



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN
RECUBRIMIENTO DE NANOPARTÍCULAS
LIPÍDICAS SÓLIDAS (NLS) SOBRE LA
VIDA ÚTIL DE FRESA (*Fragaria x
ananassa*) ALMACENADA EN
REFRIGERACIÓN**

T E S I S

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

P R E S E N T A:

MADELAINE OCÁDIZ GARCÍA

**Asesores: Dra. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza
Dr. David Quintanar Guerrero**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

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

M. EN C. JORGE ALFREDO CUELLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

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

Efecto de la aplicación de un recubrimiento de Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS) sobre la vida útil de fresa (fragaria x ananassa) almacenada en refrigeración

Que presenta la pasante: Madeline Ocádiz García
Con número de cuenta: 304830879 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 21 de febrero de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	IBQ. Norma Beatriz Casas Alencaster	
VOCAL	IA. Alfredo Álvarez Cárdenas	
SECRETARIO	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
1er. SUPLENTE	IA. Verónica Romero Arreola	
2do. SUPLENTE	IQ. Guillermo Martínez Morua	

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

El presente trabajo fue financiado por el proyecto PAPIIT IT 200814: Desarrollo de sistemas nanoparticulados para incrementar la vida útil y nutraceutica de frutas frescas, cortadas y bebidas de fruta, de la DGAPA-UNAM.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá por encontrarnos en el camino de la vida, por ser mi fortaleza durante todos los días de mi carrera universitaria animarme cada día a ser una gran profesionalista y persona, por ser mi mayor fortaleza para la realización y conclusión de este trabajo y sobre todo por enseñarme uno de los valores más importantes desde el inicio de mi educación: la disciplina.

A mi papá por inculcarme el estudio como la mayor herramienta para la vida y por su gran apoyo para tener siempre una mejor educación a pesar de las adversidades económicas.

A mi abuelita, abuelito (QPD) y mis tías por ser otras mamás para mí, por su apoyo incondicional en los mejores y peores momentos de mi vida, por sus consejos siempre asertivos para ser una mejor persona; en especial; a: mi tía Lola por alentarme a ser una mejor persona en sus sabios consejos y por alentarme a sacar adelante este trabajo, a mi tía Marisa por cuidarme como otra madre y por siempre tener una palabra de apoyo para mí, a mi tía Clara por cuidarme y siempre tener un abrazo y una bendición para mí, a mi tía Mary por su gran apoyo, a mis tías Leonor y Josefina por su gran apoyo y siempre estar al pendiente de mí y finalmente a mi tío Camerino por su apoyo para ser una mejor persona, y por quererme como otra hija

A mis amigos Tania, Angie, Eri, Wendy, Montse, Vicky, Cynthia, Karla y Jonathan por su amistad y apoyo en todo momento, por desvelarnos juntos, compartir con ustedes tantas risas y llantos durante esta gran etapa de la vida. Por formar el equipo mío, por ser el mejor equipo de Lem 4 y por conocer a las mejores amigas en primer semestre.

A mis alumnas, mis heivitas por darme muchas lecciones de vida durante 10 años, por apoyarme y entenderme cuando no podía llegar a dar clases por que tenía que terminar un trabajo en la escuela.

A mi asesora la doctora Luz por su apoyo desde el momento en que me dio la oportunidad de realizar este trabajo, por su confianza para realizarlo y darme las herramientas para concluir esta etapa de mi vida, compartiendo sus grandes conocimientos.

Al doctor Quintanar por su apoyo y permitirme trabajar en su laboratorio.

“A’ohe pu’u ki’eki’e ke ho’a’o ‘ia e pi’i”
“Ningún acantilado es tan alto que no pueda ser trepado”
-Proverbio hawaiano-
¡Mahalo! ¡Mauruuru roa! ¡Gracias!

