejo, ayudar a retener compuestos de sabor volátiles, y reducir el crecimiento microbiano, limitando la salida de fluidos del producto fresco-cortado; un ejemplo de esto se muestra en la figura 6. (Montero-Calderon, 2009; Barrett, *et al.*, 2005; Embuscado & Huber, 2009). Algunos de los usos potenciales de recubrimientos comestibles sobre las frutas frescas – cortadas (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005) son:

- Producir una atmósfera modificada en el fruto
- Retardar la maduración de frutas climatéricas
- Reducir la pérdida de agua
- Retrasar cambios de color
- Mejorar la apariencia
- Reducir la pérdida de aroma
- Reducir el intercambio de humedad entre las piezas de fruta
- Como portadores de antioxidantes y potenciadores de textura

Los hidrocoloides y lípidos por lo general constituyen la composición básica de los recubrimientos comestibles para frutas frescas-cortadas. Los hidrocoloides (proteínas o hidratos de carbono) tienden a formar redes hidrófilas, siendo por lo general buenas barreras al oxígeno y al dióxido de carbono, pero barreras pobres a la permeabilidad del agua, mientras que los lípidos favorecen los recubrimientos hidrófobos ya que estos tienen buenas propiedades de barrera de agua. Desafortunadamente, los recubrimientos formados exclusivamente por lípidos pueden carecer de integridad estructural (ácidos grasos y alcoholes) por lo que pueden requerir el uso de hidrocoloides como matriz para la película (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005).

1.4.1 COMPONENTES DE LOS RECUBRIMIENTOS

Se ha demostrado que algunos aditivos trabajan eficazmente en los alimentos cuando se aplican como parte de un recubrimiento comestible principalmente cuando se incorporan como soluciones acuosas por inmersión, ya que de esta forma se pueden mantener estos aditivos en la superficie del alimento durante más tiempo. Los materiales que pueden utilizarse para hacer estos recubrimientos incluyen proteínas y polisacáridos, lípidos o una combinación de éstos; los plastificantes y emulsificante, también pueden utilizarse. Las propiedades funcionales de los recubrimientos comestibles están muy influenciadas por parámetros como la formulación, la tecnología formadora de película, las características de solventes y aditivo (Bravin, 2006). Es por ello que el recubrimiento también incorpora dos componentes importantes como la goma xantana y el glicerol.

1.4.1.1 GLICEROL

Los compuestos frecuentemente utilizados como plastificantes en la formulación de recubrimientos comestibles para frutas son: glicerol y polietilenglicol. Tales sustancias tienen la capacidad de modificar las propiedades mecánicas de los recubrimientos mediante la combinación con los componentes principales de las películas e intercalándose entre las cadenas del polímero, moviendo las cadenas separadas y

reduciendo la rigidez de las estructuras. Este se incluye en la formulación del recubrimiento con el fin de modificar las propiedades de los componentes de base (hidrocoloides y/o lípidos), produciendo recubrimientos más flexibles (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005). Funciona como un humectante, modificador de cristalización, y plastificante. Es 75% más dulce que el azúcar. El polirol más conocido es el glicerol o glicerina, que es parte constitutiva de las grasas y los aceites; se le clasifica como triol por tener tres átomos de carbono (Igoe, 2011; Badui, 2006).

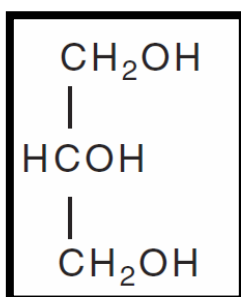


Figura 7. Estructura de glicerol (Badui, 2006)

Se utiliza para mantener un contenido de humedad determinado para prevenir la pérdida de agua de los alimentos (Igoe, 2011). En general los plastificantes tienen la función específica de aumentar la permeabilidad al vapor de agua. Por lo tanto, su adición debe ser considerada ya que el exceso de humedad puede crear las condiciones ideales de crecimiento de algunos patógenos transmitidos por los alimentos. Sin embargo, películas comestibles a base de lípidos también requieren una matriz de soporte para reducir la fragilidad y tienen dificultad para adherirse a las superficies de corte hidrófilas de frutas y verduras (Farber, *et al.*, 2003).

Las propiedades fisicoquímicas de barrera de redes poliméricas se ven afectadas por la concentración de plastificante y el peso molecular, contenido de agua de la película, la fuerza y el tipo de polímero-polímero y polímero plastificante interacciones. La adición de estos puede reducir la fragilidad de la película y proporcionar una mayor flexibilidad es posible que la estructura hidrófila del glicerol podría estar implicada en asociaciones con sitios hidrófilos de las proteínas de unión (H-), es decir, limitando de

este modo la hidratación de proteínas y su interacción, también es importante considerar las condiciones ambientales y de procesamiento ya que afecta la composición y estructura de los polímeros, lo que perjudica directamente la funcionalidad de los recubrimientos resultantes (Embuscado & Huber, 2009).

1.4.1.2 GOMA XANTANA

El uso de la goma xantana como parte de un recubrimiento comestible para frutas frescas-cortadas ha sido poco explorado. Sus propiedades mecánicas y su capacidad para retener el aroma y el sabor son muy atractivas, por lo tanto, es una opción interesante para ser utilizada como parte de un recubrimiento o como soporte para otros aditivos (Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2013).

Es una goma obtenida por la fermentación microbiana de la *campestris* organismo *xanthomonas*. Es muy estable a cambio de viscosidad durante diferentes temperaturas, pH y concentraciones de sal (Igoe, 2011). Es pseudoplástica, soluble en agua fría o caliente; forma soluciones traslúcidas aún a altas concentraciones, es resistente a la degradación enzimática, funciona como un buen crioprotector, es compatible con otras gomas. Legalmente es un aditivo permitido por la FDA, en Europa y en México (Badui, 2006).

Las gomas se dispersan en agua a través de la formación de enlaces de hidrógeno solvente-polímero; en solución, las moléculas de polímero pueden organizarse en una estructura ordenada, llamada micela que se estabiliza o es fortificada por enlaces de hidrógeno intermoleculares. Debido al tamaño y la configuración de sus moléculas, estos polisacáridos tienen la capacidad para espesar y/o formar un gel como resultado tanto de enlaces de hidrógeno entre las cadenas de polímero y a la fricción intermolecular cuando se somete a cizallamiento. Puede tener una de consistencia suave y gelatinosa, en función de la concentración y cizalladura aplicada, típico de un fluido pseudoplástico. La propiedad de suspensión de la goma xantana se atribuye a su característica de gel-débil (Akelah, 2013; Embuscado & Huber, 2009).

La capacidad continua de retención de agua de la goma xantana se puede utilizar para el control de la sinéresis y para retardar la recristalización de hielo en situaciones de congelación y descongelación. Y se utiliza como un espesante y agente de suspensión en los alimentos (Akelah, 2013).

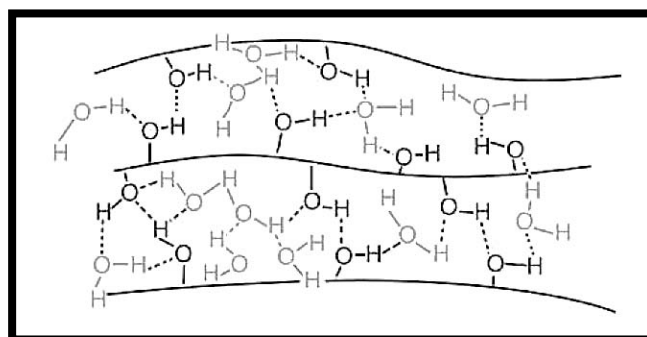


Figura 8. El enlace de hidrógeno intermolecular formado durante la hidratación de las gomas en agua. (Embuscado & Huber, 2009)

Se utiliza para dar soporte ya que es necesario tener un aditivo que facilite una matriz estructural con suficiente cohesión lo cual dará una adhesión a la fruta fresca-cortada. Esta goma es considerada un heteropolisacárido ramificado (Fig.9) que produce la goma como una cobertura de protección.

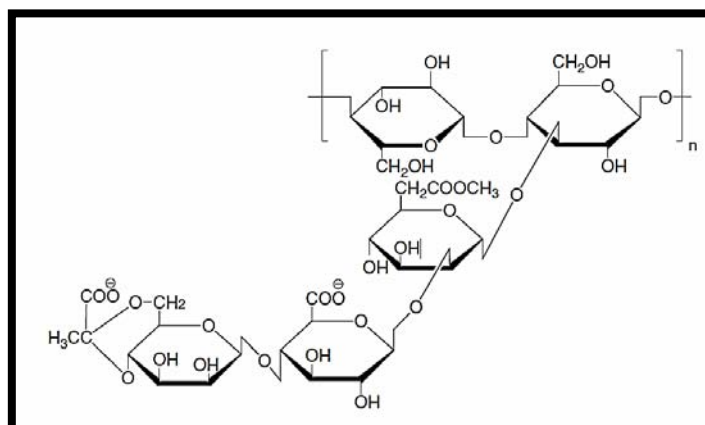


Figura 9. Estructura de la goma xantana (Akelah, 2013).

Esta goma es en realidad buena para proteger de las células bacterianas cuando el pH del medio se vuelve demasiado bajo y desfavorable para la maduración. Debido a esta función de protección es probable que la goma xantana muestre una estabilidad superior al ácido sobre otras gomas. También es utilizada como estabilizante en emulsiones aceite en agua. Por otro lado, las proteínas que contienen hidrocolóides son buenos estabilizadores estéricos debido a que contienen una proporción significativa de grupos hidrófobos flexibles para actuar como puntos de anclaje y muchos grupos hidrófilos para formar las cadenas estabilizadoras. (Sahin, *et al.*, 2006).

1.5 NANOPARTÍCULAS LIPÍDICAS SÓLIDAS (NLS)

Las Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS) son sistemas coloidales submicrónicos de lípidos dispersos en un medio acuoso y que han sido desarrolladas para encapsular, proteger y suministrar componentes funcionales lipofílicos (Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2013; Helgason, 2008). Estas generalmente se preparan con un lípido sólido a temperatura ambiente, un agente tensoactivo y agua. En general, los lípidos utilizados son los triglicéridos, glicéridos parciales, ácidos grasos y ceras (Durán, *et al.*, 2011).

Parten de una fase lipídica líquida (ingrediente funcional lipofílico) y una solución acuosa de tensoactivo que se homogenizan a una temperatura por encima de la temperatura de fusión de los lípidos para producir una emulsión fina de aceite en agua dispersa. Después la emulsión se enfría a una temperatura por debajo de la temperatura de cristalización del vehículo de lípidos que lleva a la formación de partículas sólidas. El uso de lípidos sólidos en lugar de lípidos líquidos ha demostrado que aumenta el control sobre la cinética de liberación de compuestos encapsulados y mejora la estabilidad de ingredientes lipofílicos sensibles incorporados químicamente. Estos efectos potencialmente beneficiosos pueden atribuirse a una serie de fenómenos físico-químicos asociados con el estado físico de la fase lipídica. La ausencia de suficiente agente tensoactivo, puede provocar la inestabilidad de las dispersiones acuosas de partículas lipídicas sólidas ya que las superficies recién creadas no pueden ser totalmente cubiertas por moléculas de tensoactivo (Helgason, 2009). Son una nueva generación de emulsiones

lipídicas de tamaño submicrónico donde el lípido líquido (aceite) se sustituye por el lípido sólido. Así como se muestra en la figura 10 la estructura de las NLS consiste en un lípido sólido recubierto por un emulsificante que estabiliza la partícula.

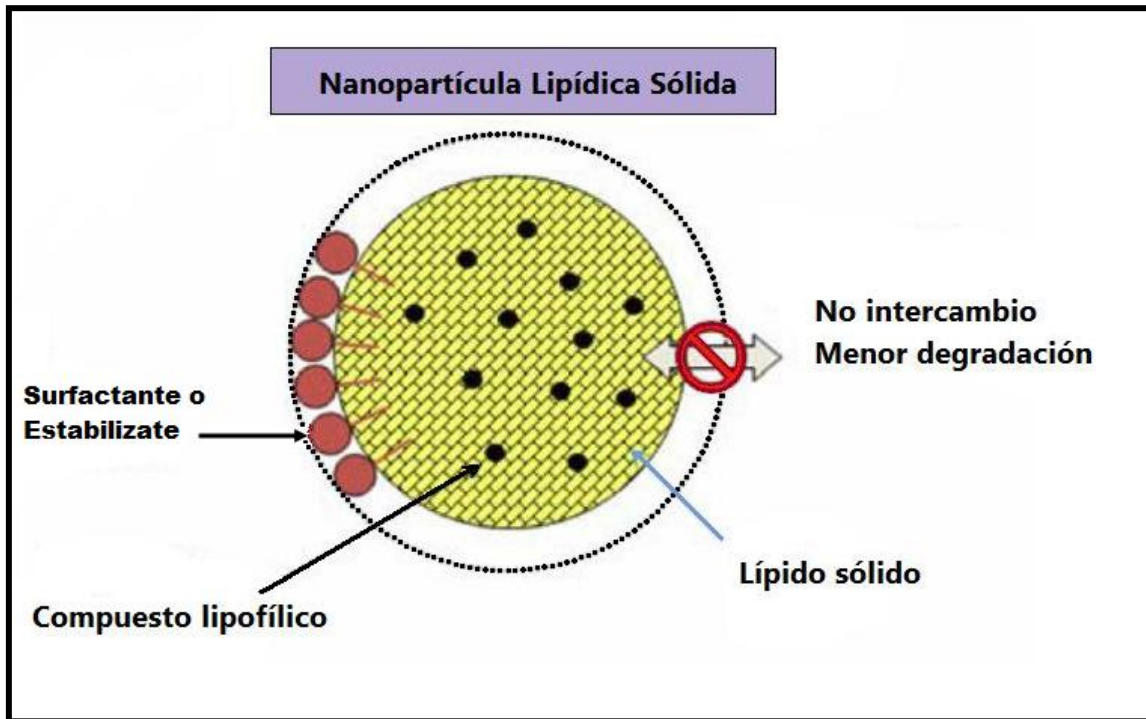


Figura 10. Estructura de una nanopartícula lipídica sólida (NLS) (Weiss., 2008).

Pueden contribuir como propiedades de barrera y tienen la funcionalidad de los recubrimientos para la preservación de la fruta, ya que estos sistemas muestran una mayor área recubierta (Durán, *et al.*, 2011). También combinan las ventajas de otros sistemas innovadores de transporte (por ejemplo, la estabilidad física, la liberación controlada, excelente tolerabilidad) mientras que al mismo tiempo pueden reducir al mínimo los problemas asociados. Entre otras ventajas de su elaboración y uso también están:

- Evitan los disolventes orgánicos
- Tienen una alta eficiencia de encapsulación
- Posibilidad de producción y esterilización a gran escala

- La flexibilidad en el control de la liberación de compuestos encapsulados debido a la matriz sólida
- La velocidad de degradación más lenta y liberación prolongada de compuestos bioactivos
- La protección efectiva de los compuestos bioactivos contra la degradación química
- Posibilidad de liberación controlada y la focalización del aditivo
- Aumento de la estabilidad del aditivo
- Alta carga de aditivos
- No toxicidad del vehículo

La mayoría de las dispersiones de NLS son producidas por ultra alta homogenización y se caracterizan por un tamaño medio de partícula inferior a 500 nm y un bajo contenido de micropartículas (Mehnert & Mäder, 2012).

1.5.1 MÉTODO DE ULTRA ALTA HOMOGENIZACIÓN (ROTOR/ESTATOR)

Principio: debido al elevado número de revoluciones del rotor, el medio a procesar se aspira axialmente y de modo automático en el cabezal de dispersión y a continuación se presiona radialmente a través de las ranuras del conjunto rotor/estator. Por las grandes fuerzas de aceleración, el material está sometido a unos esfuerzos de cizallamiento y empuje muy intensos. En la rendija de cizallamiento existente entre el rotor y el estator aparece adicionalmente una gran turbulencia que conduce a una mezcla óptima de la suspensión tal como se muestra en la figura 11.

Para el rendimiento de la dispersión es decisivo el producto obtenido de multiplicar el gradiente de cizallamiento y el tiempo de permanencia de las partículas en el campo de cizallamiento. El margen óptimo de la velocidad periférica del conjunto rotor/estator se sitúa entre 6 y 24 m/s. Generalmente basta un tiempo de procesamiento de unos pocos minutos para conseguir la finura definitiva deseada. Tiempos de procesamiento

prolongados mejoran solo significativamente la finura alcanzable, limitándose a alcanzar la temperatura del medio debido a la energía incorporada (IKA ULTRA-TURRAX®, 2013).

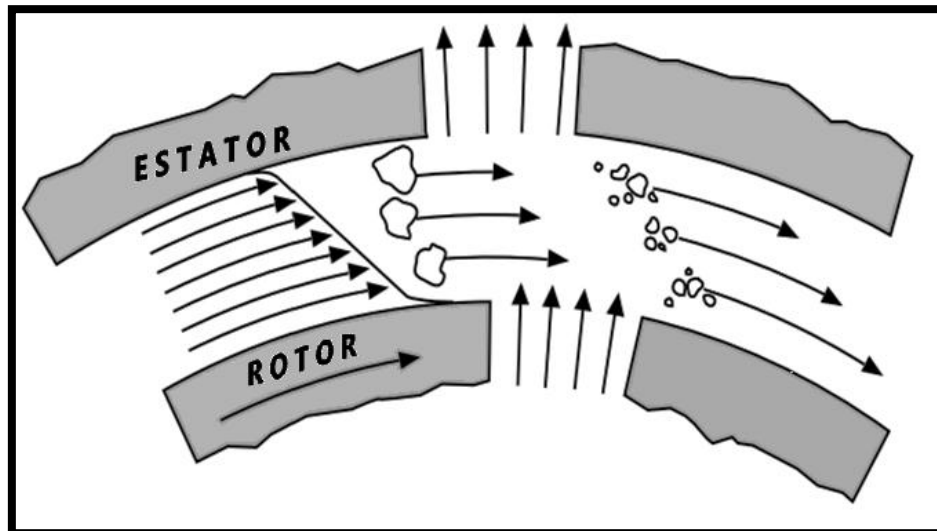


Figura 11. Principio de rotor/estator (IKA®, 2013)

1.6 ENVASES (POLIPROPILENO Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD)

Los materiales naturales, tales como pieles, hojas y corteza, fueron las fuentes originales para el envasado de alimentos. A lo largo de los años, las fuentes se han diversificado y ahora incluyen materiales naturales y sintéticos. Los materiales de envasado se clasifican comúnmente en estructuras rígidas y flexibles. Se han utilizado como materiales de envasado de alimentos prácticamente desde su aparición en la década de 1960 (Ortega-Rivas, 2012).

La composición química y las propiedades físicas determinan su capacidad para cumplir con las diversas funciones que se esperan del envase. Los materiales elaborados de plástico se utilizan para un creciente número y variedad de productos alimenticios; estos pueden ser flexibles o rígidos, transparentes u opacos, y proporcionan una variedad significativa en el diseño de paquete basado en las necesidades específicas de los alimentos.

La permeabilidad de los polímeros para gases como el oxígeno, el dióxido de carbono, nitrógeno, vapor de agua y aromas presenta retos y oportunidades en el diseño de los materiales de embalaje así como para los requisitos específicos de los alimentos y la migración de sustancias de bajo peso molecular del envase al alimento (estabilizadores, plastificantes) o desde el alimento hacia el envase y afuera (componentes aromáticos) (Singh, 2014; Berk., 2013). En la tabla no. 2 se muestra la permeabilidad de los materiales que se van utilizar en el proyecto siendo el de menor permeabilidad el envase de polipropileno.

Tabla 2. Permeabilidad a diferentes gases de los diferentes envases (Sandhya, 2010).

ENVASE	PERMEABILIDAD (cm ³ /m ² d atm por 25 µm de espesor a 25°C)			Transmisión de vapor de agua (g/m ² /día/atm) (38 °C y 90 % HR)
	Oxígeno (O ₂)	Nitrógeno (N ₂)	Dióxido de Carbono (CO ₂)	
Polietileno de baja densidad (PEBD)	7 800	2 800	42 000	18
Polipropileno (PP)	3 700	680	10 000	10-12

Si la permeabilidad (para O₂ y CO₂) del polímero es adecuada para la respiración del producto, una atmósfera modificada de equilibrio se formará en el paquete y la vida útil del producto aumentará. Esto se puede lograr mediante el diseño de un envase que brinde óptimas las concentraciones de O₂ y CO₂, así como la manipulación de la velocidad de transmisión de vapor de agua del envase (Sandhya, 2010).

Estos han mejorado la velocidad de transmisión de gas en virtud de su naturaleza polimérica que son por lo general mezclas de dos o tres polímeros diferentes, donde cada polímero realiza una función específica, como la fuerza, la transparencia y la mejora de la transmisión de gas para satisfacer ciertas descripciones de productos. Un ejemplo de estas mejoras es la permeabilidad de cada envase de plástico. Existe en el mercado una variedad a base de polímeros para alimentos en este proyecto se utilizaran dos como lo son el polietileno de baja densidad y el polipropileno.

El polietileno de baja densidad (PEBD) se utiliza en el envasado de alimentos debido a su resistencia de alto impacto, buena resistencia a una amplia gama de productos químicos, su bajo precio, y a que ofrece las propiedades funcionales como la transparencia, baja permeabilidad al vapor de agua, pero no una barrera a los gases, aceites, o volátiles. Se utilizan en la forma de bolsas, sacos también se utiliza para el recubrimiento de papel y como un componente en los laminado (Sahin & Gülüm Sumnu, 2006; Akelah, 2013).

Las películas de Polipropileno (PP) tienen buena transparencia y brillo, un amplio rango de sellado por calor, capacidad de impresión, alta resistencia a la tensión, resistencia a la rotura, la rigidez y la resistencia al impacto, debido a la orientación de las macromoléculas por el procesamiento mecánico, baja permeabilidad al vapor de agua y gases (Akelah, 2013).

Los polímeros se pueden utilizar como películas o como envases de muchas formas y tamaños. Por regla general, son mucho menos costosos que el metal o el vidrio y ciertamente mucho más ligeros. Son extraordinariamente adecuados para la aplicación de las tecnologías avanzadas de envasado tales como atmósfera modificada (MAP), activa y envase "inteligente" (Berk., 2013). Las innovaciones en el envasado de alimentos han creado una serie de nuevos términos relacionados con el papel de los envases, como lo son la mejora en la seguridad, vida útil, y la conveniencia del producto alimenticio. Las principales técnicas que hacen uso de la atmósfera en el envase para mejorar la preservación son, el envasado al vacío, en atmósfera controlada (PAC), en atmósfera

modificada (MAP) y el llamado envase activo. La atmósfera que rodea al alimento en el paquete tiene un efecto profundo en la vida útil del producto (Singh, 2014; Berk., 2013). Con el fin de extender la vida útil de los productos mínimamente procesados una serie de tecnologías están disponibles. La temperatura y la atmósfera que rodea al producto dentro del envase son dos factores importantes para prolongar su vida útil (Mastromatteo, *et al.*, 2012). Es por eso que, se quiere estudiar el efecto que tiene el tipo de envase en combinación con atmósferas modificadas sobre las guayabas frescas-cortadas, para lo cual es importante conocer en qué consisten las atmósferas modificadas.

1.7 ATMÓSFERAS MODIFICADAS

Una de las áreas de investigación que ha demostrado ser prometedora, y que tiene éxito, es el de envasado en atmósfera modificada (MAP por sus siglas en inglés *Modified Atmosphere Packaging*). El envasado en MAP puede ser interpretado como un sistema dinámico con dos flujos de gases, la velocidad de respiración del producto fresco y el intercambio de gases a través del material de envasado (Mastromatteo, *et al.*, 2012). Esta técnica ya sea activa o pasiva implica el control o la modificación de la atmósfera que rodea al producto dentro de un envase hecho de varios tipos y/o combinaciones de polímeros. En América del Norte, una de las primeras aplicaciones de esta tecnología para productos listos para consumir fue presentada por McDonald, que utilizó MAP para lechuga en paquetes de tamaño a granel para distribuir el producto a los puntos de venta (Farber, *et al.*, 2003).

Es una técnica utilizada para prolongar el tiempo de vida útil de los alimentos frescos o mínimamente procesados; de esta manera el estado fresco inicial del producto puede ser prolongado, la vida útil de los productos perecederos como la carne, el pescado, las frutas y verduras se prolongará con el uso de atmósferas modificadas, ya que disminuye el deterioro natural del alimento. En general, las composiciones de gas dentro de un envase MAP son bajas en O₂ y altas de CO₂, dependiendo principalmente de la temperatura de almacenamiento, el peso del producto y velocidad de respiración, las

velocidades de transmisión del envase de O₂ y CO₂ y la superficie total del envase (Mastromatteo, *et al.*, 2012).

Los beneficios se derivan principalmente de la atmósfera de gas modificado que rodea el producto que es creado por la respiración del producto y la resistencia de la película polimérica al O₂ y la difusión del CO₂ (Yan & Sugar., 2013). Por lo tanto, con el fin de lograr una atmósfera deseada en el paquete, es conveniente entender las tres disciplinas básicas que sustentan las atmósferas modificadas: los cambios fisiológicos (tales como los factores extrínsecos e intrínsecos que se producen y que afectan la velocidad de respiración), las características del polímero (que identifica las propiedades específicas de velocidad de transmisión química y física del polímero) y la tecnología de la conservación (que implica la fabricación de polímeros, películas, adhesivos, tintas y aditivos en paquetes de monocapa o de múltiples capas, con o sin perforación). Existe el diseño eficaz y eficiente de los recursos MAP en las intersecciones de estas tres disciplinas, la creación innovadora de una solución de envasado que es impulsada por la demanda del consumidor y equilibrada con la sostenibilidad ambiental.

La permeabilidad de la película al gas debe coincidir con el requisito del alimento y la temperatura de almacenamiento para asegurar la creación de la atmósfera y la humedad relativa necesaria para mantener la calidad y prolongar la vida postcosecha sin crear condiciones indeseables (por ejemplo, condiciones anaeróbicas, daños por CO₂, la condensación dentro del paquete) (Yan & Sugar., 2013). Para generar en el alimento envasado una atmósfera modificada correcta y así prolongar su tiempo de vida es importante conocer las características y funcionalidad de las dos principales que existen; la atmósfera activa y la pasiva.

1.7.1 ATMÓSFERA MODIFICADA PASIVA

Es un sistema que sirve como una barrera física entre el producto y el medio ambiente que rodea el envase; esta ocurre cuando el producto sellado está en un envase hecho con una película seleccionada, esta atmósfera se desarrolla naturalmente como

consecuencia de la respiración del producto y la difusión de gases a través de la película, la composición inicial en el interior es similar a la del aire y la cual cambia durante el almacenamiento como resultado de la respiración del producto envasado y el intercambio de gases a través de la superficie del envase. En general, se espera que estos envases puedan proporcionar una protección máxima del producto, pero no interactúan con ningún cambio que pudiera ocurrir dentro del envase (Ye, 2012; Montero-Calderon, 2009; Singh, 2014).

1.72 ATMÓSFERA MODIFICADA ACTIVA

Se crea mediante la sustitución del aire en el paquete con una mezcla deseada de gases antes de sellar los envases. Se utiliza la disminución de oxígeno (O_2) y el aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO_2) para controlar el crecimiento de microbios, la disminución de la velocidad de respiración del producto, la preservación de su calidad y prolongar su vida útil (Ye, 2012).

Tanto la velocidad de respiración de estos productos y permeabilidad de la película dependen de factores extrínsecos como la temperatura. Por lo tanto, el propósito de la aplicación de atmósferas modificadas es para mantener un ambiente deseable dentro de un rango de temperatura específico. El uso de atmósferas modificadas ayuda a retardar la aparición de síntomas de deterioro como la pérdida de firmeza, cambios de color, apariencia del alimento y reducción en la velocidad de respiración con lo cual la vida útil puede prolongarse significativamente; sin embargo el efecto difiere según el tipo de producto, la composición de los gases y las características de los envases (Montero-Calderon, 2009).

1.7.3 GENERACIÓN DE ATMÓSFERAS MODIFICADAS

Los tres principales gases utilizados en el envasado en atmósferas modificadas son CO_2 , O_2 y N_2 . La elección del gas es muy dependiente del alimento; utilizados solos o en combinación, estos gases son comúnmente usados para mantener una relación

proporcional en el aumento de vida útil con las óptimas propiedades organolépticas del alimento.

- a. **DIÓXIDO DE CARBONO:** El dióxido de carbono es un gas incoloro con un ligero olor acre en concentraciones muy altas. Es un asfixiante y ligeramente corrosivo en presencia de humedad. CO_2 se disuelve fácilmente en agua (1,57 g / kg a 100 kPa, 20° C) para producir ácido carbónico (H_2CO_3) que aumenta la acidez de la solución y reduce el pH. Esto tiene implicaciones importantes para la MAP de los alimentos. La alta solubilidad del CO_2 puede dar como resultado el aplastamiento del paquete debido a la reducción del volumen de espacio libre.
- b. **OXÍGENO:** El oxígeno es un gas incoloro e inodoro que es altamente reactivo y es compatible con la combustión. Tiene una solubilidad baja en agua (0,040 g / kg a 100 kPa, 20° C). El oxígeno promueve varios tipos de reacciones de deterioro de los alimentos, incluyendo la oxidación de grasas, reacciones de oscurecimiento y la oxidación del pigmento. La mayoría de las bacterias y los hongos de deterioro comunes requieren oxígeno para el crecimiento. Por lo tanto, para aumentar la vida útil de los alimentos la atmósfera dentro del envase debe contener una baja concentración de oxígeno residual.
- c. **NITRÓGENO:** El nitrógeno es un gas que prácticamente no reacciona con ningún olor, sabor o color, este gas reduce el crecimiento de microbios aerobios y por lo tanto inhibe el crecimiento y el deterioro, pero no impide el crecimiento de bacterias anaeróbicas, también se puede utilizar para prevenir el aplastamiento del paquete mediante la inclusión de suficiente N_2 en la mezcla de gas para equilibrar la disminución de volumen debido al CO_2 dentro de la mezcla (Sandhya, 2010).

En cuanto al tratamiento de atmósferas controladas es factible utilizar una concentración de 4 a 6 % de O_2 para prolongar la vida de anaquel de los frutos sin alteraciones en el proceso de maduración y calidad. Ya que concentraciones de O_2 por debajo de 8% reducen la producción de etileno, un componente clave del proceso de maduración (Farber, *et al.*, 2003). Concentraciones bajas de O_2 (0.5%) pueden afectar el fruto de guayaba (Gaona, 2002). También se ha establecido que a un nivel de O_2 del 2%

la respiración anaeróbica puede favorecer el desarrollo de malos sabores y olores. Si la permeabilidad (para O₂ y CO₂) de la película de envasado se adapta para no afectar la respiración del producto, una atmósfera modificada en equilibrio se establecerá en el paquete y la vida útil del producto aumentará. Ya que las atmósferas modificadas promueven una reducción de los procesos metabólicos asociados con la maduración y senescencia de estos productos. Bajos niveles de oxígeno y/o niveles elevados de dióxido de carbono en la atmósfera de almacenamiento pueden inhibir su respiración, lo que retrasa la maduración y la promoción de la extensión de vida útil (Pereira, 2004; Sandhya, 2010)

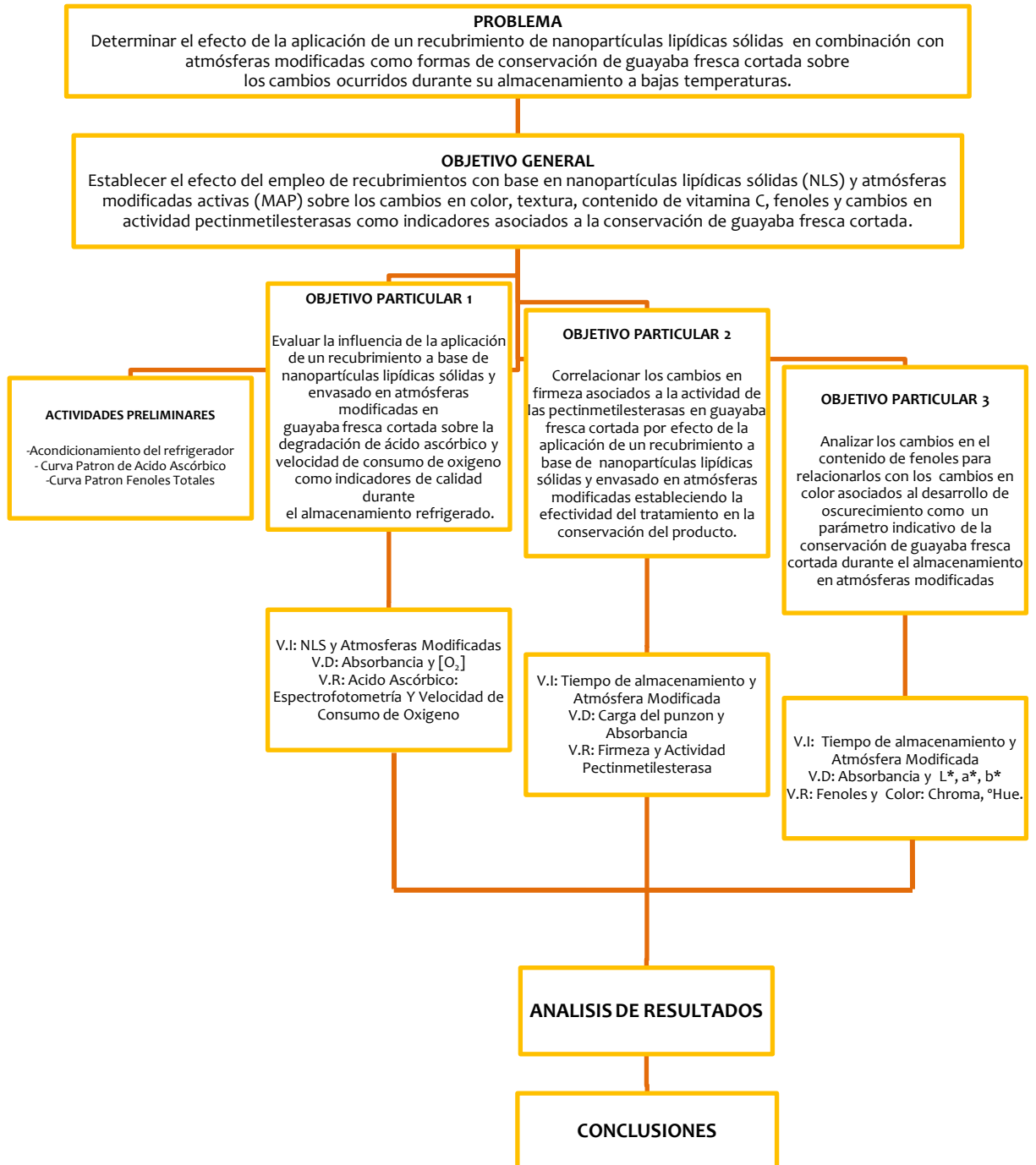
1.7.4 VENTAJAS DE LAS ATMÓSFERAS MODIFICADAS

- Prolongan la vida útil en el almacenamiento de los productos frescos hasta 50-400%.
- En general, los productos frescos-cortados son más tolerantes a altas concentraciones de CO₂ que el producto entero.
- Reducen las pérdidas económicas.
- Proporcionan un producto de alta calidad.
- Paquetes inodoros y prácticos.
- Envases sellados pueden actuar como obstáculos de una re-contaminación del producto.
- Retrasan la maduración.
- Mejoran de la presentación, vista clara del producto y la visibilidad en todas direcciones.

También son muy eficaces en la preservación de la calidad de las verduras frescas y procesadas y en la reducción de la incidencia de enfermedades postcosecha (Ramos, 2013).

CAPÍTULO II METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1. CUADRO METODOLÓGICO



2.2. PROBLEMA

Establecimiento del efecto de la aplicación de un recubrimiento de nanopartículas lipídicas sólidas en combinación con atmósferas modificadas como formas de conservación de guayaba fresca cortada sobre los cambios ocurridos durante su almacenamiento a bajas temperaturas.

2.3. OBJETIVO GENERAL

Establecer el efecto del empleo de recubrimientos con base en nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) y atmósferas modificadas activas (MAP) sobre los cambios en color, textura, contenido de vitamina C, fenoles y cambios en actividad pectinmetilesterasas como indicadores asociados a la conservación de guayaba fresca cortada.

2.4. OBJETIVOS PARTICULARES

- 2.4.1.** Evaluar la influencia de la aplicación de un recubrimiento a base de nanopartículas lipídicas sólidas y envasado en atmósferas modificadas en guayaba fresca cortada sobre la degradación de ácido ascórbico y velocidad de respiración como indicadores de calidad durante el almacenamiento refrigerado.
- 2.4.2.** Correlacionar los cambios en firmeza asociados a la actividad de las pectinmetilesterasas en guayaba fresca cortada por efecto de la aplicación de un recubrimiento a base de nanopartículas lipídicas sólidas y envasado en atmósferas modificadas estableciendo la efectividad del tratamiento en la conservación del producto.
- 2.4.3.** Analizar los cambios en el contenido de fenoles para relacionarlos con los cambios en color asociados al desarrollo de oscurecimiento como un parámetro indicativo

de la conservación de guayaba fresca cortada durante el almacenamiento en atmósferas modificadas.

2.5. MATERIALES Y MÉTODOS

2.5.1. Materiales

Pluronic® F-127 (poloxamero-407 $P_M = 9\ 840 - 14\ 600$) fue utilizado como estabilizante, glicerol ($P_M = 76.09\ \text{g/mol}$; $\rho = 1.036\ \text{g/cm}^3$) fue utilizado como plastificante y goma Xantana *Xanthomonas campestris* ($P_M \approx 2 \times 10^6\ \text{g/mol}$ y $\mu = 7627\ \text{mL/g}$) fue utilizada como material formador de película proporcionados por Sigma-Aldrich® (México). La cera de Candeuba® (Mezcla de cera de carnauba y candelilla, punto de fusión $82 - 86\ ^\circ\text{C}$) fue proporcionada por Multiceras S.A. de C.V. (México). Hidróxido de sodio se obtuvo de J.T. Baker (Nueva Jersey, EUA). El agua destilada se obtuvo de un equipo MilliQ® (Millipore Corp., Massachusetts, EUA). 2,6 diclorofenol – indofenol y Folin-Ciocalteu Sigma-Aldrich®.

2.5.2. Material biológico

Las guayabas verde-amarillas (*Psidium guajava L.* variedad media china) provenientes del estado de Michoacán, México adquiridas en la central de abastos de Cuautitlán, México y almacenadas a $10\ ^\circ\text{C}$ previo a su utilización. La fruta fue seleccionada cuidadosamente de acuerdo a su tamaño (4.6 a 5.6 cm de diámetro radial) y la uniformidad de color, de acuerdo con la descripción realizada por Mercado-Silva, *et al.*, 1998.

2.5.3. Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS)

Las NLS se prepararon por el método de alta velocidad de cizalla en caliente a $85\ ^\circ\text{C}$, empleando para su preparación cera de carnauba al 10 % y que fue adquirida en Multiceras S. A. de C. V., se empleó como estabilizante polivinil alcohol, siguiendo la metodología propuesta por Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2013.

2.5.4. Tamaño de Partícula (TP), Índice de Polidispersión (IPD) y Potencial Zeta (ζ)

El TP e IPD se determinaron por la técnica de dispersión de luz láser en un ángulo fijo de 273°, a una temperatura de 25 °C usando un Z-sizer Nano ZS90 (Malvern Zetasizer Mod. ZEN3690, U.K). Las dispersiones se diluyeron con agua Milli-Q®, de acuerdo con el histograma de frecuencias volumen. El ζ fue evaluado usando un Z-sizer Nano ZS90 (Malvern Zetasizer Mod. ZEN3690, U.K) una vez diluidas con agua Milli-Q® a 0.01%, el valor del potencial zeta fue normalizado con dispersión patrón de poliestireno ($\zeta = -55$ mV), las mediciones fueron realizadas a 25°C por triplicado.

2.5.5. Preparación y aplicación del recubrimiento

Las dispersiones formadoras de película fueron preparadas a partir de la suspensión de NLS que contenía 10 % de cera de Candeuba® de tal manera que se obtuvieran concentraciones de NLS del 5 y 10 %. Estas fueron incorporadas a una matriz de polisacárido y plastificante que contenía goma xantana (0.3 %) y glicerol (0.5 %). Previo a la aplicación de los recubrimientos, las guayabas fueron lavadas y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm, una vez cortadas fueron inmersas en una solución plata coloidal (0.05 %) durante 5 min. para después ser inmersas en una solución de cloruro de calcio al 1% durante 2 min. por último las guayabas fueron inmersas en el recubrimiento correspondiente a 4 °C durante 3 min. retirando el exceso de líquido.

2.5.6. Envasado de la guayaba

El envasado de la guayaba se realizó en una envasadora de campana MULTIVAC (A300/16 Sepp Haggemuller GmbH & Co, Alemania) acoplada a un mezclador de gases (MAP MIX 9001-3/200B Dansensor®, España) con una mezcla de gases de 90% N₂, 5% O₂ y 5% CO₂ (atmósfera activa) o aire ambiental (atmósfera pasiva) utilizando el programa no. 5 con un vacío de 150 mmHg y un tiempo de sellado de 3 segundos y una

presión de inyección de gases de 8.5 – 10 bar utilizando como material de envase polipropileno o poliestireno de baja densidad según el tratamiento.

2.5.7. Actividades preliminares

2.5.7.1. Acondicionamiento del frigorífico

El acondicionamiento de la cámara de refrigeración fue en función de la temperatura, humedad y velocidad del aire; para la temperatura se utilizó el termopar Data Logger, Lascar Electronics® (Modelo EL-USB-2-LCD, Pennsylvania, EUA) y para la velocidad del aire un anemómetro Davis Turbo meter®; una vez registradas las temperaturas se llevaron a cabo los ajustes necesarios para mantener una temperatura promedio de 7 °C.

2.5.8. Métodos

2.5.8.1. Pérdida fisiológica de peso

Se llevó a cabo un control de pérdida de peso cada tercer día con respecto al peso inicial del envasado de la guayaba, con el propósito de evaluar el porcentaje de pérdida de peso de cada uno de los sistemas. Se determinó gravimétricamente con una balanza analítica, utilizando la siguiente ecuación y se expresó como porcentaje de pérdida de peso:

$$\%PFP = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} * 100 \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Dónde: %PFP = Porcentaje de pérdida fisiológica de peso

P_f = Peso final (g)

P_i = Peso inicial (g).

2.5.8.2. pH

La variación en pH por efecto del almacenamientos y cambios en la fruta se midió con un potenciómetro (Hanna 213, Portugal), previo a la determinación este se calibro con solución buffer de 7 y 4. El pH se midió en muestras de guayaba previamente homogenizadas, todas las determinaciones se realizaron por triplicado a 25 °C.

2.5.8.3. Sólidos solubles (°Brix)

La determinación de °Brix se realizó mediante un refractómetro (AO 10431 Scientific Instruments, EUA), se tomó una muestra de 5 guayabas previamente homogenizada y se colocó en el prisma y tomando la lectura correspondiente, los ensayos se realizaron por triplicado a 25 °C.

2.5.8.4. Acidez titulable

Se determinó en porcentaje de ácido cítrico (método AOAC 942.15) mezclando 10 g de pulpa de guayaba con 15 m L de agua destilada y 4 gotas de fenolftaleína (1%), se tituló con una solución de hidróxido de sodio (0.2 N) realizándose por triplicado a 25 °C.

2.5.8.5. Concentración de oxígeno

El oxígeno consumido se determinó mediante un analizador de oxígeno (Quantek 905, EUA) haciendo un monitoreo cada tercer día con el fin de llevar un seguimiento del consumo de oxígeno de la guayaba envasada. Este se reportó en porcentaje de acuerdo a la metodología propuesta por Zambrano-Zaragoza *et al.*, (2014a) realizándose por triplicado a 25 °C.

2.5.8.6. Consumo de oxígeno

La determinación de la velocidad de respiración, se realizó mediante el método estático utilizando un analizador de oxígeno (Quantek 905, EUA). En donde a un contenedor de sello hermético de volumen conocido se le adicionó guayaba en masa conocida y se cerró, quedando con una composición gaseosa interna igual a la atmosférica como menciona Fonseca *et al.*, (2002). Se midió el cambio de concentración de O₂ durante 5 horas y estos cambios se usaron para estimar la velocidad de respiración usando la siguiente ecuación:

$$R_{O_2} = \frac{(O_{2i} - O_{2f}) * V_l}{100 * M * (t_f - t_i)} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Dónde: R_{O₂} = Velocidad de respiración de la guayaba (mL/g·s), O_{2i} = concentración inicial de oxígeno (%), O_{2f} = concentración final de oxígeno (%), V_l = volumen libre en el contenedor (mL), M = masa del producto (g), t_f = tiempo final (s) y t_i = tiempo inicial (s).

2.5.8.7. Colorimetría

Para la evaluación de color se utilizó una cámara digital Fujifilms® (12 megapíxeles, sin flash y temporizador de 2 segundos) la cual está colocada en un tripie dentro de una caja negra de medidas de 32.5 x 42.5 x 41 cm impermeable a la luz, con una iluminación interna proporcionada por dos focos de 10 watts, en el interior de esta se colocaron una muestra de guayaba que se seleccionó al azar de cada tratamiento, las fotografías obtenidas fueron analizadas con el programa Photoshop CS6 de acuerdo a la metodología propuesta por Briones y Aguilera (2005) obteniendo las coordenadas de color CIE (Comisión Internacional de l'Éclairage) L* a* b* realizándose por triplicado.