ÍNDICE

RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	vi
	Página
I. ANTECEDENTES	1
1.1. La Fresa (Fragaria x ananassa)	1
1.1.1 Conservación post-cosecha	4
1.1.2 Calidad de la fresa	5
1.1.3 Metabolismo de frutos post-cosecha	8
1.1.4 Producción de etileno	10
1.1.5 Conservación en frío de fresa	11
1.1.6 Daños por frío	12
1.1.7 Índices de calidad	12
1.2 Recubrimientos comestibles	16
1.2.1 Recubrimientos en frutas	17
1.2.2 Propiedades de recubrimientos a base de lípidos	19
1.2.3 Cera de abeja	20
1.2.4 Goma xantana	21
1.3 Nanopartículas	22
1.3.1 Nanopartículas Lipídicas Sólidas	24
1.3.2 Obtención de las Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS)	26
1.3.3 Influencia de los ingredientes sobre las NLS	28
1.3.4 Caracterización de NLS	29
II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	33
2.1 Problema	33
2.2 Objetivo general	33

2.3	Objetivos particulares	33
2.4	Selección de variables	34
2.5	Desarrollo experimental	35
2.5.1	Materia prima	36
2.5.2	Actividades del objetivo particular 1	36
2.5.4	Actividades del objetivo particular 2	39
2.5.5	Actividades preliminares del objetivo particular 2	43
2.6	Diseño experimental	48
III.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.1	Resultados de objetivo particular 1	49
3.1.1	Tamaño de partícula	49
3.1.2	Potencial zeta	50
3.2	Resultados del objetivo particular 2	51
3.1.3	Pérdida de peso	51
3.2.2	Jugosidad	54
3.2.3	Cambios en pH	56
3.2.4	Acidez	58
3.2.5	Sólidos Solubles Totales	60
3.3	Resultados del Objetivo particular 3	63
3.3.1	Respiración	64
3.3.2	Color	65
3.3.3	Firmeza	72
3.4	Resultados del Objetivo particular 4	75
3.3.4	Índice de decaimiento	75
	CONCLUSIONES	78
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1. Composición química de la fresa.....	3
Cuadro 2. Condiciones óptimas de conservación de la fresa.....	8
Cuadro 3. Identificación y definición de variables.....	35
Cuadro 4. Interpretación y escala de los parámetros de color.	45
Cuadro 5. Tamaño de partícula de las nanopartículas sólidas.....	49
Cuadro 6. Potencial zeta de las nanopartículas lipídicas sólidas.	51
Cuadro 7. ANOVA de la pérdida de peso en función de la concentración y el tiempo de almacenamiento.	54
Cuadro 8. ANOVA de jugosidad en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.	56
Cuadro 9. ANOVA de pH en función del tiempo de almacenamiento y concentración.	58
Cuadro 10. ANOVA de acidez en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.	60
Cuadro 11. ANOVA del contenido de sólidos solubles totales en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.	63
Cuadro 12. ANOVA de la tasa de respiración en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.	65
Cuadro 13. ANOVA de cromaticidad en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.	67
Cuadro 14. ANOVA de luminosidad en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.	70
Cuadro 15. ANOVA de tono ($^{\circ}h$) en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.	72
Cuadro 16. ANOVA del índice de decaimiento en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Fruto de la fresa	1
Figura 2. Zonas de la fresa	2
Figura 3. Estructura del fruto	3
Figura 4. Respiración de frutos climatéricos y no climatéricos	7
Figura 5. Estructura de la goma xantana	21
Figura 6. Efecto del surfactante sobre el tamaño de partícula (Ranjan Sinha, et al., 2010)	29
Figura 7. Potencial zeta.....	32
Figura 8. Selección de fresas por tamaño, eliminación de fresas con daño.....	36
Figura 9. Ultraturrax	37
Figura 10. Almacenamiento de fresas en refrigeración	39
Figura 11. Potenciómetro	41
Figura 12. Refractómetro	42
Figura 13. Frascos con fresas para medición de oxígeno	44
Figura 14. Aspectos de color Luminosidad, Tono (h°) hue y Croma.	44
Figura 15. Ejes de parámetros de color	45
Figura 16. Texturómetro INSTRON y Colorímetro Minolta CR 300	47
Figura 17. Señales de decaimiento, a) obscurecimiento, b) incidencia fúngica, c) ablandamiento.....	47
Figura 18. Diferencia de peso durante el almacenamiento	52
Figura 19. Jugosidad durante el almacenamiento.....	55
Figura 20. Cambios de pH durante el almacenamiento	57
Figura 21. Cambios de acidez durante el almacenamiento.....	59
Figura 22. Cambios en SST durante el almacenamiento	61
Figura 23. Cambios en el consumo de oxígeno durante el almacenamiento	64
Figura 24. Grafica de cromas durante el almacenamiento.....	66
Figura 25. Grafica de luminosidad durante el almacenamiento.....	68
Figura 26. Color de fresas al día 10; a) Control, b) goma xantana, c) 10%NLS, d) 20%NLS y e) 30%NLS	69
Figura 27. Cambios en tono (°h) durante el almacenamiento	71
Figura 28. Cambios de textura durante el almacenamiento	73
Figura 29. Índice de decaimiento durante el almacenamiento	75
Figura 30. Fresas con daño físico durante los días de almacenamiento.....	76