El croma que indica la intensidad o saturación de color, se calculó mediante la

ecuación de acuerdo a Luna *et al.*, (2006):

$$\text{Croma} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

El índice de oscurecimiento se calculó de acuerdo a Zambrano-Zaragoza *et al.*, (2014b):

$$\text{IO} = \frac{[100(x-0.31)]}{0.172} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

2.5.8.8. Textura

Para la evaluación de la textura se utilizó un Texturómetro (Brookfield CT3 EUA) una mesa estándar TA-BT-KIT, con una fuerza de compresión de 15 kg. Se colocó una muestra de guayaba con un espesor de 6.5 mm ± 0.3 mm el cual fue penetrado por un punzón de 6 mm de diámetro (TA41) con una velocidad de 2.5 mm/s y una carga de activación de 0.10 N, con lo cual se obtuvieron los valores de firmeza (N) así como el valor del módulo de Young (MPa) de cada muestra realizándose por triplicado a 25 °C.

2.5.8.9. Fenoles totales

El método colorimétrico de Folin-Ciocalteu estima los polifenoles totales en diferentes alimentos (Haminiuk, 2012), para ello se mezclaron 5 g de guayaba con 50 mL de agua destilada, se centrifugaron y posteriormente se filtraron. Se toman los 20µL de extracto, posteriormente se le añade el agua, reactivo Folin-Ciocalteu y carbonato de calcio, se deja reposar por 2 horas y se lee la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Visible (Genesys 10s, EUA) (Rossi Jr. & Singleton, 1965).

Los resultados se reportaron como equivalentes de ácido gálico. Las muestras se realizaron para cada tratamiento por triplicado a 25 °C.

2.5.8.10. Pectinmetilesterasas (PME)

Los cambios enzimáticos de la actividad PME (EC 3.1.1.11) se determinaron de acuerdo al método propuesto por Hagerman y Austin (1986) basado en el cambio de color de un indicador de pH durante la reacción catalizada por la PME. Para hacer el extracto crudo se toma una muestra de 9 g de guayaba y se homogenizan con NaCl (8.8%) a una temperatura de 4 °C después se centrifuga y filtra, se mezcla 100 µL del extracto filtrado con pectina cítrica, agua, azul de bromotimol (pH 7.5) se deja actuar durante un minuto, midiendo la absorbancia a 620 nm en un espectrofotómetro UV-Visible (Genesys 10s, EUA). Las muestras se realizaron para cada tratamiento por triplicado a 25 °C. La actividad de la PME se calculó mediante la diferencia de absorbancias con respecto al tiempo.

2.5.8.11. Ácido ascórbico

El ácido ascórbico fue cuantificado espectrofotométricamente de acuerdo a la técnica propuesta por (Ranganna, 1977) con algunas modificaciones. Para preparar el extracto se tomó una muestra representativa de 50 g de guayaba y se mezcló con ácido fosfórico (HPO₃) al 6 %, se centrifugó durante 20 min y después se filtró, se tomó una alícuota de 1 mL y se aforó a 50 mL con ácido fosfórico (HPO₃) al 6 % y después se midió una alícuota de 5mL y se le añadió indicador 2,6-diclorofenol-indofenol, se midió la absorbancia a 520 nm un espectrofotómetro UV-Visible (Genesys 10s, EUA) reportando los valores en mg/100 g. Las muestras se realizaron para cada tratamiento por triplicado a 25 °C.

$$\frac{\text{mg de ácido ascórbico}}{100\text{g de muestra}} = \frac{A_c * B * 100}{C * 1000 * m} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Dónde: A_c = Contenido de ácido ascórbico estimado en la curva patrón (mg), B= Volumen aforado, C: Volumen de la Solución, m: Masa de la muestra (g).

2.5.8.12. Análisis estadístico

Se realizó un diseño factorial completo con 3 factores y dos niveles de variación con la finalidad de conocer las diferencias significativas entre los factores independientes y los factores explicativos mediante un ANOVA de una vía ($\alpha=0.05$) utilizando el programa estadístico MINITAB 17 (Minitab Inc., PA, EUA).

Tabla 3. Diseño de Experimentos Factorial Completo.

Factores	[NLS] (g/L)	Atmósfera	Envase
Niveles	5	Pasiva	Polietileno
	10	Activa	Polipropileno

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Acondicionamiento de la Cámara de Refrigeración

La distribución de temperaturas en el sistema de enfriamiento fueron en promedio de 7 ± 1 °C, con humedad relativa del 85 % y velocidad del aire de 0.31 m/s, con lo cual se generó una distribución de aire y temperatura homogénea dentro del equipo utilizado para llevar acabo el almacenamiento del producto.

3.2 Caracterización del Sistema Submicrónico (NLS)

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la caracterización del sistema nanoparticulado (NLS):

Tabla 4. Tamaño de partícula, índice de polidispersión y potencial zeta de las nanopartículas lipídicas sólidas

Tamaño de Partícula (nm)	Índice de Polidispersión	Potencial Zeta (mV)
245 ± 14	0.16 ± 0.06	- 36.41

La tabla 4 confirma que las nanopartículas lipídicas sólidas presentan las características necesarias para ser aplicadas como recubrimiento a las guayabas frescas cortadas de acuerdo a lo establecido por Zambrano-Zaragoza *et al.*, (2013) quien reporta que estas nanopartículas deben de tener un tamaño de partícula entre 326 a 239nm y que estas suspensiones son estables durante el tiempo de almacenamiento, garantizando la preservación y la funcionalidad del recubrimiento

3.3 Pérdida Fisiológica de Peso

La pérdida de peso es importante reducirla principalmente en el caso de las frutas frescas-cortadas y el uso de recubrimientos es una excelente herramienta para controlarla. Para ambos envases polietileno (PP) y polipropileno de baja densidad

(PEBD) después del día cero la pérdida de peso de todos los tratamientos empezó a aumentar progresivamente proporcional al tiempo de almacenamiento.

Esto se atribuye a que el recubrimiento de nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) es una barrera semipermeable al vapor de agua proveniente de la transpiración natural de la guayaba y estas concentraciones de recubrimiento (5 y 10%) permiten que continúe la maduración de la guayaba, por lo tanto, al aumentar el grado de madurez la resistencia de los tejidos de su pericarpio empiezan a perder fuerza conforme transcurre el tiempo, lo que permite el paso del vapor de agua haciendo que pierda humedad y en consecuencia de peso.

El efecto que tiene el recubrimiento a una concentración del 10% de NLS es visible en la figura 12 principalmente en el envase de PP en combinación con una atmósfera activa ya que, estos presentan menor pérdida de peso durante el periodo de almacenamiento, esta combinación de atmósfera activa con mayor concentración de NLS hizo que la pérdida de peso para este envase fuera prácticamente constante con valores iniciales de 2.48 % hasta alcanzar valores finales de 2.58 %.

El uso de películas poliméricas (como es el caso de NLS) en atmósferas modificadas sirven como barrera semipermeable para el movimiento del vapor de agua y con esto mantener un alto nivel de humedad relativa dentro del envase y así reducir la pérdida de peso de las guayabas.

Para el caso del tratamiento con atmósfera pasiva la pérdida de peso tiende a aumentar para ambas concentraciones de recubrimiento teniendo un efecto significativo ($p \leq 0.05$). Lo que sugiere que el recubrimiento en combinación con atmósfera modificada pasiva aumentan la pérdida de peso, estos resultados son similares a los reportados por Waghmare & Annapure, (2013) para papaya fresca-cortada, quien determino una diferencia significativa en tratamientos con y sin MAP.

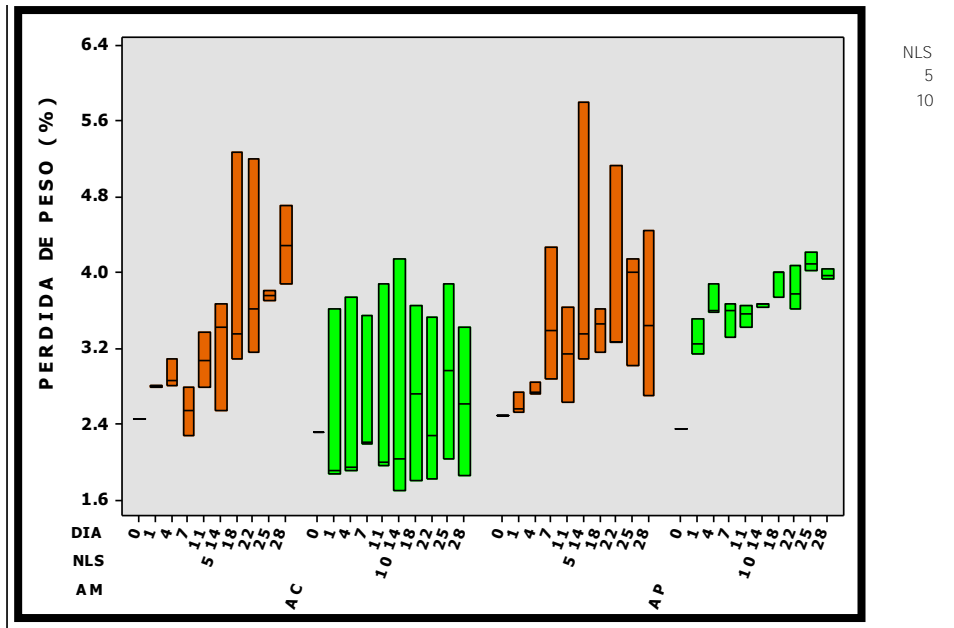


Figura 12. Porcentaje de pérdida de peso en guayaba fresca-cortada recubierta a dos concentraciones de 5 y 10% de NLS almacenada en atmósfera modificada activa y pasiva envasada en polipropileno

En la Figura 13 se muestra los resultados para pérdida fisiológica de peso en polietileno de baja densidad (PEBD) en los cual se reporta que los valores con menor pérdida de peso son los de los tratamientos (Atm – Activa con 10% NLS y también los de Atm – Pasiva con ambas concentraciones de NLS) esto se atribuye a una mayor resistencia del pericarpio de la guayaba a la difusión del vapor del medio durante los primeros días de almacenamiento y conforme aumenta el tiempo es mayor la pérdida de peso.

En el envase PEBD la variable que tiene mayor efecto es el recubrimiento ya que los tratamientos con 10% de concentración de NLS para ambas atmósferas incrementan constantemente su pérdida de peso proporcional al tiempo de almacenamiento, en comparación con el envase de PP (Fig. 12) esto se puede atribuir a que al aumentar la concentración de las NLS sobre la superficie de la guayaba, además de la formación de agregados de los mismos aumento el área superficial, que dificultó el transporte de agua

al interior del fruto, lo cual generó un ambiente anaerobio que llevó a un consumo acelerado de sustratos y por tanto una mayor pérdida de peso (Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2013).

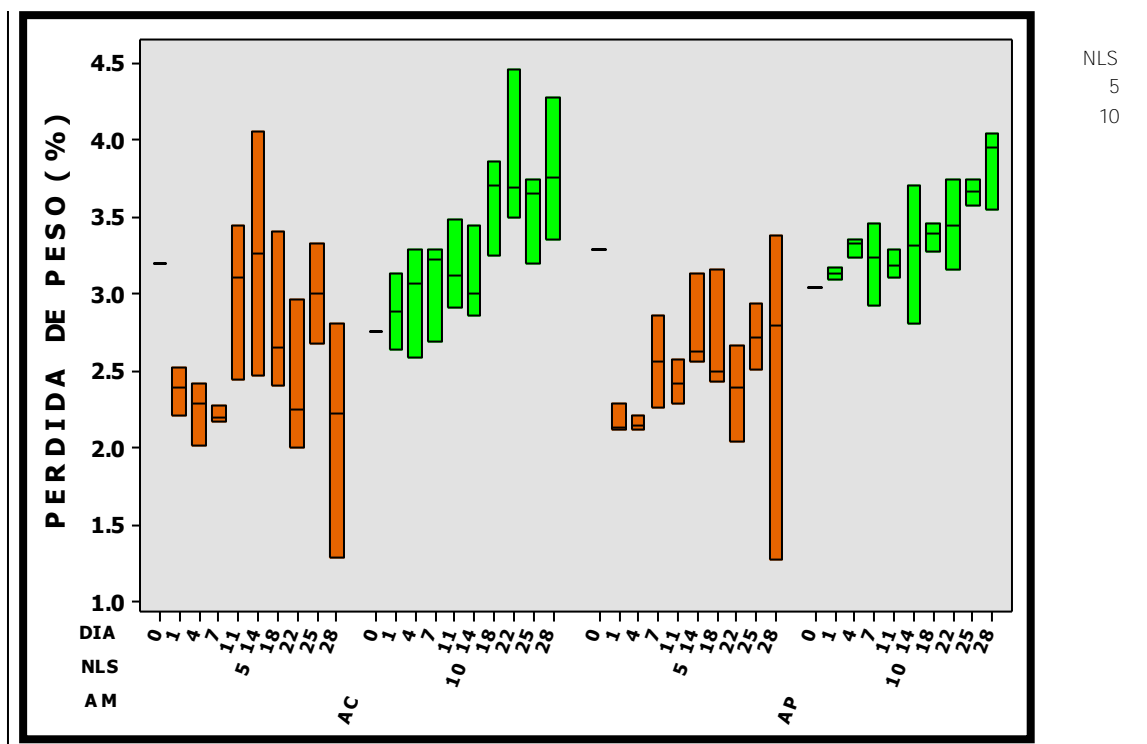


Figura 13. Porcentaje de pérdida de peso en guayaba fresca-cortada recubierta a dos concentraciones de 5 y 10% de NLS almacenada en atmósfera modificada activa y pasiva envasada en polietileno de baja densidad

El recubrimiento con 5% de NLS tiene mayor variación en los resultados obtenidos pero una menor pérdida de peso (Atm - Act de 2.37 a 2.15% y Atm - Pas de 2.18 a 2.84%) que el recubrimiento de concentración de 10% de NLS a las mismas condiciones lo cual se atribuye a que al ser un recubrimiento con menor concentración de NLS permite una mayor interacción entre el aire contenido en el envase y la transpiración natural de la guayaba, ya que la velocidad de transpiración de las frutas durante la manipulación y el almacenamiento postcosecha está influenciada por varios factores que se producen, como lo son las lesiones superficiales tales como el corte que tienen las guayabas, el tiempo de almacenamiento y la interacción con el aire del medio; pues a

pesar de que los recubrimientos de polisacáridos tienen una alta selectividad para el O₂ y CO₂, son muy permeables al vapor de agua, para evitar esto la adición de lípidos a los recubrimientos comestibles se considera como reforzamiento (Ribeiro, *et al.*, 2007).

Estos resultados fueron similares a los reportados por (Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2013) en los que obtuvo para guayaba menor pérdida de peso en concentraciones de 60 – 65 g/L de NLS que en las de mayor concentración. Así mismo, en cuanto al tipo de envase, el que presentó una mayor pérdida de peso para ambas atmósferas fue el de polipropileno (Fig.12) en comparación con el envase de polietileno de baja densidad (Fig. 13). Se establece que la variable que tiene mayor efecto significativo sobre la pérdida fisiológica de peso es la concentración de NLS así como la interacción del tipo de envase con el tipo de atmósfera ($\alpha = 0.05$).

3.4 pH

En la Figura 14 se presentan las tendencias del pH en las muestras durante el periodo de almacenamiento. La disminución de los valores de pH pueden estar asociados con la producción de ácidos orgánicos tales como los ácidos málico y cítrico durante el almacenamiento.

Durante los primeros 14 días de almacenamiento a 5 % de concentración de NLS hay una disminución considerable del pH, estadísticamente esto es resultado de la interacción que tienen el recubrimiento con la atmósfera modificada y el tipo de envase ya que presentan un efecto positivo ($P \leq 0.05$) y a partir de este día se vuelve a incrementar con pequeñas variaciones por lo que se infiere que hay una descomposición en los ácidos orgánicos, lo que se contrasta con los resultados de acidez obtenidos. Esta tendencia en el pH también es reportado por Waghmare & Annapure, (2013) quien determinó una disminución significativa en el pH de papaya fresca-cortada, siendo esta disminución más lenta en aquellas muestras que fueron envasadas en MAP.

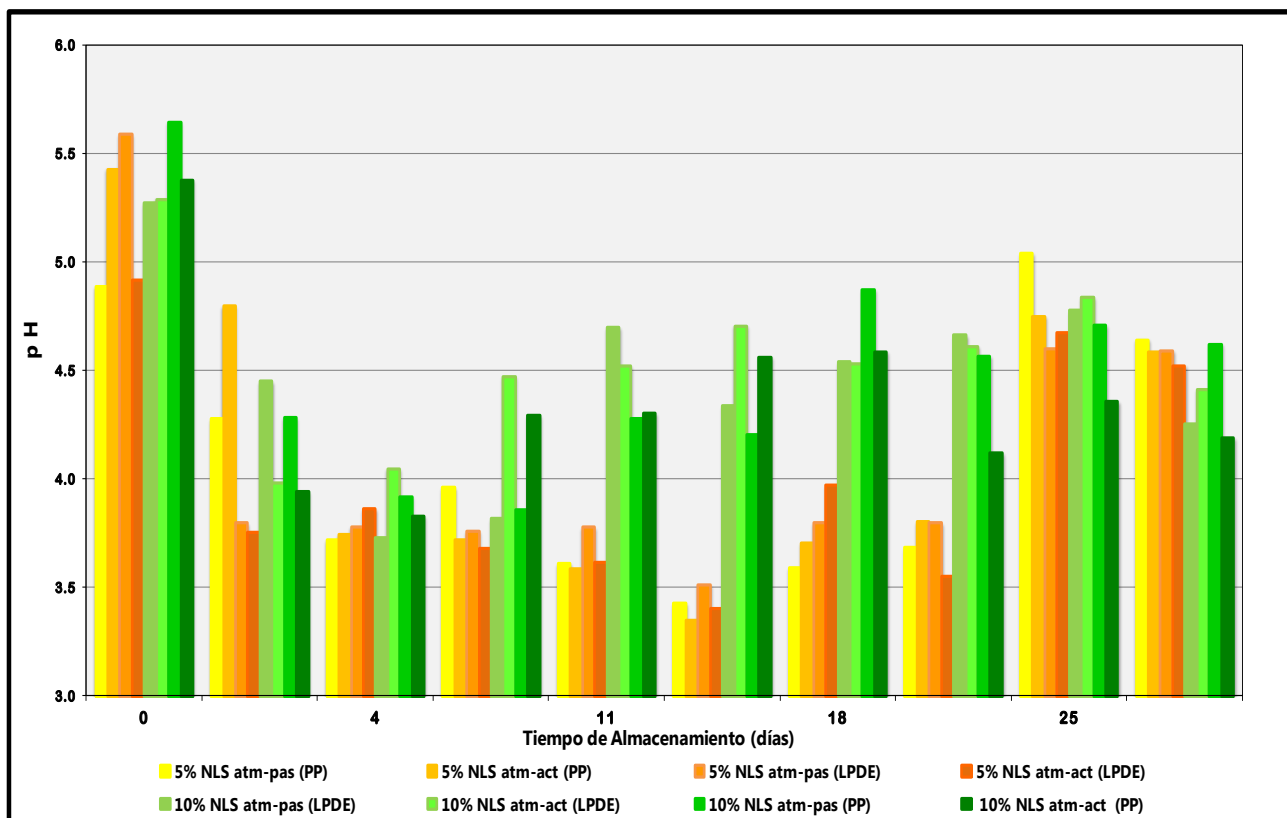


Figura 14. Efecto de la concentración de NLS sobre el pH de guayaba fresca-cortada almacenada en atmósfera modificada en envase de polipropileno y polietileno

En contraste, a 10 % de concentración de NLS el efecto que se presenta es distinto, ya que a partir del cuarto día de almacenamiento el pH incrementa de manera directa, presentando pequeñas variaciones entre los tratamientos con respecto a la atmósfera y envase empleado con pequeñas variaciones hasta el final del almacenamiento, estos valores se encuentran en un rango de 4.2 y 4.5.

Resultados similares fueron reportados por Tirkey, *et al.*, (2014) quien los primeros 12 días reporto un aumento en el pH de papaya fresca-cortada almacenada a bajas temperaturas. Los cambios en pH están asociados al proceso natural de senescencia de la fruta. Sin embargo, este comportamiento natural puede ser controlado por el almacenamiento a bajas temperaturas (Menezes Oliveira, *et al.*, 2012) así como el uso de un recubrimiento. En la figura 15 correspondiente al día 14, se establece estadísticamente que el envase de PEBD ejerce una mayor influencia sobre el pH en la

guayaba ($p \leq 0.05$) en comparación con el envase de PP ya que como se observa es con este tipo de envase que se obtienen los valores más altos para ese día, siendo principalmente los de concentración de 10% de NLS quien tenga mejor retención del pH.

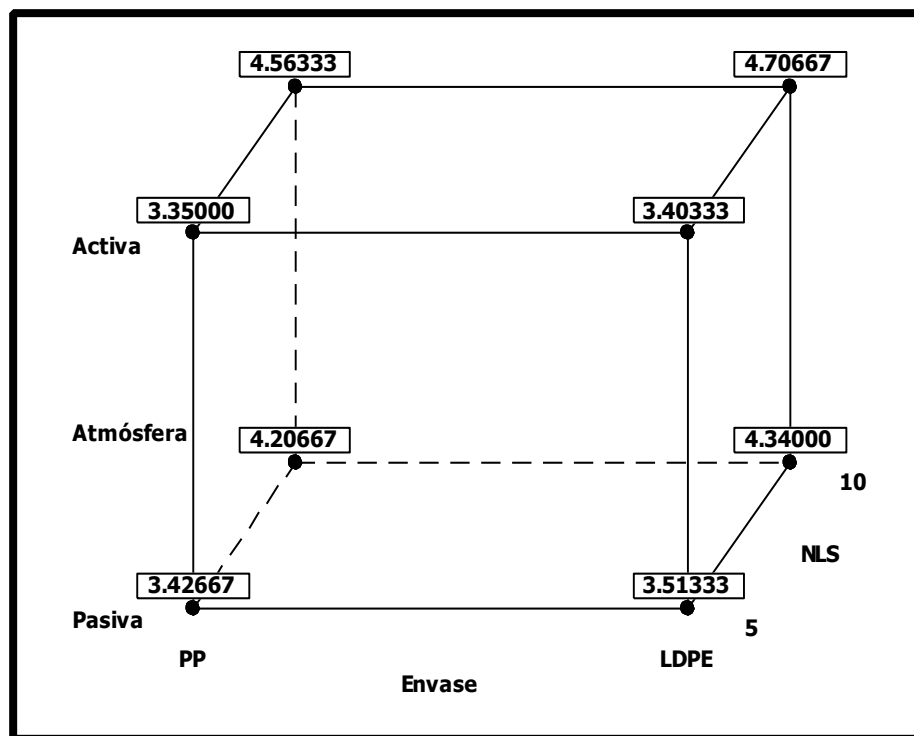


Figura 15. Gráfica de cubo para el pH en el día 14 de almacenamiento de guayaba fresca-cortada en sus diferentes tratamientos de estudio

3.5 Sólidos Solubles (°Brix)

En la figura 16 se muestra la evolución de los cambios obtenidos para el contenido de sólidos solubles en la muestras para ambos envases a) polipropileno y b) polietileno de baja densidad. En las muestras envasadas con Atm – Act se denota poca variabilidad en los resultados, al igual que en la pérdida de peso (Fig. 12) a las mismas condiciones. A concentraciones de NLS de 5% con Atm – Pas los valores registrados para °Brix presentan valores en un intervalo de 9 – 11.

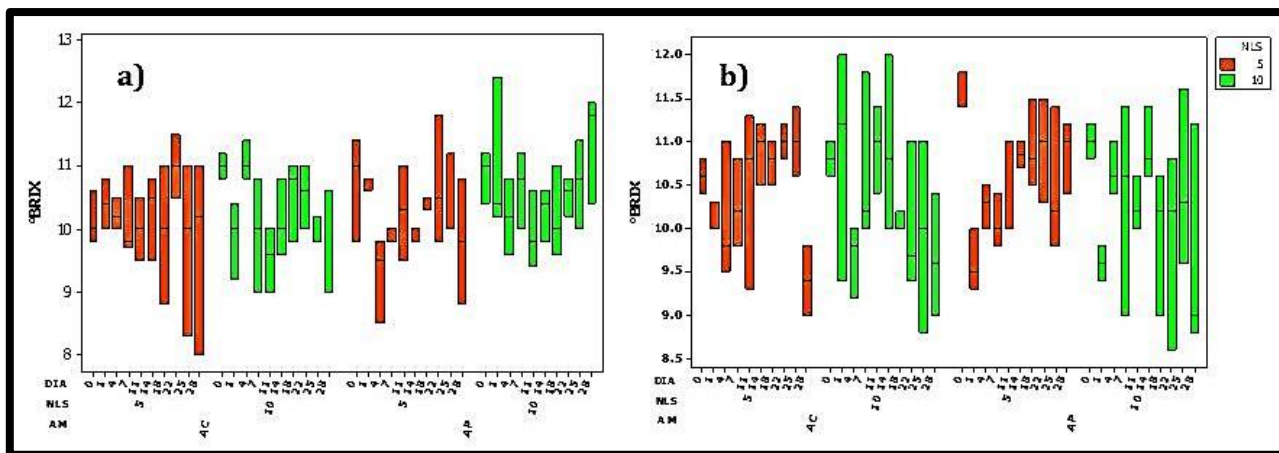


Figura 16. Cambios en sólidos solubles de guayaba durante el tiempo de almacenamiento a) envase de polipropileno y b) envase de polietileno de baja densidad

El contenido de sólidos solubles de las muestras del envase de PEBD (Figura 16b) con recubrimiento de 5% NLS para ambas atmosferas presentan un aumento proporcional al tiempo de almacenamiento después del día de envasado que va de 10.10 a 11.00 °Brix en Atm – Act y de 9.60 a 10.86 °Brix en Atm – Pas; este incremento también es reportado por Palk (2004), quien obtuvo sólidos solubles que iban de 7.5-8 hasta 10-11°Brix durante 18 días en guayaba recubierta y por Bashir, (2003) quien propone que este aumento de sólidos solubles puede atribuirse a la actividad de las enzimas responsables de la hidrólisis del almidón y de la disminución de la velocidad de descomposición del azúcar por la respiración de la guayaba.

En contraste los resultados obtenidos a concentraciones de 10 % de NLS a partir del día 14 de almacenamiento existe una disminución en la cantidad de sólidos solubles en un intervalo de 10.93 a 9.66 °Brix, esto se debe a la rápida descomposición metabólica, pues el aumento de los sólidos solubles durante el almacenamiento, se atribuye a la hidrólisis del almidón en azúcares, ya que junto con otros ácidos orgánicos son el sustrato principal para la respiración (Goutam, *et al.*, 2010). Esto es consistente con lo reportado por (Goutam, *et al.*, 2010; Pandey, *et al.*, 2010), lo que nos sugiere que el uso de Atm – Act y en combinación con el recubrimiento de concentración de 5% de NLS, es lo más adecuado para el control de los sólidos solubles.

3.6 Acidez Titulable

En la Figura 17 se presentan los resultados correspondientes al porcentaje de acidez contenido para los diferentes tratamientos en estudio, en el cual la concentración de NLS ejerce un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en términos lineales sobre este parámetro. Este efecto se aprecia en las tendencias obtenidas que se encuentran distanciadas entre cada concentración de NLS, donde a concentraciones de 10 % de NLS el porcentaje de ácido cítrico es mayor con respecto a la de concentración de 5 %.

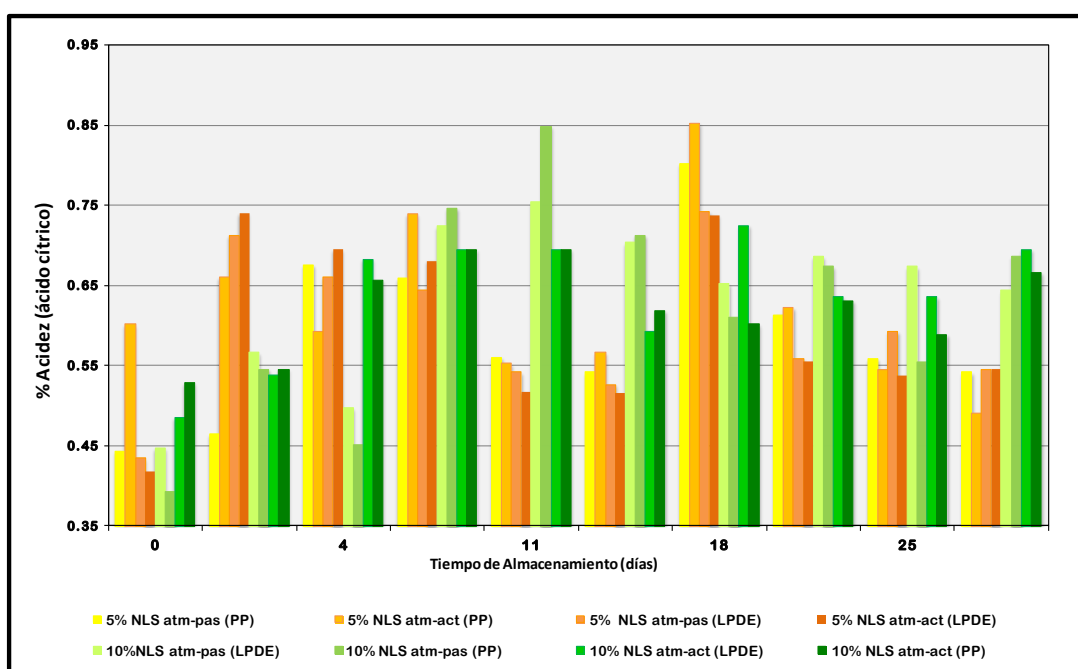


Figura 17. Efecto de la concentración de NLS sobre el porcentaje de ácido cítrico presente en guayaba fresca-cortada almacenada en atmósfera modificada activa y pasiva en envase de polipropileno y polietileno de baja densidad

Conforme aumenta el tiempo de almacenamiento hay una mayor pérdida de ácido cítrico para ambas concentraciones de recubrimiento principalmente después del día 18 de almacenamiento, esto se asocia con lo establecido por (Goutam, *et al.*, 2010) quien reporta tendencias de disminución de acidez titulable durante el período climatérico de la fruta debido a un aumento en la velocidad de respiración y una reacción metabólica

biodegradable reflejada en un consumo de ácidos orgánicos como ácidos cítrico y málico que son componentes importantes de la mayoría de las frutas. Durante la maduración de los frutos estos ácidos orgánicos disminuyen a medida que se utilizan como sustratos para la respiración y por tanto hay una mayor conversión en azúcares responsables de la dulzura de las frutas, (Menezes Oliveira, *et al.*, 2012; Michael Eskin & Shahidi, 2012).

La cantidad de sólidos solubles más altos (de todos los tratamientos) son los envasados en atmósfera activa y recubierta con 5% de NLS. Lo cual coincide con lo obtenido en la cantidad de acidez titulable presente en el día 14 a las mismas condiciones (Fig. 16) lo que establece la relación que existe entre la cantidad de sólidos solubles y la cantidad de ácido cítrico la cual está relacionada con el grado de madurez de la guayaba; en contraste con concentraciones de NLS de 10 % envasados en PEBD.

3.7 Concentración de Oxígeno

En la figura 18 se presentan los resultados del porcentaje de oxígeno presente durante el tiempo de almacenamiento de las muestras almacenadas en sus diferentes tratamientos. Las líneas de tendencia muestran que las variaciones existentes entre cada tratamiento dependen directamente de la atmósfera en la cual fue envasada así como la concentración de NLS ($p \leq 0.05$). Las muestras envasadas en atmósfera pasiva presentaron valores más altos con respecto a las muestras envasadas en atmósfera activa. Resultados similares en papaya fresca-cortada almacenada en atmósfera modificada fueron evaluados por Waghmare & Annapure, (2013) quien en los primeros días registraron una disminución en la concentración de oxígeno, la cual posteriormente en el resto del tiempo de almacenamiento se mantuvo constante (Costa *et al.*, 2011) reportó cambios en la concentración de oxígeno dependiendo del tipo de atmósfera (pasiva o activa), de los envases que contenían uva, sin embargo, también registro concentraciones de gas que se mantuvieron en equilibrio en todos sus envases. Estos resultados reafirman lo dicho por Singh, (2014) que establece que la permeabilidad al oxígeno del polietileno de baja densidad es mayor ($7\ 800\ \text{cm}^3/\text{m}^2\ \text{d atm}$ por $25\ \mu\text{m}$ de

espesor a 25 °C), por lo tanto permite una mayor interacción de oxígeno, en contraste con el polipropileno que tiene una permeabilidad de (3 700 cm³/m² d atm por 25 μm de espesor a 25 °C).

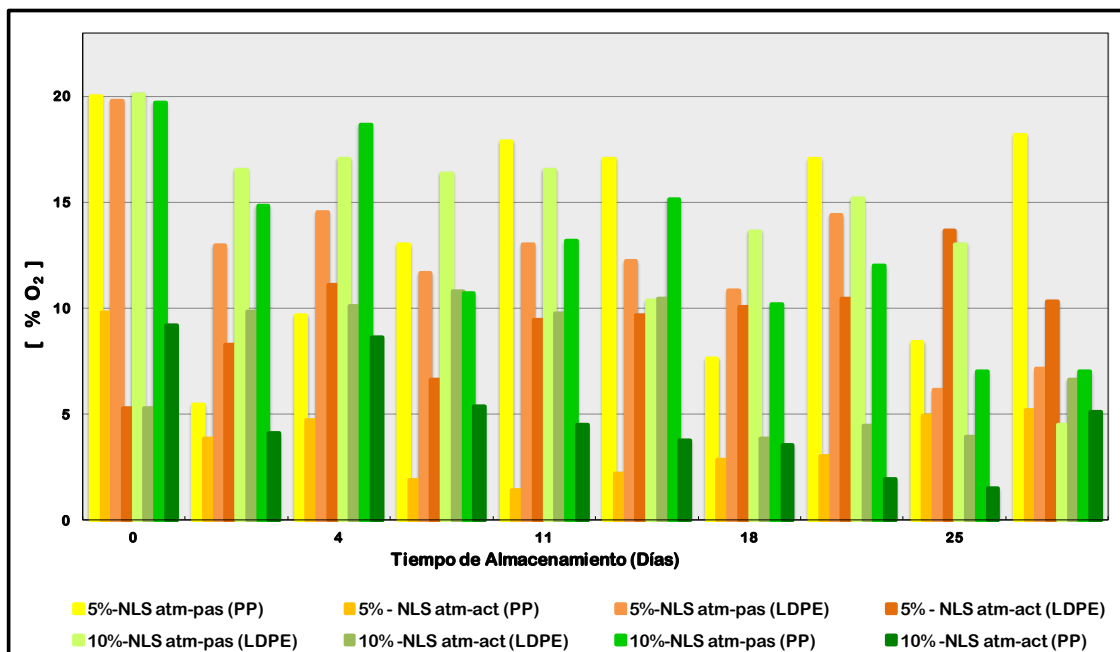


Figura 18. Porcentaje de oxígeno de guayaba fresca-cortada recubierta con dos concentraciones de NLS (5 y 10%) envasada en atmósfera pasiva y activa, en envase de polipropileno y polietileno de baja densidad

El descenso de la concentración de oxígeno en las muestras de envasado en atmósfera pasiva durante todo el periodo de almacenamiento presenta un rango de 20 a 4.5 %. Estos resultados son consistentes a los reportados por Mangaraj, *et al.*, (2012) para guayaba (*cv. Baruipur*) en atmósfera modificada, quien obtiene concentraciones de 20% hasta 4% de O₂ durante un tiempo de almacenamiento de 26 días. Estos cambios en la concentración de oxígeno dentro del envase se dan principalmente por la respiración propia de la guayaba, debida a la descomposición por oxidación de almidón, azúcar, y ácidos orgánicos simples a moléculas de CO₂ y H₂O, con una producción simultánea de energía, esta velocidad de respiración podría disminuir debido a la baja temperatura de almacenamiento (Tirkey, *et al.*, 2014). Uno de los principales efectos de las atmósferas

modificadas es la reducción de la velocidad de respiración, esto se ve reflejado en la atmósfera activa, ya que disminuye la velocidad de agotamiento del sustrato, la producción de CO₂ y el consumo de O₂ (Hu, *et al.*, 2013).

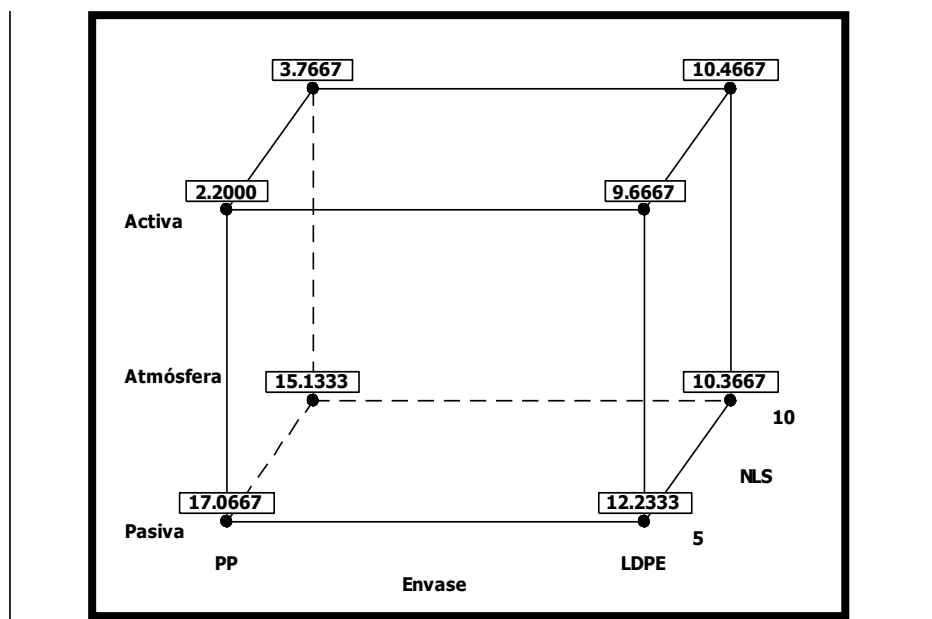


Figura 19. Gráfica de cubo para el porcentaje de oxígeno del día 14 de almacenamiento de guayaba fresca-cortada a diferentes condiciones

La figura 19 muestra el comportamiento de la concentración de oxígeno en las muestras del día 14 de almacenamiento en donde de acuerdo a los resultados del envase de PP hay poca variación en la cantidad de oxígeno independiente del tipo de atmósfera en la cual fue envasada, en comparación con los del envase de LDPE en donde se determinó que el porcentaje de oxígeno de la atmósfera activa son muy cercanos a los de la atmósfera pasiva, lo que hace suponer el material no tiene la permeabilidad suficiente. Los resultados obtenidos indican que existe una variación constante en la composición del gas dentro del envase, lo cual es benéfico para el alimento siempre y cuando los valores de oxígeno sean menores, ya que también se reduce la velocidad de respiración de las guayabas así como la producción de etileno, retrasando así la maduración, lo que previene la pérdida de la textura, manteniendo la frescura y

extendiendo su vida útil (Ramos, *et al.*, 2013; Vakkalanka, *et al.*, 2012). Aunque una baja concentración de oxígeno en el producto podría conducir a la respiración anaerobia, lo que puede producir un deterioro de producto debido a la generación de sabores poco agradables y una senescencia acelerada (Embuscado & Huber, 2009) e incluso la aparición de microorganismos no deseados como el moho.

3.8 Velocidad de Consumo de Oxígeno

La concentración de NLS afecta de manera directa la velocidad de respiración, como se aprecia en la figura 20, ejemplo de esto son los resultados del recubrimiento con concentración de 5% de NLS que mantienen un alto porcentaje de O₂ (20.8 – 18 %) teniendo valores similares con los de la muestra control (21.2 – 17.6 %) en comparación con los del recubrimiento de concentración de 10% de NLS el cual muestra los valores más bajos de O₂ (18.9 – 16.3 %).

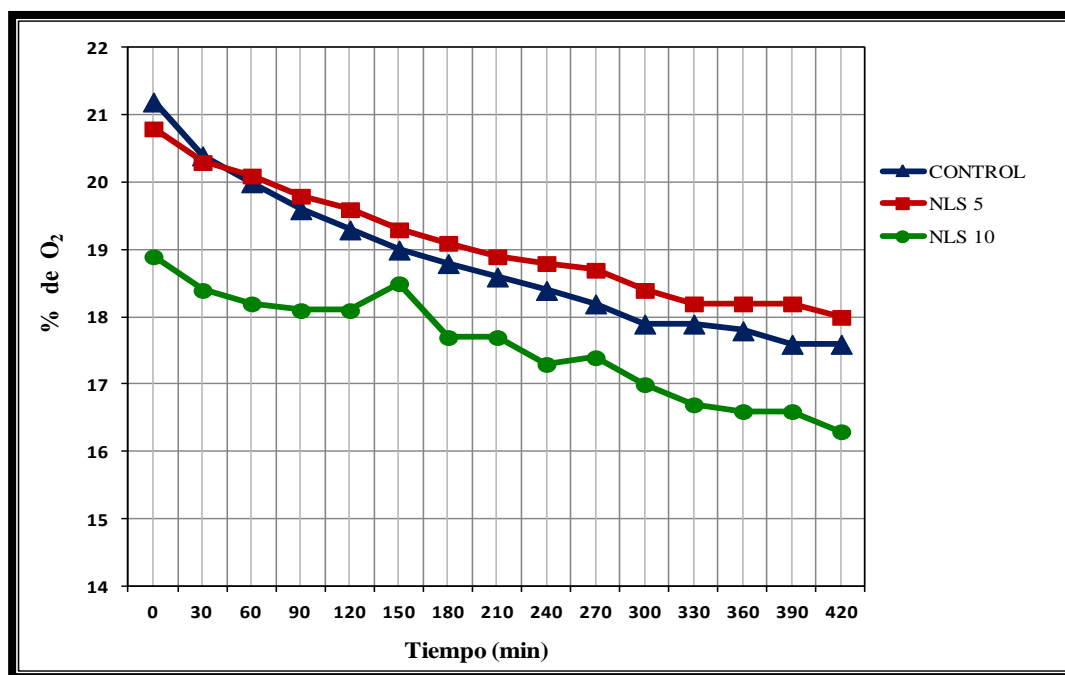


Figura 20. Concentración de oxígeno en las muestras durante el monitoreo de velocidad de consumo de oxígeno

Esto se atribuye a que, a mayor concentración de NLS aumenta el área superficial de contacto con la guayaba y por ende disminuye el intercambio de gases lo que genera un descenso en la cantidad de CO₂ como consecuencia natural de la respiración de la guayaba. (Goswami 2011) establece que entre más baja es la concentración de O₂ este retardará la maduración de la fruta; la combinación de bajos niveles de O₂ y niveles altos de CO₂ disminuyen la velocidad de respiración de los productos frescos cortados y por tanto disminuye la producción de etileno retrasando la maduración, lo que previene la pérdida de textura, mantiene la frescura y extiende la vida útil (Vakkalanka, *et al.*, 2012).

En la tabla 5 se muestran los valores obtenidos para la velocidad de consumo de oxígeno, en la guayaba fresca cortada recubierta con NLS fue menor en comparación con las muestras control (sin tratamiento) lo que indica que el uso de recubrimientos con NLS y goma xantana como soporte polimérico generan un bajo rango de transmisión de oxígeno, esto a causa de la formación de una atmósfera modificada alrededor del producto reduciendo el consumo de oxígeno y en consecuencia su metabolismo y las reacciones de oxidación (Guillard *et al.*, 2009)

Tabla 5. Resultados para Velocidad de Consumo de Oxígeno

Parámetros	Control	5 % NLS	10 % NLS
Pendiente	-0.47	-0.38	-0.34
Masa (kg)	0.03	0.03	0.03
Volumen (m³)	175	175	175
R_{O₂} (mL/Kg h)	26.50	21.71	18.19

Esta disminución del consumo de oxígeno hace inferir que se creó una barrera semipermeable impidiendo el intercambio de gases (Djioua *et al.*, 2010; Chuimarelli *et al.*, 2010; Robles-Sánchez, *et al.*, 2013) ya que a concentraciones de NLS de 5 % se redujo la velocidad en un 18.08 % y a concentración de 10 % de NLS hasta un 31.37 %. Los valores de velocidad de consumo de oxígeno son consistentes con lo reportado por

(Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2014a) para manzana fresca cortada recubierta con una base de mucílago de nopal como soporte polimérico y nanopartículas en emulsión de DL- α -Tocoferol.

3.9 Colorimetría

a) Cromaticidad (Croma)

La figura 21 muestra los valores obtenidos para cromaticidad, denotando una disminución que va de 40 a partir del primer día de almacenamiento hasta 20 al finalizar el almacenamiento de las muestras envasadas en atmósfera pasiva y 10 % de NLS. Estos cambios se atribuyen al procesamiento de la guayaba, ya que al ser cortada permite que las enzimas y sustratos entren en contacto con el oxígeno presente dando lugar a reacciones enzimáticas relacionadas con el deterioro de color (Moreira Lana, 2005), por lo tanto, entre mayor sea el tiempo de almacenamiento mayor será la interacción entre las enzimas y la superficie de la guayaba favoreciendo la pérdida de cromaticidad, lo cual se corrobora en la figura 21, en la cual, los valores de croma para los diferentes tratamientos de la guayaba disminuyen proporcional al tiempo de almacenamiento, siendo menos drástico en guayabas envasadas en atmósfera activa a una concentración de 5 %.