RESUMEN

Debido al constante interés por parte de los consumidores en adquirir productos frescos y de calidad, los investigadores han buscado crear nuevas tecnologías que logren extender la vida útil de productos perecederos tales como las frutas, entre ellas la fresa que es una fruta de distribución y consumo mundial, apreciada por sus excelentes cualidades de color, aroma y acidez, además de ser una fruta rica en vitaminas A y C. Sin embargo, debido a su alta actividad metabólica y alta susceptibilidad al decaimiento tiende a perder rápidamente su calidad. En los últimos años se ha profundizado el estudio sobre los recubrimientos comestibles en frutas frescas o listas para consumir, los cuales tienen el propósito de extender la vida útil y proteger del deterioro creando una atmosfera modificada con la finalidad de retardar el metabolismo y controlar la perdida de humedad. Así, en la innovación en recubrimientos hay que sumar la incorporación de Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS) como sistemas coloidales capaces de portar y liberar compuestos funcionales como la cera de abeja. En este trabajo se evaluó el efecto de la aplicación de recubrimientos con diferentes concentraciones de NLS para determinar su efecto en la conservación de fresa. Se elaboraron recubrimientos con NLS a base de cera de abeja a 3 concentraciones; 10%, 20% y 30% y con concentración constante de 0.4 % de goma xantana. Los recubrimientos se aplicaron por inmersión a fresas que fueron almacenadas a 4°C/ 20 días en cajas perforadas de polietileno evaluándose cada tercer día pH, acidez titulable, sólidos solubles, firmeza, color y decaimiento. Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron que el uso de Nanopartículas Lipídicas Sólidas al 10 % fue el sistema más efectivo en la conservación de las características fisicoquímicas, color y firmeza en las fresas hasta por 20 días observándose que a mayor concentración de nanopartículas en el recubrimiento este no mejoró las propiedades de barrera; acelerando la senescencia.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda por parte de los consumidores de alimentos saludables, naturales, con buena calidad que además sean inocuos, ha llevado al desarrollo de nuevas estrategias y metodologías de conservación y envasado que promuevan el incremento de la vida útil de los alimentos, tomando a su vez en consideración el hecho de que los envases empleados sean reutilizables y/o reciclables (Rojas-Graü, et al., 2009).

Una de las mejores alternativas en los últimos años es el uso de recubrimientos comestibles, los cuales constituyen un método innovador para extender la vida útil de los alimentos. Como respuesta a esta demanda son elaborados a partir de diversos polímeros biodegradables formados por proteínas, polisacáridos, y lípidos (Vu, et al., 2011). Éstos actúan como una membrana que proporciona una barrera a la humedad, mientras que de manera selectiva permiten el intercambio de gases como O₂, CO₂ y etileno implicados en el proceso de respiración. Los recubrimientos pueden también utilizarse como vehículos de diversos compuestos como agentes antioxidantes, antimicrobianos, nutraceuticos, con la finalidad de lograr la liberación de sustancias que ayuden a conservar el producto y que el recubrimiento cumpla con la finalidad de mantener una eficaz barrera en la superficie del alimento que está en contacto con el oxígeno de la atmosfera que lo rodea (Guilbert & Biquet, 1996).

Los recubrimientos comestibles son utilizados frecuentemente en frutas y verduras, ya que al ser tejidos vivos pasan por procesos fisiológicos y bioquímicos, que provocan cambios que deterioran la calidad sensorial y nutrimental de estos productos y que por ende reducen considerablemente el tiempo de vida útil, con lo que el empleo de recubrimientos retrasa estos procesos dando lugar a una mejor apariencia, aportando brillo y conservando el color por más tiempo (Embuscado & Huber, 2009).

La fresa (*Fragaria x ananassa*) es un fruto no-climatérico altamente perecedero por lo que es muy susceptible al daño mecánico, deterioro fisiológico, pérdida de agua y decaimiento microbiológico durante su almacenamiento. Sus cortos periodos de vida útil antes de la comercialización hacen de esta un gran desafío (Yan, et al., 2009).