Los valores de cromaticidad para guayabas envasadas en polietileno de baja densidad se muestran en la figura 22 donde las muestras almacenadas en atmósfera activa y 5 % de NLS inicialmente presentan una cromaticidad promedio de 34.7 muy similar a las muestras envasadas con 10 % de NLS, en comparación con las muestras almacenadas en atmósfera pasiva con valores de croma de 29.15 (5% de NLS) y 26.78 (10% de NLS), denotando un efecto significativo al inicio del almacenamiento dado por el tipo de atmosfera ($p \leq 0.05$). Los resultados son similares con lo que reporta Viña, *et al.*, (2007) para coles de Bruselas quien obtuvo un Croma de 40.7 a 31.1 durante el almacenamiento refrigerado.

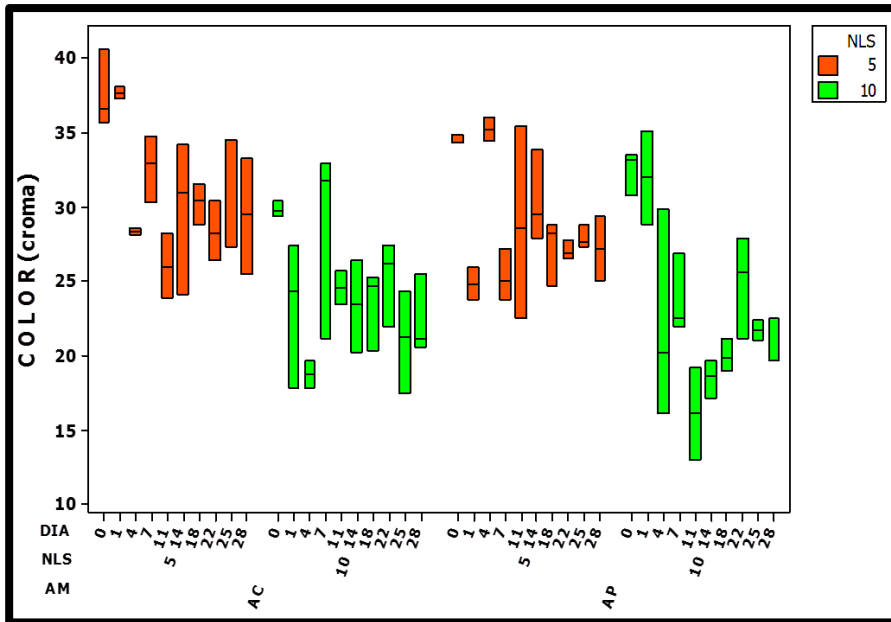


Figura 21. Cromaticidad de guayaba fresca-cortada en función a la atmósfera y concentración de NLS envasadas en polipropileno

Cuando se utiliza un recubrimiento de 5% de concentración de NLS los resultados son favorables ya que disminuye la pérdida del croma que se asocia con la oxidación de los pigmentos naturales como los carotenos o a una reacción de oscurecimiento enzimático que puede ocurrir entre los hidratos de carbono y aminoácidos esenciales presentes en los alimentos (Akelah, 2013). Esta pérdida de saturación de color durante el tiempo de almacenamiento, principalmente en el recubrimiento de 10% de NLS puede atribuirse como una consecuencia de la degradación y pérdida de los pigmentos debido a la ruptura de las células y que es proporcional al tiempo de almacenamiento (Salinas-Hernández, *et al.*, 2013). Para este comportamiento (Limbo & Piergiovanni, 2006) establecen que la disminución de los valores de croma significa que el color del producto al final del almacenamiento es menos saturado que en el tiempo cero, es decir, que era más pálido, tal como se aprecia en las figuras 21 y 22.

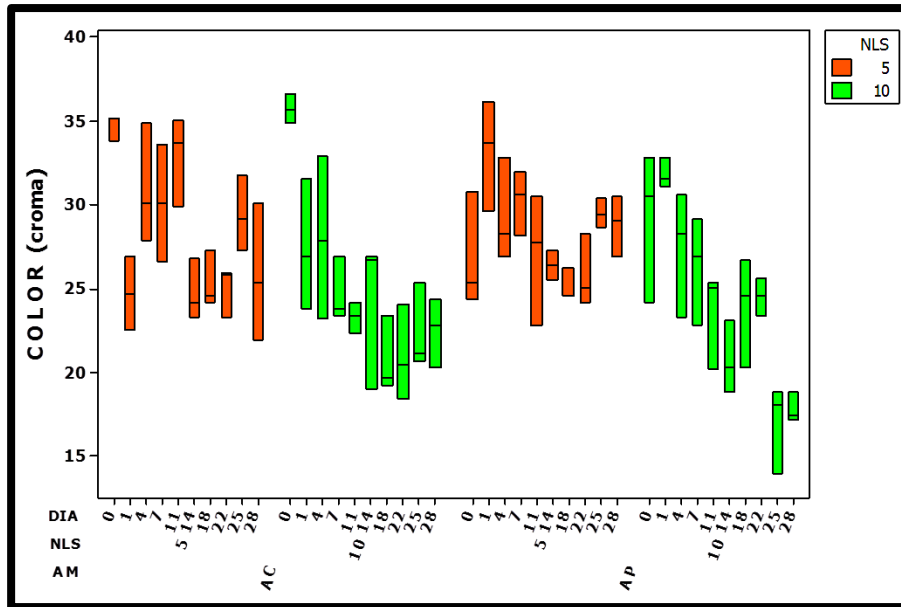


Figura 22. Cambios en cromaticidad de guayaba fresca-cortada en función a la atmósfera y concentración del recubrimiento de NLS envasadas en polietileno

b) Luminosidad (L*)

El color del pericarpio en la guayaba puede variar entre el verde-amarillo y amarillo-claro a amarillo-oscuro, estos cambios ocurren durante su maduración (Fig. 2). La pulpa también puede mostrar diferentes colores como el blanco, amarillo claro y rosado siendo el licopeno y β -caroteno los principales pigmentos de la guayaba (Forero, *et al.*, 2012). En general, los cambios en la luminosidad se asocian con modificaciones del tejido causado por la actividad de las polifenoloxidasas, por lo que la disminución de este parámetro se asocia con la barrera formada por el recubrimiento sobre la superficie de la guayaba debido a que el recubrimiento retarda la acción de las polifenoloxidasas que modifican los pigmentos presentes que provocan un cambio en la coloración.

En la figura 23 se observa que a partir del día uno, la luminosidad fue decreciendo de manera directamente proporcional al periodo de almacenamiento. Esta pérdida se asocia con el daño de la membrana celular en los tejidos exteriores, que a su vez se relaciona con concentraciones muy altas de CO_2 , debido a que una vez que se pierde la

integridad de la membrana, los compuestos fenólicos presentes normalmente en compartimentos celulares quedan expuestos al O₂ y se oxidan por la actividad catalizadora de las polifenoloxidasas. (Kim *et al.*, 2014) y (Viña *et al.*, 2007) reportan la misma tendencia en cambios de luminosidad para col de Brucélas.

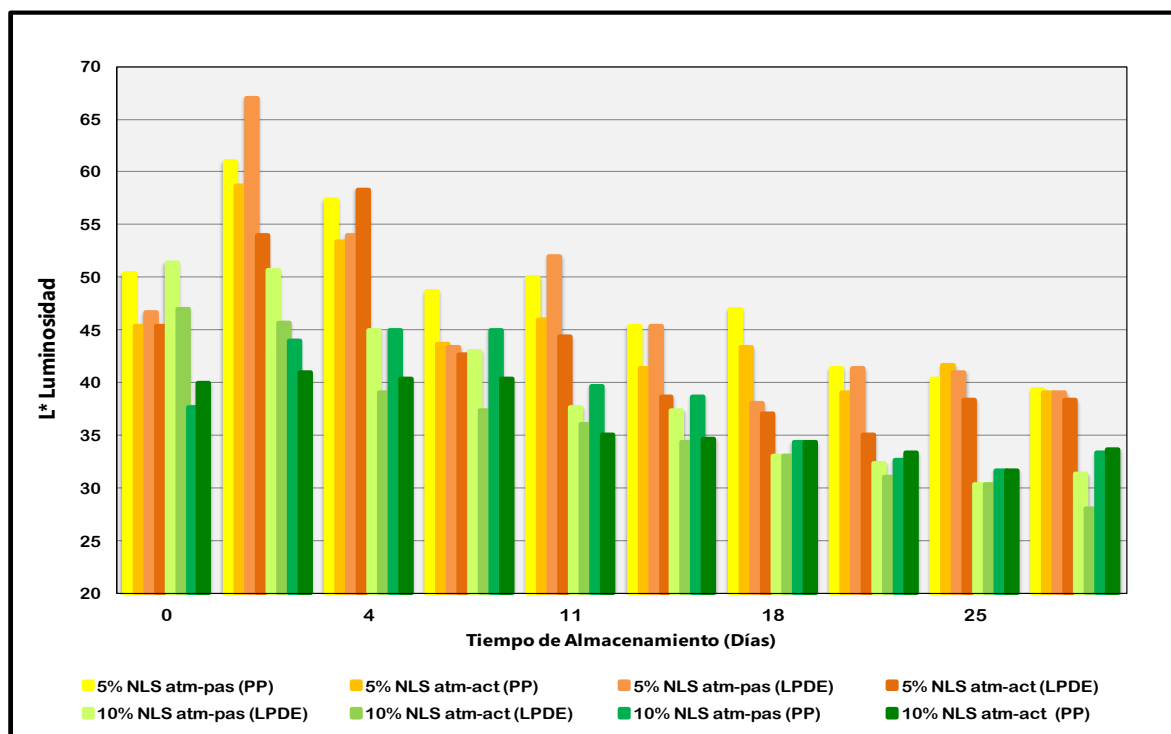


Figura 23. Luminosidad de la guayaba a diferentes condiciones de almacenamiento envasada en polipropileno y polietileno de baja densidad

Los resultados obtenidos reflejan el efecto de la concentración de nanopartículas, principalmente las de 5% de NLS, ya que existe una menor variación y pérdida de luminosidad bajo esas condiciones (Figura 23).

En contraste con una concentración de NLS de 10% envasadas tanto en atmósferas activas y pasivas hay mayor pérdida en la luminosidad de las guayabas. Lo cual se atribuye a que a esta concentración de NLS existe una mayor pérdida de humedad reflejada en pérdida fisiológica de peso especialmente en las muestras envasadas en

polietileno de baja densidad (PEBD) (Figura 13) lo que causa falta de brillo en la superficie cortada o una superficie deshidratada ya que el corte induce el desarrollo de translucidez o impregnación del agua en los tejidos (Moreira Lana, 2005).

Así mismo los resultados obtenidos de L^* fueron similares a los reportados por Soares, *et al.*, (2007) también para guayaba, quien comparó su estado de madurez, obteniendo para estado inmaduro una L^* de 53.83, intermedio de 64.05 y maduro de 71.87 por lo tanto, tomando como base estos datos, el efecto de la combinación del recubrimiento con atmósferas modificadas sobre guayaba fresca-cortada disminuye los cambios propios de la maduración de la guayaba durante el tiempo de almacenamiento en refrigeración.

c) Índice de Oscurecimiento (IO)

El oscurecimiento de la guayaba indica un mayor estado de madurez, y esto es poco atractivo para el consumidor por la apariencia poco brillante y deteriorada que presenta, lo que supone que el alimento ya no es fresco. El oscurecimiento enzimático se puede dar como una reacción de oxidación enzimática inicial de compuestos fenólicos en quinonas provocando un efecto en el color en presencia de O_2 catalizada por las polifenoloxidasas (Hu, *et al.*, 2013).

En la figura 24 se muestran los resultados del IO de las guayabas en los diferentes tratamientos envasadas en polipropileno, en el cual se determinó que la variable que más significancia tiene sobre este parámetro fue la concentración de NLS en términos lineales ($p \leq 0.05$), muestra de ello es la tendencia que se tiene para el recubrimiento con 5% de NLS en el cual se registran valores de IO para atmósfera activa y para pasiva menores a 100 en promedio y para 10% de NLS valores superiores a 100.

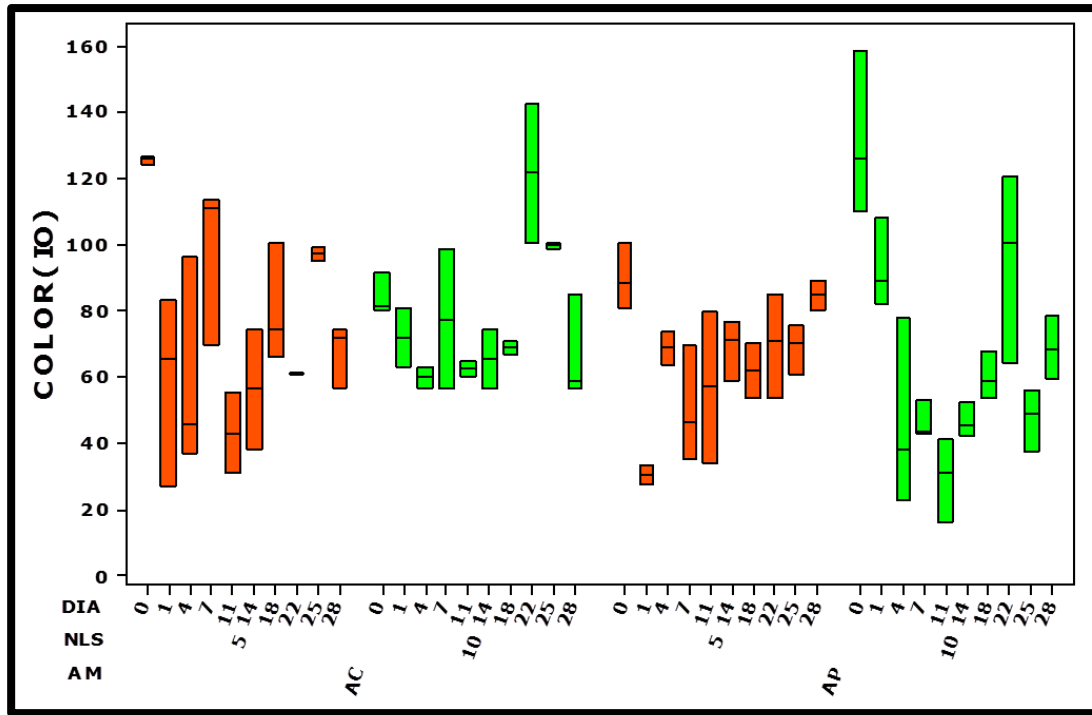


Figura 24. Efecto de la concentración de NLS sobre el índice de IO de la guayaba fresca-cortada almacenada en atmósfera activa y pasiva en envase de polipropileno

Después del día de envasado de las muestras hay una disminución en el índice de oscurecimiento para todos los tratamientos en polipropileno con un incremento en el día 22 en las guayabas recubiertas con una concentración de NLS de 10%. Este incremento en el índice de oscurecimiento es similar al reportado por (Perez-Gago, *et al.*, 2006) para manzana fresca-cortada almacenada a 5°C envasada en polipropileno que va de 25-34.

La figura 25 muestra que al final del almacenamiento refrigerado de las muestras (28 días) la variable que tiene un efecto significativo es la interacción entre la concentración de NLS y la atmósfera ($p \leq 0.05$).

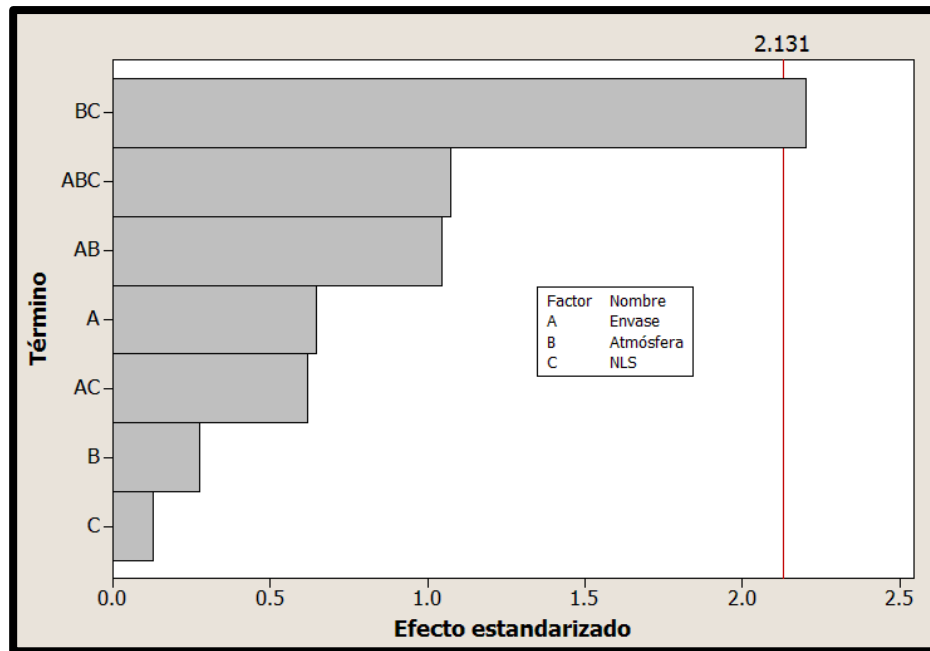


Figura 25. Diagrama de Pareto para IO para el día 28 de almacenamiento de guayaba fresca cortada almacenada en refrigeración

En la Tabla 6 se muestran las imágenes de las muestras de guayaba fresca-cortada correspondiente a cada día de monitoreo donde las que fueron recubiertas con 10% de NLS presentan mayor oscurecimiento y deterioro principalmente aquellas que fueron envasadas en atmósfera pasiva; en comparación con las de 5% de NLS a las mismas condiciones las cuales en atmosfera activa y envase de PP son las que presentan mejores atributos de color.

Como se aprecia en la tabla 6 los recubrimientos de concentraciones de NLS de 5% tienen un efecto positivo en las propiedades de color en las guayabas ya que sirvieron como barrera protectora puesto que con ellos disminuyó la exposición al O_2 y por lo tanto se redujo el oscurecimiento de la guayaba fresca-cortada, este efecto protector del recubrimiento también fue visto para el caso de manzanas recién cortadas recubiertas (Perez-Gago, *et al.*, 2006). Cabe resaltar que también el almacenamiento a bajas temperaturas contribuyó para evitar el deterioro, caso similar a lo reportado por (Sothornvit & Rodsamran, 2008) en mangos frescos.

Tabla 6. Color de las de guayabas fresca-cortada recubierta con 5% y 10% de NLS y almacenadas en atmósferas modificadas durante 28 días envasada en PP y PEBD a 7°C.

Día	5% NLS				10% NLS			
	Atmósfera Pasiva		Atmósfera Activa		Atmósfera Pasiva		Atmósfera Activa	
	PP	PEBD	PP	PEBD	PP	PEBD	PP	PEBD
0								
1								
4								
7								
11								
14								
18								
22								
25								
28								

3.10 Textura

a) Firmeza

La pérdida de firmeza en los frutos recién cortados fue el cambio más notable. Este es el resultado de la degradación de la pared celular que resulta del cortado, lo que acelera la actividad metabólica y la pérdida de agua en los productos (Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2014a), las cuales son la principal causa del ablandamiento del tejido superficial en la guayaba recién cortada debido a que pierde humedad a una velocidad extremadamente rápida, es por ello la importancia de utilizar un recubrimiento junto con la aplicación de atmosferas modificadas que disminuyan este deterioro (James & Ngarmsak, 2010).

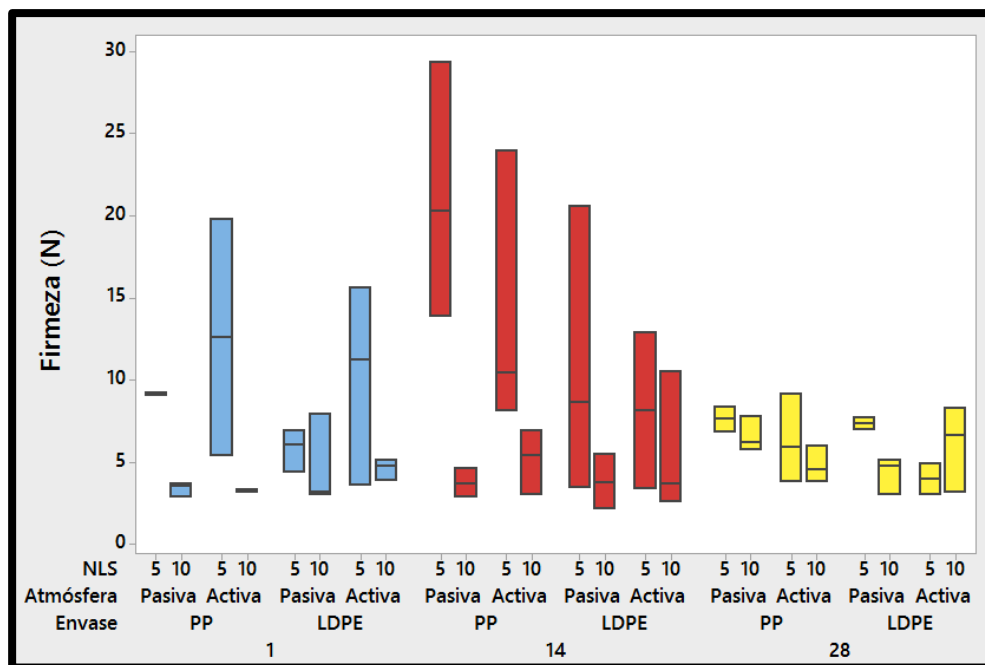


Figura 26. Evolución de la firmeza en función de la concentración NLS, tipo de atmósfera y envase durante el almacenamiento de guayaba (1, 14 y 28 días)

La figura 26 muestra la evolución de los cambios de firmeza en los diferentes tratamientos en la guayaba fresca cortada teniendo como efecto significativo la

interacción de la concentración de NLS en el recubrimiento con el tipo de atmósfera ($p \leq 0.05$), ejemplo de esto es la muestra almacenada en atmósfera activa con una concentración de NLS de 5 % donde se determinaron valores de 8.8 hasta 20 N en comparación con concentraciones de NLS de 10 % de 10 N promedio a las mismas condiciones de atmósfera. Así como los valores del recubrimiento de 10% de NLS, disminuyen del día cero al día uno permaneciendo sin diferencia significativa durante el tiempo de almacenamiento con valores de 6.5 a 3.1 N para ambas atmósferas y envases.

Se determinó que los recubrimientos con 5% de concentración de NLS presentan mayor firmeza así como una pérdida de esta proporcional al tiempo de almacenamiento para el envase de polipropileno con respecto a las muestras envasadas en polietileno de baja densidad. Esta pérdida de firmeza con el uso de un recubrimiento comestible a condiciones similares también es reportada por Jiang, (2013) con 16.8 a 12.5N, esto probablemente se debe al aumento de las actividades enzimáticas y la pérdida de agua impulsada por el corte del tejido.

Estructuras como la pared celular, la lámina media, y la membrana celular son sometidas a alteraciones bioquímicas durante la maduración lo que conduce a la pérdida de la cohesión entre las células resultantes en las estructuras blandas y débiles. A nivel celular de la membrana, la pérdida de agua promueve la pérdida de la turgencia de las células, lo que conduce al ablandamiento debido a la presencia de células "vacías" dentro de la estructura, que también se refleja negativamente en la textura general de frutas (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005).