Para su conservación se utiliza el almacenamiento a bajas temperaturas (0-4°C) y atmosferas modificadas. En los últimos años se han realizado diversos estudios para mejorar la funcionalidad de los recubrimientos comestibles en la conservación de fresa. Sin embargo, la naturaleza hidrofílica de compuestos como quitosano, alginato, mucilago de nopal; entre otros, provoca una barrera pobre e incluso la solubilización dentro del producto debido a su alta actividad de agua, haciendo difícil su aplicación en la industria. La incorporación de materiales lipídicos como ácidos grasos o ceras permite mejorar la permeabilidad al vapor de agua. En la búsqueda de mejores funcionalidades se ha estudiado el uso de bio-nanocompuestos (Azeredo, et al., 2009).

Las Nanopartículas Lipídicas Sólidas se definen como partículas esféricas con diámetros entre 100 y 1000 nm. Poseen una matriz de núcleo lipídico sólido que puede solubilizar moléculas lipófilas. La dispersión es estabilizada mediante tensoactivos (Triplett II, 2004). El uso de Nanopartículas Lipídicas Sólidas aplicadas a recubrimientos comestibles modifica la superficie específica, mejorando la relación interfacial entre los compuestos como consecuencia mejora sus propiedades de barrera y mecánicas (Chang, et al., 2010).

I. ANTECEDENTES

1.1. La Fresa (*Fragaria x ananassa*)

La fresa (*Fragaria x ananassa*) pertenece a la familia de las Rosáceae, al género *Fragaria*, y especie *ananassa*, su nombre procede del latín <<fragans>> fragante, es una de las frutas de mayor aceptación mundial con múltiples usos industriales como mermeladas, purés, concentrados, helados, bases para yogurt, etc. Apreciada por sus excelentes propiedades organolépticas, pero extremadamente perecedera debido a su textura suave, alta sensibilidad al ablandamiento y ataque fúngico (Galletto, et al., 2010).

En México existen doce estados en los que se produce fresa: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit y Querétaro. Aunque solamente tres de estos resultan tener un nivel significativo de producción: Michoacán, Baja California y Guanajuato. Entre estos tres estados generan el 91.55% del total de producción nacional de fresa y solamente uno de ellos que es Michoacán genera el 52.38% de la producción nacional situándose con esto como el estado productor más importante de fresa en México por su volumen de producción aunque no por su productividad (CONAFRESA, 2008).



Figura 1. Fruto de la fresa

El fruto o fresa (Figura 1) es en realidad un falso fruto, formado por el engrosamiento del receptáculo floral en el que están insertos los verdaderos frutos llamados aquenios, integrados en el receptáculo que es la parte carnosa comestible (Figura 2). Se describen cinco zonas del tejido de la fresa: (1) la epidermis que consiste en células poligonales y pelos largos de paredes gruesas o estomas, (2) hipodermis que consiste en células meristemáticas y sin espacios intercelulares, (3) la corteza o carne verdadera con células redondas y espacios intercelulares, (4) zona haz que comprende en espiral y anular vasos (xilema y floema) y (5) que consiste en células de medula de pared fina que a menudo se separan durante el crecimiento de la baya, dejando grandes cavidades (Kader, 1991). Los componentes de la fresa la hacen un fruto relativamente alto en fibra y bajo en calorías además de una excelente fuente de vitamina C, ácido fólico y potasio (Harris & Mitchan, 2007).

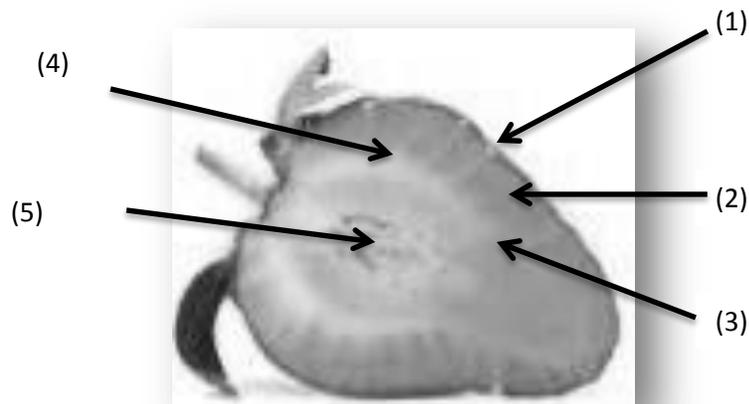


Figura 2. Zonas de la fresa

Además de estos nutrientes habituales, las fresas son ricas en antioxidantes los cuales protegen al tejido contra el estrés y enfermedad, antocianinas, flavonoides y ácidos fenólicos (Ayala-Zavala, et al., 2004).