La figura 27 de cubo del día 18 denota que la combinación entre 10% de NLS y envase de PP para ambas atmósferas es donde se obtuvo menor firmeza que los demás tratamientos, principalmente comparado con la interacción de atmósfera pasiva, envase de PP y 5% de concentración de NLS donde están determinados los mayores resultados de firmeza en la guayaba.

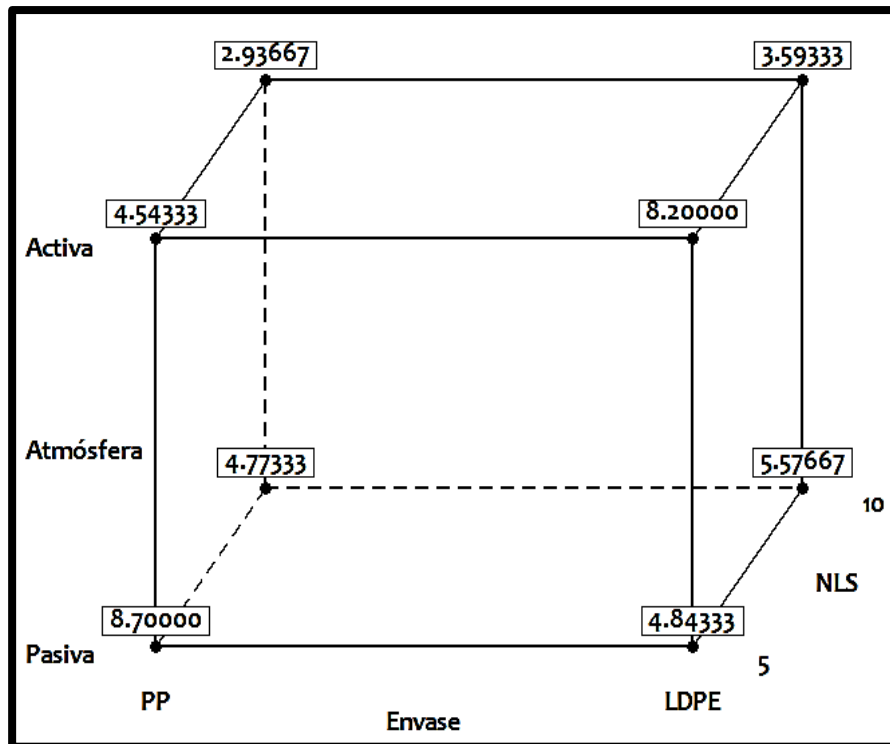


Figura 27. Grafica de cubo para la firmeza en el día 18 de almacenamiento de guayaba fresca-cortada a diferentes condiciones de estudio

Estos resultados podrían estar relacionados con los cambios en el metabolismo y el contenido de humedad ya que la pérdida de firmeza es el cambio más notable que se produce durante el almacenamiento prolongado, (Rojas-Graü, *et al.*, 2009) y el recubrimiento de NLS (principalmente el de 5%) permite un mayor intercambio de humedad con el medio, lo que en consecuencia produce variaciones en la firmeza de la guayaba. Esto es cuantificable ya que los resultados del recubrimiento de 10% de NLS son más uniformes.

La pérdida de agua por transpiración no puede ser reemplazada y es problemática, ya que la pérdida de pequeñas cantidades de agua afectará gravemente la calidad del producto. Cuando se pierde agua, la turgencia disminuye, igual que la firmeza. (Embuscado & Huber, 2009).

b) Módulo de Young

La pérdida de firmeza de la guayaba fresca cortada se muestra a lo largo del periodo de almacenamiento (Figura 26) por lo que la disminución de tensión máxima que la guayaba es capaz de soportar sin mostrar desviación de proporcionalidad de la tensión respecto a la deformación (Módulo de Young) baja con el tiempo de almacenamiento a 7 °C, esto a causa del ablandamiento de la guayaba la cual se caracteriza por un aumento en la solubilidad de la pared celular por la degradación de la pectina.

En la figura 28 se muestran las tendencias obtenidas para el módulo de Young en las guayabas frescas cortadas. Las muestras recubiertas con 5 % de NLS envasadas tanto en atmósferas activas y pasivas denotan valores elevados durante los primeros 11 días de almacenamiento registrando valores promedio de 1 a 2 MPa, en contraste con el día 28 de almacenamiento donde el valor decrece hasta alcanzar 0.5 MPa promedio para todas las muestras.

Para el caso de 10 % de concentración de NLS el comportamiento del módulo de Young es prácticamente constante en intervalos de 0.5 a 1 N durante todo el periodo de almacenamiento asociando esta tendencia a que a mayor concentración de NLS existe gran probabilidad de agregados de las nanopartículas de origen lipídico impidiendo la adecuada maduración del fruto, tal y como lo reporta Zambrano-Zaragoza *et al.*, (2013) en estudios de guayaba variedad media china.

Estudios realizados por Moalemiyan *et al.*, (2012) en la pared celular durante la maduración de mango determinaron que la actividad de poligalacturonasas (PG), la enzima responsable de la degradación de (1 → 4) residuos de ácido galacturónico y pectinesterasas (PE) que a su vez cataliza la desesterificación de grupos metilo de pectinas ácidas, lo que favorece la disminución de la masa molecular de la pared celular y con ello un decremento en la firmeza del mango. Por lo cual se puede inferir que en el caso de la guayaba fresca cortada sigue este comportamiento.

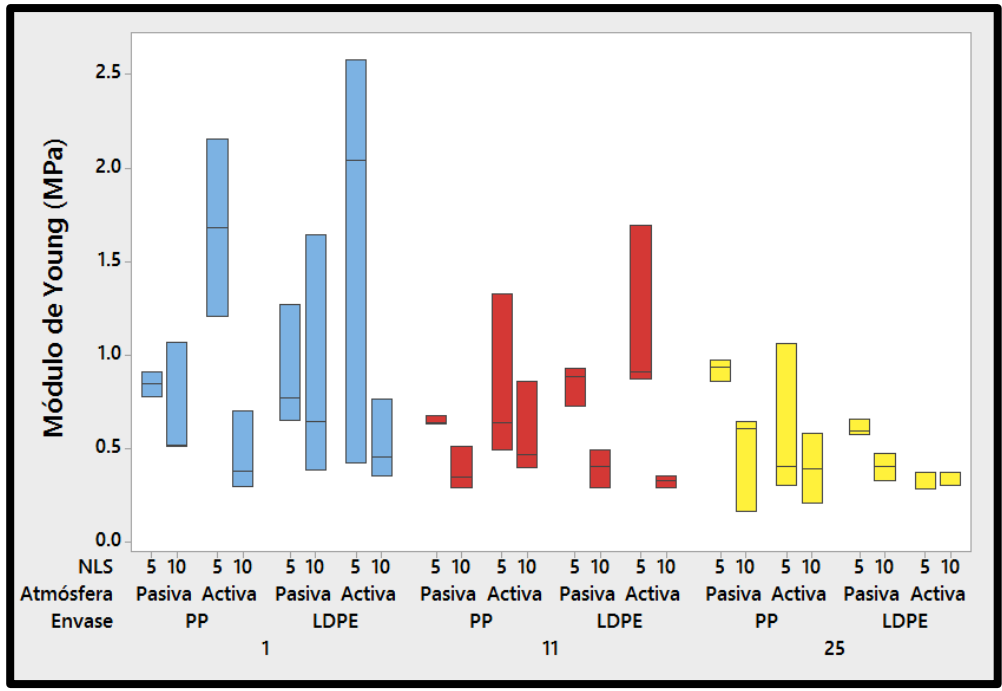


Figura 28. Módulo de Young de guayaba fresca-cortada recubierta con NLS almacenada en atmosfera modificada y envasada en polipropileno y polietileno (1, 11 y 25 días)

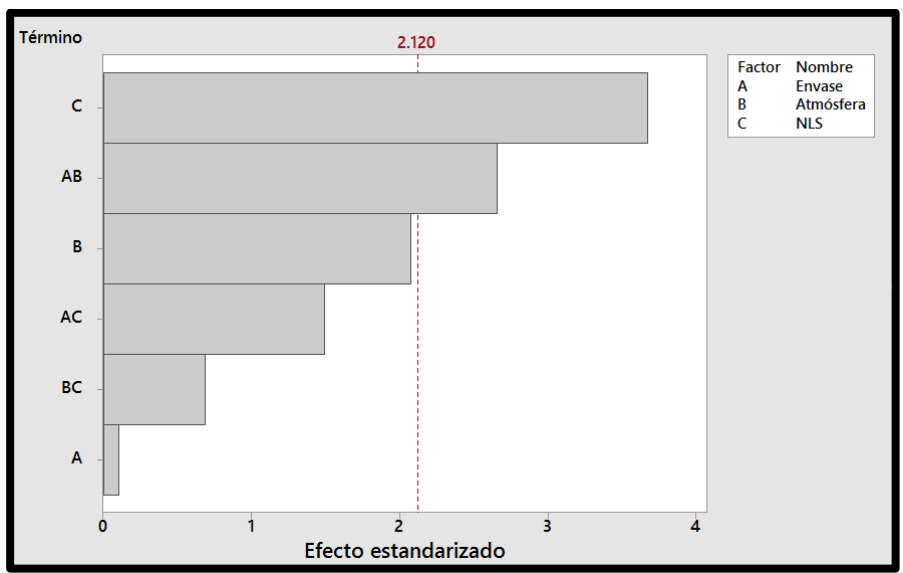


Figura 29. Diagrama de Pareto evaluado para el módulo de Young en el día 18.

El término que fue estadísticamente significativo durante todo el periodo de almacenamiento fue la concentración de NLS en términos lineales ($p \leq 0.05$). Sin embargo, en el día 18 de almacenamiento (Figura 29) la interacción entre el envase y el tipo de atmósfera tiene un papel determinante en la evaluación del módulo de Young. Cabe señalar que los tratamientos correspondientes a atmósfera activa presentan un comportamiento estable desde el primer día y durante todo el tiempo de almacenamiento y que de igual manera es en el día 18 en que estos resultados se aproximen entre sí.

La determinación del módulo de Young, tiende a ser una de las propiedades mecánicas más importantes de los productos agrícolas, que representan la rigidez del tejido y es de gran interés para los ingenieros de alimentos, porque este parámetro junto con otras propiedades mecánicas, por ejemplo, esfuerzo de compresión y la firmeza son muy importantes en el diseño de maquinaria y mejora.

3.11 Fenoles Totales

La figura 30 muestra los resultados obtenidos para el contenido de fenoles totales en las guayabas frescas cortadas en los días 4, 18 y 28 de almacenamiento donde se determinó mediante un ANOVA que el factor que tiene mayor influencia significativa es la concentración de NLS ($p \leq 0.05$) durante todo el periodo de almacenamiento. Ejemplo de esto es que a concentraciones de NLS de 10 % durante los primeros 14 días de almacenamiento envasadas en atmósferas pasivas la concentración de compuestos fenólicos presentan valores de 240 mg EAG/ g en envase PP y de 290 mg EAG/ g en envase de PEBD. En contraste, el recubrimiento aplicado con 5% de NLS en general presenta valores de compuestos fenólicos de 290 mg EAG/g promedio durante todo el periodo de almacenamiento. Esto reafirma lo anteriormente evaluado en el apartado de concentración de oxígeno (sección 3.7), estableciendo que el recubrimiento de menor concentración de NLS permite un mayor intercambio de humedad con la atmósfera que inhibe la variación en la cantidad de compuestos fenólicos presentes en la guayaba fresca cortada.

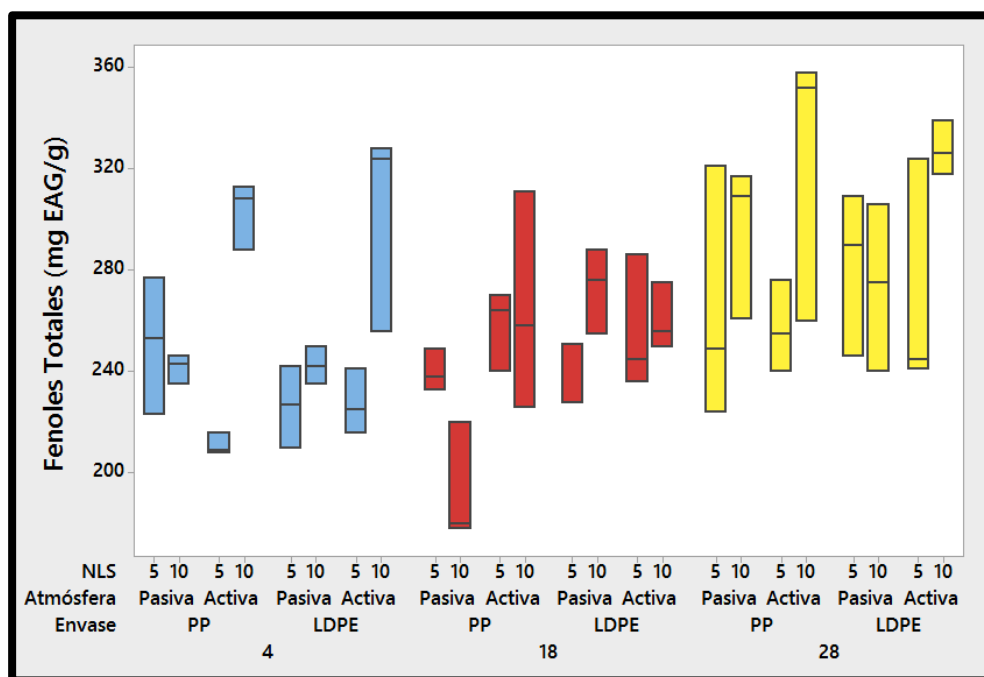


Figura 30. Efecto de la concentración de NLS sobre la cantidad de fenoles contenidos en guayaba fresca cortada envasada en diferentes atmósferas y almacenadas en polipropileno y polietileno (4, 18 y 28 días)

El contenido en compuestos fenólicos para concentración de 5% de NLS en el recubrimiento es más elevado durante los primeros 14 días de almacenamiento, registrando valores de 280 a 320 mg EAG/g promedio durante los primeros 4 días de almacenamiento y de 240 a 280 mg EAG/g durante el día 14 de almacenamiento, siendo el envase de PP el que presenta un mayor contenido de fenoles totales en comparación con el envase de PEBD. Estas tendencias obtenidas son similares a las reportadas por Oms-Oliu *et al.*, (2008) quien reporta un contenido de fenoles totales que van de 53-40 a 40-35 mg EAG /g muestra de pera fresca-cortada.

La Figura 31 muestra el gráfico de cubos obtenido para el contenido de compuestos fenólicos presente en la guayaba fresca cortada en el día 11 de almacenamiento, la cual evidencia de manera clara que los tratamientos de mayor concentración de NLS (10%)

favorece la retención de los fenoles independiente del tipo de atmósfera empleada así como del tipo de envase empleado siendo este el efecto estadísticamente significativo en este día de monitoreo ($p \leq 0.05$).

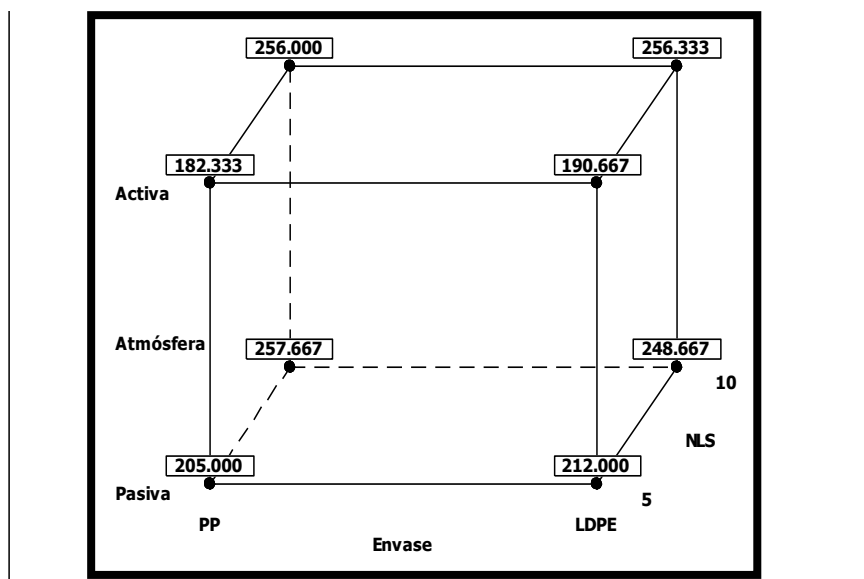


Figura 31. Gráfica de cubo para el contenido de fenoles en el día 11 de almacenamiento de guayaba fresca-cortada a diferentes condiciones.

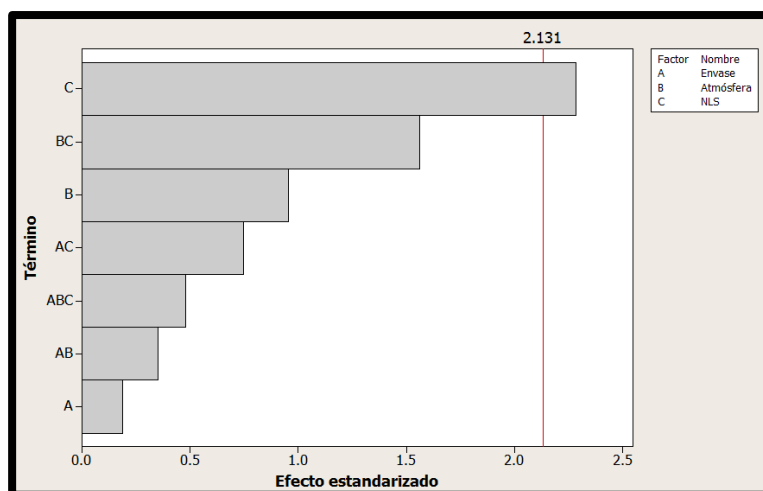


Figura 32. Diagrama de Pareto para la cantidad de compuestos fenólicos en el día 28 de almacenamiento

La figura 32 muestra el diagrama de Pareto obtenido para el contenido de compuestos fenólicos en el día 28 de almacenamiento donde se determinó que el factor estadísticamente significativo fue la concentración de NLS en términos lineales ($p \leq 0.05$).

3.11.1 CONTENIDO DE FENOLES EN RELACIÓN CON EL COLOR

Se evaluó un cambio de color en la superficie de la guayaba debido al oscurecimiento provocado por las reacciones enzimáticas, ya que el corte permite que enzimas como las polifenoloxidasas tengan en contacto con los compuestos fenólicos y el O_2 lo que da lugar al cambio de color en el tejido (Sothornvit & Rodsamran, 2008). En función a las evaluaciones realizadas en la sección 2.7 y 2.9 se puede establecer que existe una relación directa de estos parámetros. La figura 33 muestra que a concentraciones de NLS de 10% existe una disminución en la cromaticidad la cual tiene una relación proporcional con la cantidad de polifenoles totales presentes en las muestras, así mismo, a concentraciones de NLS de 5% existe mayor contenido de polifenoles totales.

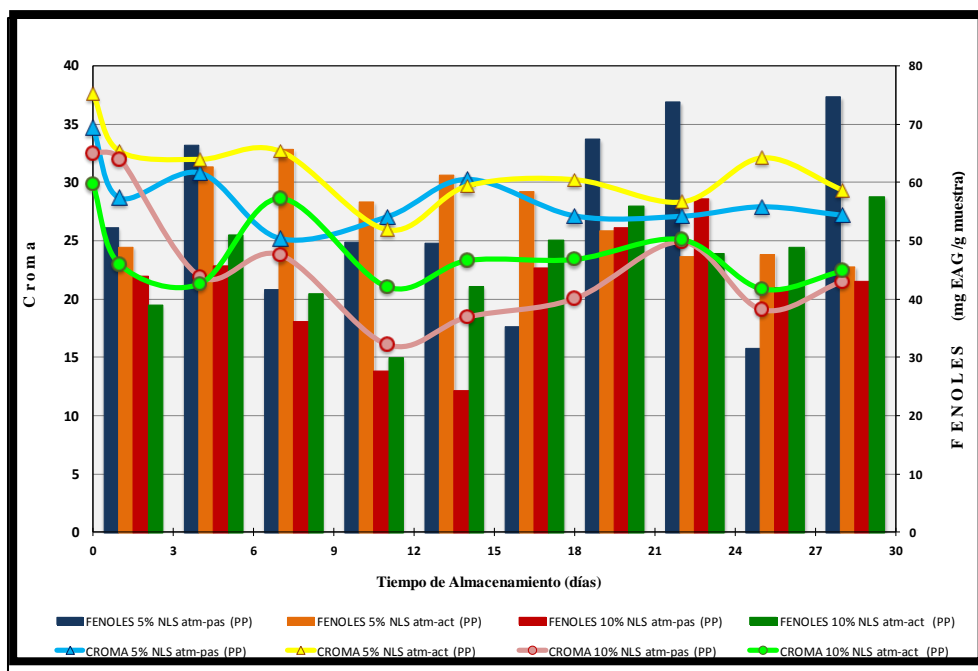


Figura 33. Efecto de contenido de fenoles con relación al croma durante el tiempo de almacenamiento de guayaba a diferentes condiciones envasada en PP

Este comportamiento se atribuye a que el corte en la fruta de manera inicial desencadena reacciones de tipo enzimático y al aplicar un recubrimiento este logra detener de manera significativa ($p \leq 0.05$) dichas reacciones, esto es debido a que cuando hay mayor concentración de NLS existe una mayor área superficial de contacto entre el tejido del fruto puesto que estas están más juntas formando una barrera más fuerte, lo cual provoca que el fruto no interactúe con la atmosfera modificada y a su vez tenga mayor deterioro de compuestos bioactivos, además de la estimulación de las células adyacentes a la lesión para producir más compuestos fenólicos en un intento para iniciar procesos de reparación (Lamikanra, 2002). La intensidad de la coloración marrón depende de la cantidad total de compuestos fenólicos en el tejido y el nivel de actividad de la PPO (Barrett, *et al.*, 2005). El cambio de color, que está significativamente correlacionado con el contenido de fenoles totales y correlacionados con la actividad de PPO en diferentes condiciones de almacenamiento (Jianga, *et al.*, 2014) se reafirma en el presente estudio experimental.