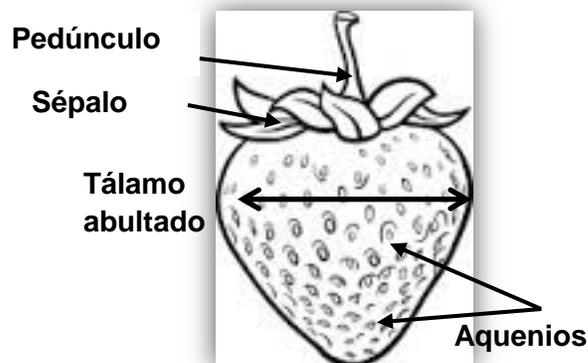


Figura 3. Estructura del fruto

La planta de fresa es de tipo herbáceo y perenne. El sistema radicular es fasciculado, se compone de raíces y raicillas. En condiciones óptimas pueden alcanzar los 2 a 3 m, aunque lo normal es que no sobrepasen los 40 cm, encontrándose la mayor parte (90%) en los primeros 25 cm. La planta de fresa es perenne ya que por su sistema de crecimiento, constantemente está formando nuevos tallos, que la hacen permanecer viva en forma indefinida (SAGARPA, 2010). Su composición química (Cuadro 1) y los atributos de calidad son altamente influenciados por la combinación de varios factores como genéticos (variedad), geográficos (clima y suelo), entre otros. (Macias-Rodriguez, et al., 2004).

Cuadro 1. Composición química de la fresa.

Componente	%
Agua	90.95
Hidratos de Carbono	4.66-7.68
Lípidos	0.3-0.5
Proteínas	0.7
Fibra	2
Ácido cítrico	0.87

(Nunes Damaceno, 2007)

La fresa es nativa de regiones templadas alrededor del mundo incluyendo partes de Norteamérica (Harris & Mitchan, 2007). La planta de fresa es termo y fotoperiódica, es decir que su crecimiento depende de las condiciones de luz y temperatura. Es un cultivo que se adapta a muchos tipos de climas pero la temperatura óptima para fructificación adecuada está entre los 15 y 20 °C diarios. La influencia del suelo, su estructura física y contenido químico en cuanto a nutrientes son las bases para un buen desarrollo. Requiriendo un equilibrio entre estos ricos en materia orgánica, bien aireados, drenados pero con cierta capacidad de retención de agua. En México la granulometría óptima del suelo para su cultivo es aproximadamente: 50 % de arena sílica, 20 % de arcilla, 15 % de calizas y 5 % de materia orgánica y con un pH de 6.5 o menor (CONAFRESA, 2008).

Las fresas generalmente se cosechan manualmente debido a su sensibilidad y vulnerabilidad al daño mecánico. Debe cosecharse en plena madurez para lograr la máxima calidad en términos de apariencia visual (frescura, color, ablandamiento y desordenes fisiológicos), textura (firmeza y jugosidad), el sabor y valor nutricional (vitaminas, minerales, fibra dietética y fitonutrientes), (Hernández-Muñoz, et al., 2008). Conforme la fresa madure en el árbol, el peso, el % de sólidos solubles, ácido ascórbico y pectinas solubles en agua aumentan; mientras que la acidez, fenoles totales y actividad de polifenoloxidasas disminuyen (Salunkhe & Desai, 1984).

1.1.1 Conservación post-cosecha

La fresa es un fruto altamente perecedero con cortos periodos de maduración y senescencia, lo cual hace que su comercialización sea un desafío (Yan, et al., 2009).

La correcta madurez en la cosecha es el factor más importante que determinará la vida post-cosecha y la calidad final del fruto, ya que demoras entre la cosecha y la

transformación o consumo pueden resultar en pérdidas de sabor y calidad nutricional. Además, estas pérdidas se incrementan con la exposición a temperaturas, humedades relativas, y / o concentraciones de O₂, CO₂ y etileno fuera de los rangos que son los óptimos para cada fruto en el manejo post-cosecha. Debido a que los productos hortofrutícolas son tejidos vivos que están sujetos a cambios después de ser cosechados, una incompleta madurez puede ocasionar deterioro del fruto haciéndolas más susceptibles al marchitamiento y consecuentemente con menor calidad al madurar. En la madurez ocurren una serie de cambios fisicoquímicos que implican cambios en color originados por la degradación de pigmentos además de cambios en textura que dan lugar al reblandecimiento del tejido y a la producción de sabores y aromas que pueden afectar la palatabilidad del producto (Pedraza, 1999).