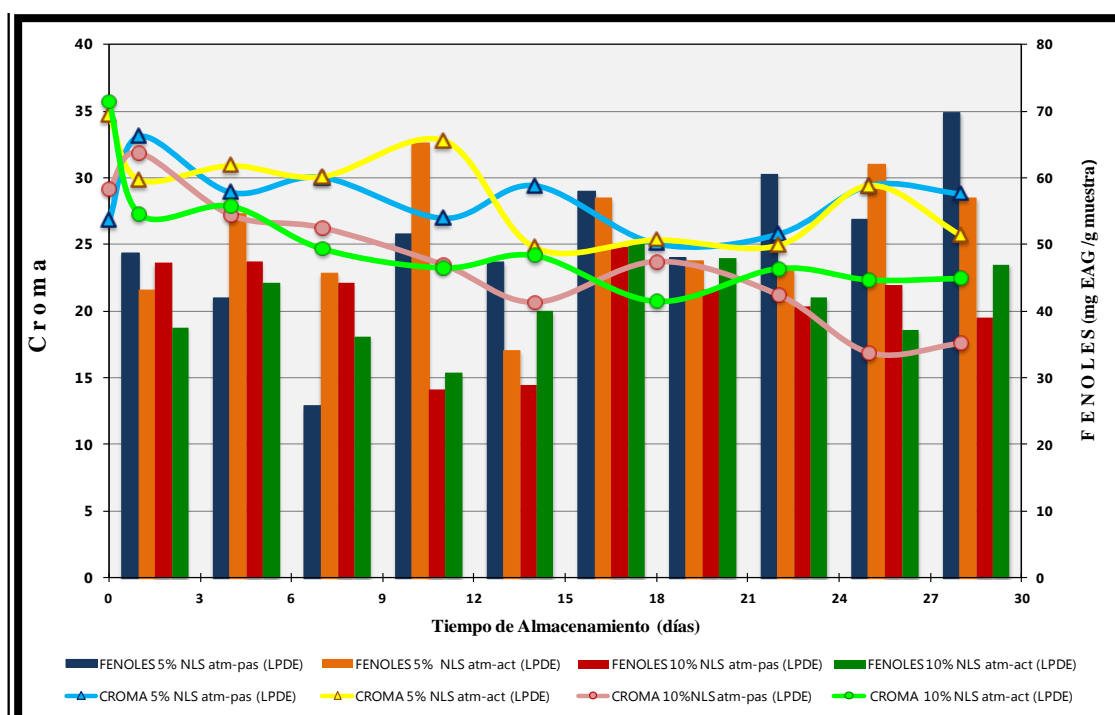


Figura 34. Efecto de contenido de fenoles con relación al croma durante el tiempo de almacenamiento de guayaba a diferentes condiciones envasada en PEBD

Al transcurrir el tiempo de almacenamiento las membranas celulares son destruidas y la ruptura de la pared celular se acelera. Por lo que se infiere que, las polifenoloxidasas que son oxidoreductasas comunes en productos vegetales y que son capaces de inducir el oscurecimiento enzimático debido a que es catalizada por la oxidación de sustratos fenólicos en quinonas, que someten a reacciones adicionales a los pigmentos oscuros llamados melaninas (Jianga, *et al.*, 2014; Jiang, *et al.*, 2011).

Estos resultados son consistentes a los obtenidos en la relación cromas-fenoles del envase de PEBD (Fig. 34) ya que a partir del día 11 se observa un incremento en el contenido de fenoles y una disminución en los valores de cromas.

3.12 Pectinmetilesterasas (PME)

El control de la cantidad de pectinmetilesterasas (PME) presentes en los diferentes tratamientos de la guayaba es muy importante, así como el monitoreo de los cambios asociados a los tratamientos aplicados es vital para su evaluación experimental por los cambios que ocurren en la firmeza de los productos vegetales, como lo es la guayaba fresca cortada ya que durante el tiempo de almacenamiento va disminuyendo su firmeza, este cambio es notorio desde el primer día de almacenamiento a una concentración de 5% de NLS tanto para atmósfera modificada activa y pasiva.

La Figura 35 muestra los factores que estadísticamente influyeron en la determinación de la PME y los cuales fueron la concentración de NLS en términos lineales, las NLS · Atmósfera y las NLS · Envase, obteniendo términos cuadráticos del modelo ($p \leq 0.05$).

Las guayabas mostraron un aumento de la actividad PME durante los primeros 14 días de almacenamiento refrigerado y aquellas que fueron recubiertas con una concentración de NLS de 10% mostraron un aumento en la actividad PME durante los primeros 11 días de almacenamiento, permaneciendo con mínimas variaciones desde este día hasta el final del almacenamiento (28 días).

Las muestras tratadas con 5% de NLS muestran una actividad de las PME menor durante los primeros 14 días de almacenamiento en contraste con el momento inicial de envasado.

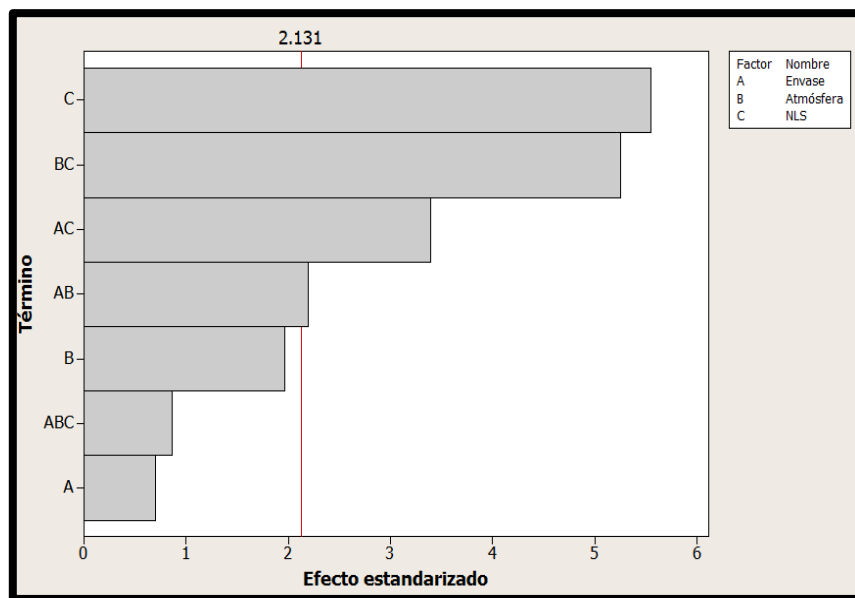


Figura 35. Diagrama de Pareto sobre la actividad PME presente en guayaba fresca cortada a diferentes condiciones de almacenamiento en el día 7.

La Figura 36 muestra que la interacción del envase y el tipo de atmósfera juegan un papel importante en la actividad de las PME teniéndose como efecto significativo durante este monitoreo y así mismo el de mayor intensidad ($p \leq 0.05$). La concentración de NLS en este día de almacenamiento refrigerado en la guayaba deja de ser determinante, esto asociado a que las NLS penetran la fruta disminuyendo el efecto protector, ya que no limita el intercambio de gases (sección 2.6) lo cual también está relacionado al comportamiento de la tasa de consumo de oxígeno.

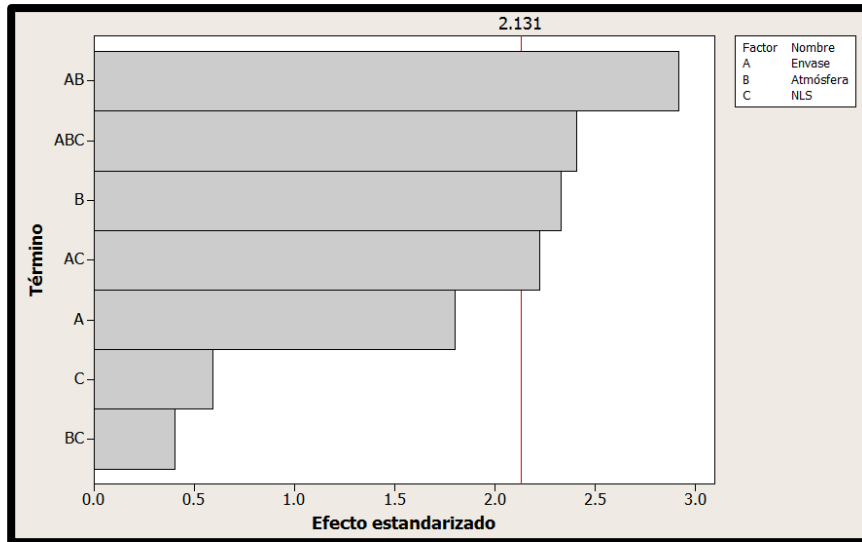


Figura 36. Grafica de Pareto del día 18 que representa los factores que tienen más influencia sobre la actividad PME

Sin embargo, esto también puede atribuirse a que hay un exceso de actividad enzimática lo que causa una disminución en la firmeza, lo que favorece condiciones para un ataque microbiano y aumenta la concentración de ácido galacturónico, como lo reporta (Barry-Ryan, 2007).

El ablandamiento de los tejidos durante el almacenamiento es el resultado de cambios estructurales en las paredes celulares primarias, esto solo es visible durante la primer parte del tiempo de almacenamiento refrigerado a 7 °C ya que después del día 14 en el recubrimiento a una concentración de 5% de NLS se determinó que hay un cambio de firmeza (Figura 37) y respiración (Figura 18) asociado a la actividad de las PME. Estas pérdidas tanto de las PME y textura no deseadas pueden retrasarse mediante la reducción de la migración de agua y el fortalecimiento del tejido a través de la adición de compuestos tales como cloruro de calcio, que une a las pectinas en la pared celular y la lámina media reforzando la cohesión entre las células (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005).

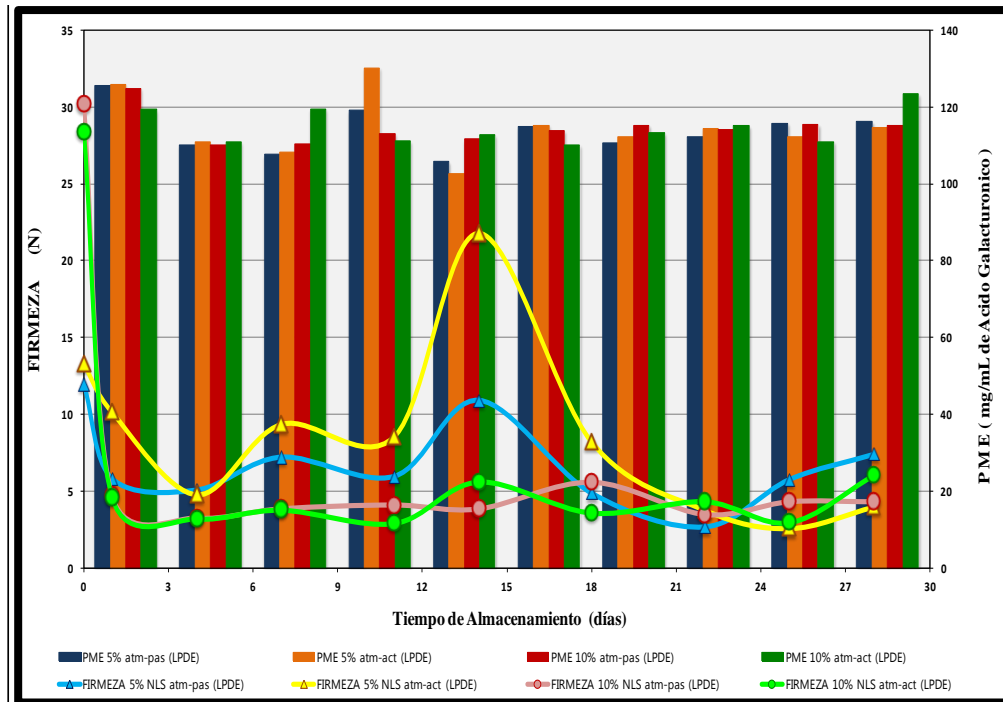


Figura 37. Relación entre la textura y la cantidad de PME contenida en los diferentes tratamientos de la guayaba durante el tiempo de almacenamiento envasados en PEBD.

Se ha reportado un efecto benéfico en la incorporación de cloruro de calcio en los recubrimientos como una mejor retención de la firmeza de la fruta recién cortada, especialmente aquellos alimentos que presentan un debilitamiento sustancial de los tejidos (Oms-Oliu, *et al.*, 2008), como lo es la guayaba. Es por ello y para evitar una mayor pérdida de la textura /firmeza y módulo de Young antes de recubrir las guayabas frescas cortadas con NLS, estas fueron inmersas en una solución de CaCl_2 a una concentración del 1%, durante 2 min. a temperatura ambiente; ya que el calcio forma enlaces cruzados entre los grupos carboxilo que se encuentran en la lámina media de la pared celular, reforzando la firmeza (Alandes, *et al.*, 2009). La baja temperatura no inactiva las enzimas PME y PG lo que permite que estas enzimas hidrolicen algunas de las pectinas (Anthon, 2002).

Otra forma de comprobar el contenido de PME es con los diagramas de Pareto ya que como se mencionó en el día 18 la firmeza (fig. 35) tiene una interacción importante entre

las tres variables, lo cual coincide con los resultados de PME para el mismo día, con la misma interacción (fig. 36) lo que demuestra que para estas condiciones de almacenamiento la atmosfera utilizada, así como el material envasado influenciado por la concentración del recubrimiento de NLS generan un efecto sobre la firmeza y PME.

3.13 Ácido Ascórbico

La guayaba (*Psidium guajava L*) presenta un alto contenido de ácido ascórbico (200 – 300 mg/100 g) en las etapas iniciales de maduración (Uddin, *et al.*, 2002). La guayaba es generalmente clasificada como fruto climatérico (Mercado-Silva, *et al.*, 1998). El ácido ascórbico es más sensible a la destrucción cuando el alimento que lo contiene se somete a condiciones adversas de manipulación y de almacenamiento.

Las pérdidas se incrementan por un almacenamiento prolongado, el daño físico y daño por frío (Barrett & Somogyi, 2005). La figura 38 muestra la cantidad de ácido ascórbico en los días 4, 14 y 28 de almacenamiento refrigerado mostrando un resultado significativo dado por la concentración del recubrimiento de NLS ($p \leq 0.05$) siendo la concentración de 5% la que conserva la mayor cantidad de ácido ascórbico en intervalos de 160 – 200 mg/100 g. El aumento de NLS en el recubrimiento disminuye de manera directa la concentración de vitamina C (60 – 130 mg/100 g) ($p \leq 0.05$) debido al daño fisiológico que causa la naturaleza lipófila de la cera cambiando la atmósfera interna en la superficie de la guayaba (Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2013).

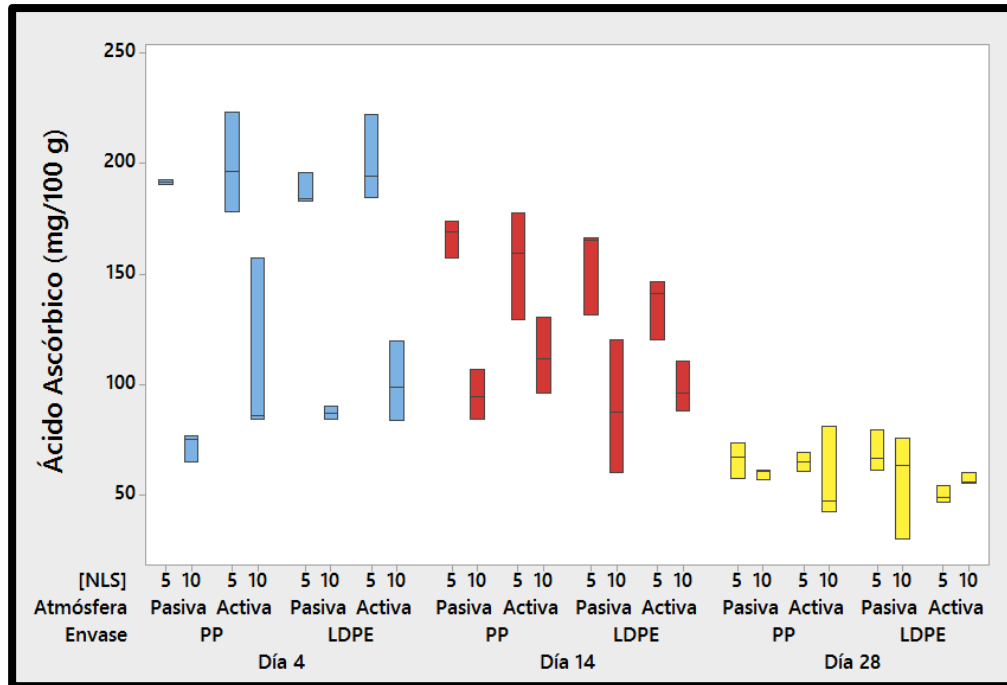


Figura 38. Gráfico de caja para ácido ascórbico para los días de almacenamiento refrigerado de 4, 14 y 28

El ANOVA realizado para el modelo de ácido ascórbico durante el almacenamiento refrigerado en el día 14, muestra que los términos lineales y de interacción tienen un efecto significativo en la concentración ($p \leq 0.000$) siendo el de mayor importancia la concentración de NLS ($p \leq 0.007$) debido a que la formación de recubrimientos comestibles afecta de manera directa la tasa de respiración inicial en frutas frescas cortadas (Qi, *et al.*, 2001; Rojas-Graü, *et al.*, 2009) que está asociado a la degradación de ácidos orgánicos (Sección 2.4 y 2.6).. El uso de sistemas de tamaño submicrónico ayuda a mejorar el control de la reducción de la tasa de respiración, atribuible a la mejor distribución del antioxidante en el recubrimiento formado en frutas frescas cortadas (Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2014).

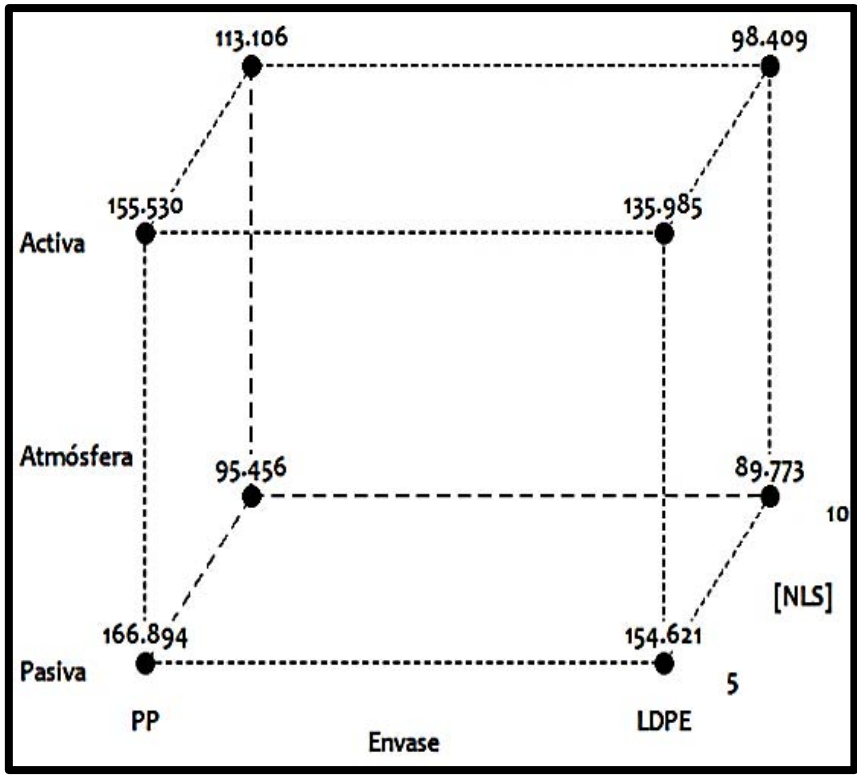


Figura 39. Gráfico de cubos para ácido ascórbico en la guayaba fresca cortada (día 14)

De acuerdo con investigaciones realizadas por Hong *et al.*, (2012) la concentración de ácido ascórbico en guayabas (*Psidium guajava L*) se ve afectado por la presencia de recubrimientos durante el almacenamiento a bajas temperaturas obteniendo concentraciones de 110 - 120 mg/100 g durante almacenamiento refrigerado durante 12 días lo que es consistente con el presente estudio. Estudios realizados por Qi, *et al.* (2011), indican que la reducción inicial de la velocidad de respiración es un factor importante en el aumento de la vida útil de frutas recién cortadas. El uso de sistemas de tamaño submicrónico ayuda a mejorar el control de la reducción de la velocidad de respiración, atribuible a la mejor distribución de las NLS en el recubrimiento formado sobre las guayabas. Ya que este recubrimiento protege la superficie evitando que se deteriore rápidamente evitando que este en contacto directo con la atmosfera y reduciendo el deterioro propio de la fruta.

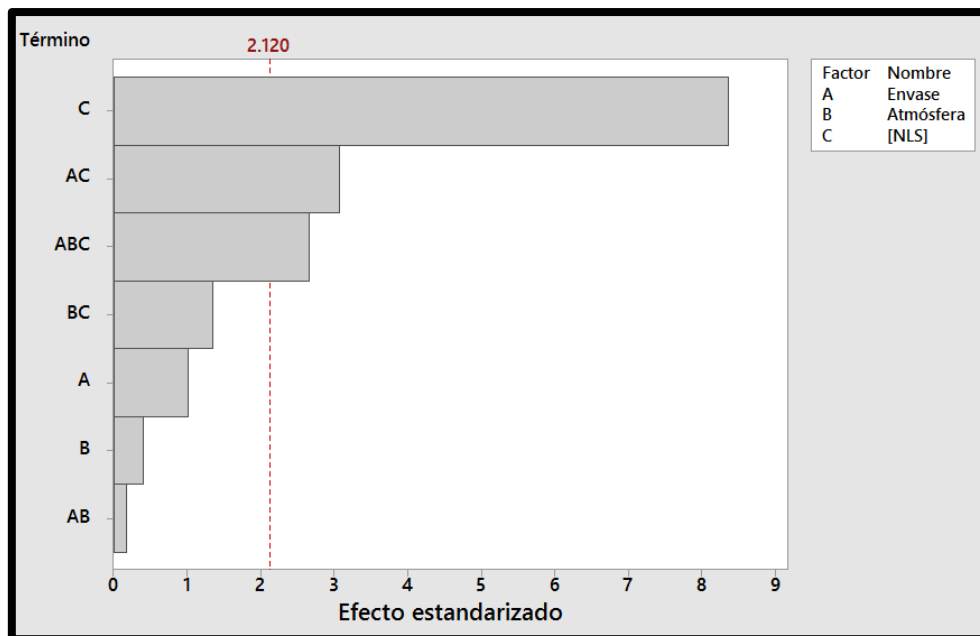


Figura 40. Diagrama de Pareto para la concentración de ácido ascórbico en el día 18 de almacenamiento refrigerado.

La figura 40 muestra que estadísticamente hay un efecto significativo en el día 18, donde la concentración de NLS es el factor más importante ($p \leq 0.05$), seguido por la interacción del envase y la concentración de NLS ($p \leq 0.007$) y la combinación de la concentración de NLS, envase y atmósfera ($p \leq 0.017$) lo cual puede ser atribuido a que después de transcurrido un tiempo de almacenamiento la composición de la atmósfera al interior del envase se ve modificada por la permeabilidad al O_2 y CO_2 y la manera en que esta interactúa con el recubrimiento aplicado inicialmente.

CONCLUSIONES

Las nanopartículas lipídicas sólidas incorporadas en goma xantana y empleadas como recubrimiento en la conservación de guayaba fresca cortada mostraron ser un excelente método para mantener la calidad en conjunto con el empleo de atmósferas modificadas.