Siempre que la fresa madure en la planta alcanzará sus condiciones óptimas físicas y químicas para ser ingerida; por otro lado, un fruto sobre madurado puede llegar a tener un textura demasiado suave y ser insípido (Knee, 2002).

Para la fresa su tasa de respiración es alta (aproximadamente 15 mg/ kg / hora a 0°C y aumenta de 4 a 5 veces cuando la temperatura se eleva a 10°C. Se puede reducir la tasa al mantener las fresas a bajas concentraciones de O₂ y atmosferas altas de CO₂. Bajos niveles de O₂ en el ambiente pueden inducir procesos de fermentación en la frutas ocasionando la producción de malos olores, sabores y el deterioro del producto. Esto es común cuando la ventilación del ambiente en el cual se encuentran las frutas es deficiente (FAO, 2007).

1.1.2 Calidad de la fresa

En la etapa de pre-cosecha se determina la calidad del fruto en el momento de la recolección, dando lugar al comportamiento en la vida útil post-cosecha. Los factores pre-cosecha que influyen sobre la calidad son muy diversos y están

interrelacionados entre sí. Unos dependen intrínsecamente de la propia planta y otros son de tipos genéticos, ambientales, agronómicos y fisiológicos.

La madurez es el conjunto de cambios externos e internos, como el sabor y la textura, que un fruto experimenta cuando completa su crecimiento. En esta fase de desarrollo del fruto cambia la coloración del pericarpio, disminuye el contenido de almidón, aumenta la concentración de azúcares, se reduce el contenido de ácidos, hay pérdida de firmeza y otros cambios físicos y químicos. Superada esta etapa, el fruto pierde firmeza, aumenta su sensibilidad a las condiciones del medio, pierde el control metabólico e inicia su senescencia (Del Pilar, et al., 2007).

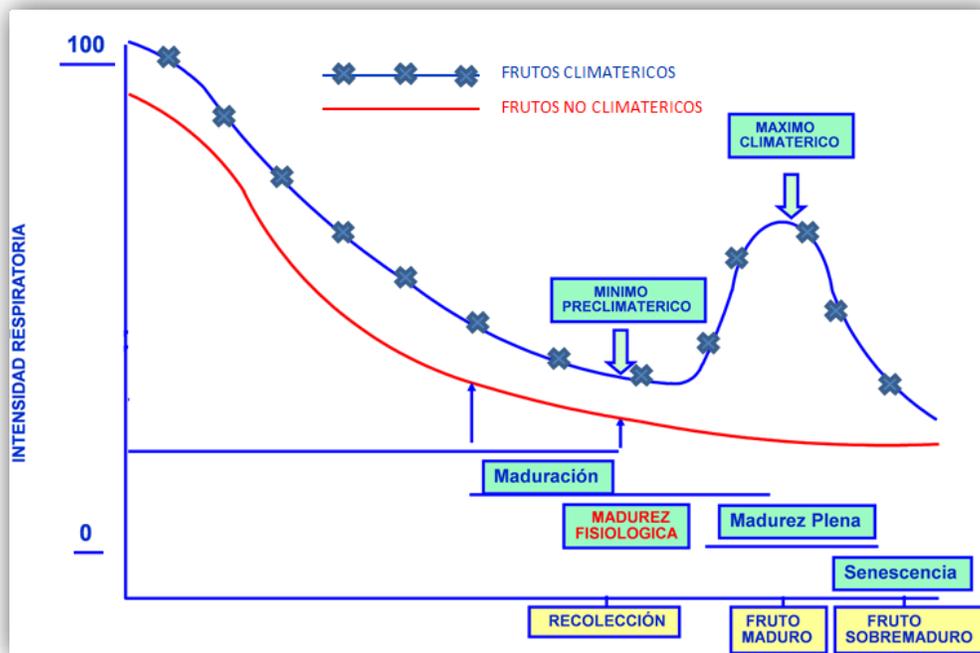
Existen tres conceptos de madurez que se manejan frecuentemente: madurez de cosecha, madurez de consumo y madurez fisiológica.