Se estableció que las nanopartículas lipídicas sólidas incorporadas a una matriz de goma xantana como soporte polimérico y en combinación con el uso de atmósferas modificadas ejercieron un efecto estadísticamente significativo sobre la retención de ácido ascórbico, control de la actividad pectinmetilesterasas y polifenoles totales.

En relación a la firmeza, consumo de oxígeno y variaciones de los parámetros de perfil de color en la guayaba fresca – cortada las condiciones que permitieron el mayor control sobre estos parámetros fueron una concentración de NLS de 5% en atmósfera activa, independiente del tipo de envase empleado.

La actividad PME se correlacionó con los cambios en firmeza, determinándose que el empleo de nanopartículas lipídicas sólidas al 5 % fue la concentración que mejores resultados presentó en combinación con una atmósfera modificada activa favorece la retención de la firmeza ya que se determinó una menor actividad PME asociada a este caso.

En las evaluaciones realizadas se estableció que el uso de NLS junto con el uso de atmósferas modificadas activas disminuyen la oxidación de pigmentos naturales analizados como índice de oscurecimiento en relación a la cantidad de ácido ascórbico y compuestos polifenólicos presentes durante el periodo de almacenamiento.

En el caso del color, la combinación de atmósferas activas con concentración de 5% de NLS retiene durante un mayor periodo el color de la guayaba, haciéndolo más

atractivo al consumidor. Así mismo se confirmó que el pH está asociado con la concentración del O₂ ya que al estar en un medio con mucho oxígeno esto favorece que los azúcares se conviertan en ácidos lo que al paso del tiempo genera un problema microbiológico.

De igual manera se recomienda profundizar más en el tema ya que quedaron análisis de enzimas como lo son las polifenoloxidasas, poligalacturonasas y lipoxigenasas, así como análisis microbiológicos, los cuales podrían aportar, confirmar y contrastar los resultados obtenidos en este estudio de la ciencia de los alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Akelah, A. (2013). *Functionalized Polymeric Materials in Agriculture and the Food Industry*. New York: Springer Science .
- Alandes, L., Quiles, A., Pérez-Munuera, I., & Hernando, I. (2009). Improving the Quality of Fresh-Cut Apples, Pears, and Melons Using Natural Additives. *Journal of Food Science: Sensory and Food Quality* , 74 (8), 90-96.
- Almeida, A. J., & Souto, E. (2007). Solid lipid nanoparticles as a drug delivery system for peptides and proteins. *Advanced Drug Delivery Reviews* (59), 478–490.
- Anandharamakrishnan, C. (2014). *Techniques for Nanoencapsulation of Food Ingredients*. India: Springer Science.
- Anthon, G. E., Sekine, Y., Watanabe, N., & Barrett, D. M. (2002). Thermal Inactivation of Pectin Methylesterase, Polygalacturonase, and Peroxidase in Tomato Juice. *Journal Agricultural and Food Chemistry* (50), 6153-6159.
- ASERCA, A. y. (2013, JUNIO). Disponible en:
http://www.aserca.gob.mx/artman/publish/article_2316.asp.
- Badui D., S. (2006). *Química de los alimentos*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Barrett, D. M., Somogyi, L., & Ramaswamy, H. (Eds.). (2005). *Processing fruits*. United States of America: CRC Press.
- Barry-Ryan, C., Martin-Diana, A. B., Rico, D., & Barat, J. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology* (18), 373-386.
- Bashir, H. A., & Abu-Gouk, A.-B. A. (2003). Compositional changes during guava fruit ripening. *Food Chemistry* (80), 557-563.
- Benkeblia, N., & Tennant, P. F. (2011). Preharvest and harvest factors influencing the postharvest quality of tropical and subtropical fruits. In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 112-142). U.K: Woodhead Publishing Limited.
- Berk., Z. (2013). *Food Process Engineering and Technology* (Second ed.). Israel: Academic Press.

- Bravin, B. S. (2006). Development and application of polysaccharide–lipid edible coating to extend shelf-life of dry bakery products. *Journal of Food Engineering* , 76, 280-290.
- Briones, V., & Aguilera, J. M. (2005). Image analysis of changes in surface color of chocolate. *Food Research International* (38), 87–94.
- Carvalho, A. B., De Assis, S. A., Cerqueira Leite, K. M., Bach, E. E., & De Faria Oliveira, O. M. (2009). Pectin methylesterase activity and ascorbic acid content from guava fruit, cv. Predilecta, in different phases of development. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* . , 60 (3), 255-265.
- CODEX STAN. (1995). NORMA GENERAL DEL CODEX PARA LOS ADITIVOS ALIMENTARIOS. 1-361.
- Costa, C., Lucera, A., Conte, A., Mastroma, M., Speranza, B., Antonacci, A., *et al.* (2011). Effects of passive and active modified atmosphere packaging conditions on ready-to-eat table grape. *Journal of Food Engineering* , 102, 115-121.
- De la Rosa, L. A., Alvarez-Parrilla, E., & González-Aguilar, G. A. (2010). *Fruit and Vegetable Phytochemicals Chemistry: Nutritional Value, and Stability*. (1. ed.). Singapore: A John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- Djioua, T., Charles, F., Freire, M., Filgueiras, H., Ducamp-Collin, M.N., Sallanon, H., 2010. *Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (Mangifera indica L.)*. *Int. J. Food Sci. Tech.* 45, 849_855.
- Durán, N., Teixeira, Z., & Marcato, P. D. (2011). Chapter 4. Topical Application of Nanostructures: Solid Lipid, Polymeric and Metallic Nanoparticles. In *Nanocosmetics and Nanomedicines: New Approaches for Skin Care* (pp. 69-100). India: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Embuscado, M. E., & Huber, K. C. (Eds.). (2009). *Edible Films and Coatings for Food Applications*. USA.: Springer Science+Business Media.
- Farber, J., Harris, L. J., Parish, M. E., Beuchat, L., Suslow, T., Gorney, J. R. (2003). Chapter IV: Microbiological Safety of Controlled and Modified Atmosphere Packaging of Fresh and Fres-Cut Produce. In *Comprehensice Reviews in Food Science and Food Safety* (pp. 142-160).

- Fonseca, S. C., Oliveira, F. A., & Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering* (52), 99-119.
- Fonseca, S. C., Oliveira, F. A., Brecht, J. K., & Chau, K. V. (2005). Influence of low oxygen and high carbon dioxide on shredded Galega kale quality for development of modified atmosphere packages. *Postharvest Biology and Technology* (35), 279-292.
- Forero, D. P., Morales, A. L., & Osorio, C. (2012). Capítulo 5. Microencapsulación Del Color De La Guayaba. In *Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (Psidium guajava L.) para el fortalecimiento de la cadena productiva*. (pp. 139-151). Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Gaona, G. (2002). *Guayaba su cultivo en México*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regina Norte Centro.
- Garcia E., B. D., Garcia, E., & Barrett, D. M. (2002). Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. In O. Lamikanra, *Fresh-cut Fruits and Vegetables: Science, Technology and Market*.
- González-Aguilar, G. A., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., De la Rosa, L. A., & Álvarez-Parrilla, E. (2010). Preserving quality of fresh-cut products using safe. *Journal of Consumer Protection and Food Safety* (5), 65–72.
- Goswami, T. K. (2011). Advances in polymeric materials for modified atmosphere packaging (MAP). In J. Lagarón (Ed.), *Multifunctional and Nanoreinforced Polymers for Food Packaging* (pp. 163-242). India: Woodhead Publishing Limited.
- Goutam, M., Dhaliwal, H. S., & Mahajan, B. V. (2010). Effect of pre-harvest calcium sprays on post-harvest life of winter guava (*Psidium guajava L.*). *J Food Sci Technol* , 47 (5), 501-506.
- Hagerman, A. E., & Austin, P. J. (1986). Continuous Spectrophotometric Assay for Plant Pectin Methyl Esterase. *J. Agric. Food Chem.* (34), 444-447.
- Haminiuk, C. W., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S., & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits – an overview. *International Journal of Food Science and Technology*. (47), 2023–2044.

- Helgason, T., Awad, T. S., Kristbergsson, K., McClements, D. J., & Weiss, J. (2009). Effect of surfactant surface coverage on formation of solid lipid nanoparticles (SLN). *Journal of Colloid and Interface Science* (334), 75–81.
- Helgason, T., Awad, T. S., Kristbergsson, K., McClements, D. J., & Weiss, J. (2008). Influence of Polymorphic Transformations on Gelation of Tripalmitin Solid Lipid Nanoparticle Suspensions. *J Am Oil Chem Soc* (85), 501–511.
- Hong, K., Xie, J., Zhang, L., Sun D., & Gong D. (2012). Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava L.*) fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 144, 172–178.
- Hu, W. Z., Jiang, A. L., & Qi, H. P. (2013). Physiological behavior and quality of fresh ginseng stored in modified atmospheres generated by several package films. *J Food Sci Technol*, 1-8.
- Igoe, R. S. (2011). *Dictionary of Food Ingredients* (Fifth Edition ed.). U.S.A.: Springer Science+Business Media.
- IKA ULTRA-TURRAX®, T. 2. (2013, Feb).
http://www.ika.com/ika/product_art/manual/ika_t_25_digital.pdf.
- INFOASERCA. (2014). *infoasrca.gob.mx*. Retrieved Diciembre 06, 2014, from <http://www.infoaserca.gob.mx/proafex/GUAYABA.pdf>
- Jain, N., Dhawan, K., Malhotra, S. P., Siddiqui, S., & Singh, R. (2001). Compositional and enzymatic changes in guava (*Psidium guajava L.*) fruits during ripening. *Acta Physiologiae Plantarum*, 23 (3), 357-362.
- James, J. B., & Ngarmak, T. (2010). *Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A technical guide*. Bangkok: FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Jiang, T. (2013). Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 91-97.
- Jiang, T., Zheng, X., Li, J., Jing, G., Cai, L., & Ying, T. (2011). Integrated application of nitric oxide and modified atmosphere packaging to improve quality retention of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Chemistry*, 126, 1693-1699.

- Jianga, J., Jiang, L., Luo, H., & Yu, Z. (2014). Establishment of a statistical model for browning of fresh-cut lotus root during storage. *Postharvest Biology and Technology*, *92*, 164-171.
- Jing-Jun, Y., Jian-Rong, L., Xiao-Xiang, H., Lei, Z., Tian-Jia, J., & Miao, X. (2012). Effects of Active Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Quality of Shiitake Mushrooms (*Lentinula edodes*) Stored at Cold Storage. *Journal of Integrative Agriculture*, *3* (11), 474-482.
- Jolie, R. P., Duvetter, T., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E. (2010). Pectin methylesterase and its proteinaceous inhibitor: a review. *Carbohydrate Research* (345), 2583–2595.
- Kader, A. (2011). Postharvest biology of tropical and subtropical fruits. In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (Vol. 1. Fundamental issues, pp. 79-111). Woodhead Publishing Limited.
- Kim, D.-H., Kim, H.-B., Chung, H.-S., & Moon, K.-D. (2014). Browning control of fresh-cut lettuce by phytoncide treatment. *Food Chemistry*, *159*, 188-192.
- Lamikanra, O. (Ed.). (2002). *Fresh-cut fruits and vegetables: Science, Technology, And Market*. United States of America: CRC PRESS.
- Lamikanra, O., & Watson, M. A. (2001). Effects of Ascorbic Acid on Peroxidase and Polyphenoloxidase Activities in Fresh-Cut Cantaloupe Melon. *Jornal Of Food Science*, *66* (9), 1283-1286.
- Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, *20*, 207-220.
- Lima, G. P., & Vianello, F. (Eds.). (2013). *Food Quality, Safety and Technology*. London: Springer-Verlag Wien.
- Limbo, S., & Piergiovanni, L. (2006). Shelf life of minimally processed potatoes Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. *Postharvest Biology and Technology*, *39*, 254-264.
- Lozano, J. E. (2006). *Fruit Manufacturing Scientific Basis, Engineering Properties, and Deteriorative Reactions of Technological Importance*. USA: Springer Science&Business Media.

- Mangaraj, S., & Goswami, T. K. (2011). Measurement and Modeling of Respiration Rate of Guava (CV. Baruipur) for Modified Atmosphere Packaging. *International Journal of Food Properties*, 14 (3), 609-628.
- Mangaraj, S., Goswami, T. K., Giri, S. K., & Joshy, C. G. (2012). Design and development of modified atmosphere packaging system for guava (cv. Baruipur). *J Food Sci Technol*, 1-22.
- Marquina, V., Araujo, L., Ruíz, J., Rodríguez-Malaver, A., & Vit, P. (2008). Composición química y capacidad antioxidante en fruta, pulpa y mermelada de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Archivos Latinoamericanos De Nutricion*, 58 (1), 98-102.
- Mastromatteo, M., Conte, A., & Del Nobile, M. A. (2012). Packaging strategies to prolong the shelf life of fresh carrots (*Daucus carota* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 13, 215-220.
- Mehnert, W., & Mäder, K. (2012). Solid lipid nanoparticles: Production, characterization and applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 64, 83-101.
- Menezes Oliveira, D., Kwiatkowski, A., Franco Rosa, C. I., & Clemente, E. (2012). Refrigeration and edible coatings in blackberry (*Rubus* spp.) conservation. *J Food Sci Technol*, 1-7.
- Mercado-Silva, E., Benito-Bautista, P., De los, A., & García-Velasco, M. (1998). Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central Mexico. *Postharvest Biology and Technology*, 13(2), 143-150.
- Michael Eskin, N. A., & Shahidi, F. (Eds.). (2012). *Biochemistry of Foods* (Third Edition ed.). U.S.A: Academic Press.
- Moalemiyan, M., Ramaswamy, H. S., & Maftoonazad, N. (2012). Pectin-based edible coating for shelf-life extension of ataulfo mango. *Journal of Food Process Engineering*, 35(4), 572-600.
- Montero-Calderon, M., Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martin-Belloso, O. (2009). Tendencias en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas frescas. *Horticultura Internacional* (69), 48-51.
- Moreira Lana, M. (2005). *Modelling quality of fresh-cut tomato based on stage of maturity and storage conditions*. Dutch and: Ph.D. Thesis. Wageningen University.

- Müller, R. H., Mäder, K., & Gohla, S. (2000). Solid lipid nanoparticles (SLN) for controlled drug delivery - a review of the state of the art. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* (50), 161-177.
- Olivas, G., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Edible Coatings for Fresh-Cut Fruit. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* , 45, 657-670.
- Oluwafemi James, C. (2012). Modified atmosphere packaging of pomegranate arils. *Postharvest Biology and Technology* , 64, 49-54.
- Oluwafemi, J. C., Pramod, V. M., Fahad Al-Julanda, A.-S., & Umezuruike, L. O. (2013). Modified Atmosphere Packaging Technology of Fresh and Fresh-cut Produce and the Microbial Consequences—A Review. *Food Bioprocess Technol* (6), 303–329.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology* , 50, 87-94.
- Ortega-Rivas, E. (2012). *Non-thermal Food Engineering Operations*. México: Springer Science+Business Media.
- Pandey, S. K., Jean E., J., Bisen, & Abhay. (2010). Influence of gamma-irradiation, growth retardants and coatings on the shelf life of winter guava fruits (*Psidium guajava* L.). *J Food Sci Technol* , 47 (1), 124-127.
- Pereira, L. M., Rodrigues, A. C., Sarantópo, C., Junqueira, V. C., Cunha, R. L., & Hubinger, M. (2004). Influence of Modified Atmosphere Packaging and Osmotic Dehydration on the Quality Maintenance of Minimally Processed Guavas. *Journal of Food Science* , 69 (4), 172-177.
- Pérez-Gago, M. B., González-Aguilar, G. A., & Olivas, G. I. (2010). Edible coatings for fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Review* , 6 (1), 1-14.
- Perez-Gago, M., Serra, M., & del Río, M. A. (2006). Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. *Postharvest Biology and Technology* , 39, 84-92.
- Qi, H., Hu, W., Jiang, A., Tian, M., & Li, Y. (2011). Extending shelf-life of fresh-cut 'fuji' apples with chitosan-coatings. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(1), 62–66.

- Quirasco B., M., & López-Munguía C., A. (2006). Enzimas. In S. B. Dergal., *Química de los alimentos*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Ramos, B., Miller, F. A., Brandão, T. R., & Teixeira, P. (2013). Fresh fruits and vegetables — An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (20), 1-15.
- Ranganna, S. (1977). *Handbook of analysis and quality control for fruits and vegetable products*. (2da. ed. ed.). New Delhi, India: Tata McGraw Pub. Co.
- Ribeiro, C., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., & Miranda, C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology*, 44, 63-70.
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 438-447.
- Sagarpa. (2009).
http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/FRU_CASA_RE.pdf.
- Sahin, S., & Gülüm Sumnu, S. (2006). *Physical Properties of Foods*. United States of America: Springer Science+Business Media.
- Salinas-Hernández, R. M., González-Aguilar, G. A., & Tiznado-Hernández, M. E. (2013). Utilization of physicochemical variables developed from changes in sensory attributes and consumer acceptability to predict the shelf life of fresh-cut mango fruit. *J Food Sci Technol*, 1-15.
- Sandhya. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT - Food Science and Technology* (43), 381-392.
- Santos, P. H., & Silva, M. A. (2008). Retention of Vitamin C in Drying Processes of Fruits and Vegetables—A Review. *Drying Technology: An International Journal*, 26 (12), 1421-1437.
- SEDRU, (2013, Octubre). <http://www.sedru.michoacan.gob.mx/index.php/noticias/178-comunicado-sedru-143-produccion-la-guayaba-es-la-fruta-reyna-y-michoacan-es-el-productor-no-1>.

- Shyla, B., & Nagendrappa, G. (2013). Redox spectrophotometric method involving electrolytically generated manganese(III) sulphate with diphenylamine for the determination of ascorbic acid present in the samples of various fruits, commercial juices and sprouted food grains. *Food Chemistry* (138), 2036–2042.
- Singh, R. P. (2014). Packaging Concepts. In D. R. R. Paul Singh., *Introduction to Food Engineering* (Fifth Edition ed., pp. 767-791). U.S.A.: Academic Press.
- Singh, S. (2011). Chapter 10. Guava (*Psidium guajava* L.). In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits Vol. 3 Cocona to Mango* (pp. 213-245). Cambridge, Woodhead Publishing Ltd.
- Singh, S., & Pal, R. (2008). Response of climacteric-type guava (*Psidium guajava* L.) to postharvest treatment with 1-MCP. *Postharvest Biology and Technology* (47), 307–314.
- Soares, F. D., Pereira, T., Maio Marques, M. O., & Monteiro, A. R. (2007). Volatile and non-volatile chemical composition of the white guava fruit (*Psidium guajava*) at different stages of maturity. *Food Chemistry*, 100, 15-21.
- Sothornvit, R., & Rodsamran, P. (2008). Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. *Postharvest Biology and Technology*, 47, 407-415.
- Tano, K., Oulé, M. K., Doyon, G., Lencki, R. W., & Arul, J. (2007). Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 212-221.
- Thompson, A. K. (2003). *Fruit and Vegetables: Harvesting, Handling and Storage*. (second ed.). Blackwell Publishing.
- Tirkey, B., Pal, U. S., Bal, L. M., Sahoo, N. R., Bakhara, C. K., & Panda, M. K. (2014). Evaluation of physico-chemical changes of fresh-cut unripe papaya during storage. *Food Packaging And Shelf Life*, 1, 190-197.
- Tzec, J. A. (2010). Una revisión sobre la importancia del fruto de Guayaba (*Psidium guajava* L.) y sus principales características en la postcosecha. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19 (4), 74-82.
- Uddin, M.S., Hawlader, M.N.A., Ding, L., Mujumdar, A.S. (2002). Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage. *Journal of Food Engineering*. 51, 21 – 26.

- USDA, A. R. (2013, Noviembre).
<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2322?fg=Fruits+and+Fruit+Juices&man=&facet=&format=&count=&max=25&offset=&sort=&qlookup=guava>.
- Vaclavik, V. A., & Christian, E. W. (2008). *Essentials of Food Science* (3ra ed.). New York: Springer Science+ Business Media.
- Vakkalanka, M. S., D'Souza, T., Ray, S., & Yam, K. L. (2012). Emerging packaging technologies for fresh produce. In *Emerging Food Packaging Technologies* (pp. 109-133). Woodhead Publishing Limited.
- Viña, S. Z., Mugridge, A., Garcia, M. A., Ferreyra, R. M., Martino, M. N., Chaves, A. R., *et al.* (2007). Effects of polyvinylchloride films and edible starch coatings on quality aspects of refrigerated Brussels sprouts. *Food Chemistry*, *103*, 701-709.
- Waghmare, R., & Annapure, U. S. (2013). Combined effect of chemical treatment and/or modified atmosphere packaging (MAP) on quality of fresh-cut papaya. *Postharvest Biology and Technology*, *85*, 147-153.
- Watada, A. E. (1999). Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology*, *15*, 201-205.
- Weiss, J., Decker, E., McClements, D., Kristbergsson, K., Helgason, T., & Awad, T. (2008). Solid Lipid Nanoparticles as Delivery Systems for Bioactive Food Components. *Food Biophysics*, *3* (2), 146-154.
- Yahia, E. M. (Ed.). (2011). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (Vol. 1). USA: Woodhead Publishing Limited.
- Yan Wang, D. S. (2013). Internal browning disorder and fruit quality in modified atmosphere packaged 'Bartlett' pears during storage and transit. *Postharvest Biology and Technology* (83), 72-82.
- Yirat Becerra, M., García Pereira, A., Hernández Gómez, A., Calderín García, A., & Camacho Anaya, N. (2009). Evaluación de la calidad de la guayaba, variedad enana roja EEA-1-23, durante el almacenamiento a temperatura ambiente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, *18* (2), 70-73.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Ramirez-Zamorano, P., Cornejo-Villegas, M., Gutiérrez-Cortez, E., & Quintanar-Guerrero, D. (2013). Use of solid lipid

nanoparticles (SLNs) in edible coatings to increase guava (*Psidium guajava* L.) shelf-life. *Food Research International*, 51, 946-953.

Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Del Real L., A., Gutiérrez-Cortez, E., Cornejo-Villegas, M. A., & Quintanar-Guerrero, D. (2014a). The effect of nano-coatings with α -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut "red delicious" apples. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 22, 188-196.

Zambrano-Zaragoza, M. L., Gutiérrez-Cortez, E., Del Real, A., González-Reza, R. M., Galindo-Pérez, M. J., & Quintanar-Guerrero, D. (2014b). Fresh-cut red delicious apples coating using tocopherol/mucilage nanoemulsion: Effect of coating on polyphenol oxidase and pectin methylesterase activities. *Food Research International*, 62, 974-983.

Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Gutiérrez-Cortez, E., Castaño-Tostado, E., & Quintanar-Guerrero, D. (2011). Optimization of nanocapsules preparation by the emulsion-diffusion method for food applications. *LWT - Food Science and Technology*, 44(6), 1362-1368.