- (a) *Madurez fisiológica*: cuando la fruta se encuentra fisiológicamente en su máximo estado de crecimiento y desarrollo, y todas sus partes – especialmente la semilla, están formadas, maduras y aptas para su reproducción.
- (b) *Madurez de cosecha o comercial*: aquella etapa fisiológica en el desarrollo de la fruta en la cual se desprende del árbol y puede llegar a desarrollar su madurez de consumo, fuera de la planta.
- (c) *Madurez de consumo*: es aquel momento del desarrollo fisiológico del fruto cuando todas las características sensoriales propias de éste, como el sabor, el color, el aroma, la textura y la consistencia, óptimas para el consumo. La madurez de un fruto perecedero tiene una marcada influencia sobre la calidad y vida útil en almacenamiento que afecta el manejo post-cosecha, el transporte y el mercadeo.

Para el reconocimiento del momento óptimo de recolección se han establecido una serie de factores indicativos denominados índices de cosecha, los cuales deben ser capaces de poner de manifiesto diferencias pequeñas. Así mismo, deben ser sensibles, prácticos, rápidos y, de ser posible cuantificables de manera

que puedan expresar el grado de madurez mediante cifras que permitan establecer comparaciones con medidas que hagan otros observadores, los parámetros (tamaño, color, firmeza, etc.) deben correlacionar bien con los cambios en los diferentes estados de desarrollo del fruto así hacer ensayos de almacenamiento y análisis sensoriales para determinar el valor de la madurez mínima aceptable (Del Pilar, et al., 2007). Los índices de calidad post-cosecha para la fresa son apariencia (color, tamaño, forma, ausencia de defectos), firmeza, sabor, contenido de sólidos solubles y acidez titulable (Flores, 2009).

El índice de madurez para la recolección de fresas se basa en el color del fruto, una fresa con color rosado en tres cuartas partes de la superficie sobre un fondo blanco tiene como destino al mercado para consumo fresco en mercados distantes, una fresa de color rosado que cubre toda la superficie del fruto tiene como destino los mercados cercanos y la fresas con colores rojo a rojo oscuro es un fruto para consumo inmediato o para ser procesado industrialmente (AGROLIBERTAD, 2010).



(FAO, 2007)

Figura 4. Respiración de frutos climatéricos y no climatéricos

La respiración y producción de etileno, junto a los cambios de composición, la transpiración y pérdida de agua son los principales factores biológicos responsables de la pérdida de calidad post-cosecha de frutas y hortalizas. Según la tasa de respiración y producción de etileno las frutas se pueden clasificar en climatéricas y no climatéricas (Figura 4) los frutos no climatéricos; son aquellos que después de su cosecha disminuyen su velocidad de respiración madurando completamente en la planta, por lo que se recolectan maduros (Del Pilar, et al., 2007).

Fisiológicamente la fresa se caracteriza como un fruto no climatérico, con ausencia o muy limitada producción de etileno post-cosecha, pero con un importante número de compuestos volátiles identificados, que junto a su condición de altamente perecedera, le hace evolucionar rápidamente con importantes pérdidas post-cosecha por la contaminación microbiana, razón por la que la cadena del frío, incluyendo la pre refrigeración, es de vital importancia (De la Plaza, 2008).

Cuadro 2. Condiciones óptimas de conservación de la fresa.

Temperatura	Humedad relativa	Tasa de producción de etileno	Tasa de respiración		
			0°C	10°C	20°C
0 ± 0.5 °C	90 a 95%	< 0.1 $\mu\text{L kg}^{-1}/\text{h/1 at } 20^\circ\text{C}$	12-20 mgCO_2/kgh	50-100 mgCO_2/kgh	100-200 mgCO_2/kgh

1.1.3 Metabolismo de frutos post-cosecha

Los frutos al ser recolectados quedan separados de su fuente natural de nutrientes, pero sus tejidos continúan respirando, siguen activos azúcares y otros

componentes sufren importantes modificaciones. Generalmente la velocidad de deterioro es proporcional a la velocidad a la que ocurre su respiración. Siendo los productos más perecederos aquellos que tienen una velocidad de respiración más rápida (Pérez-Gago, et al., 2010).

El proceso de respiración consiste en la degradación oxidativa de moléculas complejas como ácidos orgánicos, carbohidratos y almidón a moléculas más simples como CO_2 y agua. La respiración es el proceso mediante el cual reservas orgánicas (carbohidratos, proteínas, grasas) son degradados a productos finales simples con una liberación de energía. El oxígeno (O_2) es usado y el bióxido de carbono (CO_2) es producido en este proceso. La producción de moléculas intermediarias y energía puede ser utilizada para llevar a cabo reacciones metabólicas posteriores en el mantenimiento de células vivas presentes o simplemente perderse como calor (Kader, 2002).

La pérdida o degradación de las reservas de material orgánico en el producto durante la respiración significa; 1) una aceleración de la senescencia conforme las reservas que mantienen vivo al producto se agotan, 2) una reducción en el valor nutritivo (valor energético) para el consumidor, 3) pérdida del peso seco vendible (especialmente importante para productos destinados a la deshidratación), (Kader, 1992) y 4) pérdida en la calidad de sabor, especialmente la dulzura. La energía liberada como calor, conocida como calor vital, afecta las consideraciones en el uso de tecnología post-cosecha, así como las estimaciones de los requerimientos de enfriamiento y ventilación (Embuscado & Huber, 2009). Dado que en la respiración intervienen compuestos que determinan la velocidad del metabolismo es un parámetro muy útil para verificar el estado metabólico y fisiológico del fruto, los cuales a su vez están estrechamente relacionados con parámetros de calidad como firmeza, contenido de azúcar, aroma, sabor, etc. (Gross, et al., 2004).

La tasa de deterioro (percecibilidad) de productos cosechados es generalmente proporcional a la velocidad de respiración, la fresa al ser un fruto altamente

perecedero entra dentro del rango de velocidad de respiración alta (5°C – 20 mg CO_2 / kg-h).

1.1.4 Producción de etileno

El etileno (C_2H_4), es el compuesto orgánico más simple que afecta a los procesos fisiológicos de la planta y su crecimiento, pero en una perspectiva post cosecha es una hormona que se produce cuando la fruta o verdura se somete a estrés siendo el principal regulador de la maduración y senescencia, tiene tanto efectos benéficos como; ser parcialmente el responsable del color rojo en frutos, contribuye a la capacidad total antioxidante contenida en el fruto, al crecimiento y maduración (Knee, 2002).

No existe una relación consistente entre la capacidad de producción de etileno de un producto y la pérdida de calidad o grado de disminución de vida útil; sin embargo, la exposición de la mayoría de los productos al etileno acelera su senescencia, provoca ablandamiento, cambios en antocianinas y compuestos fenólicos responsables del oscurecimiento. El uso de atmósferas controladas regula la producción de etileno, alargando la vida útil del fruto (Kader, 2002). Generalmente, la tasa de producción de etileno aumenta a medida que el producto se acerca a su madurez, por daños físicos, incidencia de enfermedades, aumento en la temperatura hasta los 30°C , y estrés o falta de agua. Por otro lado, las tasas de producción de etileno de productos frescos se reducen al almacenar a baja temperatura, al reducir los niveles de oxígeno (por abajo del 8%), y al aumentar los niveles de CO_2 (por arriba del 2%). Si durante el almacenamiento existe una reducción en la concentración de oxígeno, la respiración disminuye provocando la senescencia, sin embargo, cuando la concentración de oxígeno cae por debajo de la respiración existe producción de etanol el cual provoca la formación de mal sabor finalmente ocasionando la pérdida del producto (Embuscado & Huber, 2009). La fresa está dentro de los niveles bajos de acuerdo a su tasa de producción de etileno, a 20°C su producción es menor a $0.1 \mu\text{l C}_2\text{H}_4 / \text{kg-h}$; es decir casi imperceptible y cuantificable. (Kader, 1992).

1.1.5 Conservación en frío de fresa

Las fresas son altamente perecederas debido a su suave textura, rápida velocidad de ablandamiento y alta sensibilidad al ataque fúngico. Con el fin de evitar pérdidas durante el manejo y almacenamiento, además de mantener la calidad de la fresa se utiliza el almacenamiento a bajas temperaturas con altas concentraciones de CO₂ y atmósferas controladas o la mezcla de ambos procesos (Cordenusi, et al., 2005).

El almacenamiento a bajas temperaturas en atmósferas modificadas con altos niveles de CO₂ son herramientas comunes para evitar, al menos en parte, el crecimiento del moho y la senescencia, extendiendo la vida útil. Sin embargo, la exposición prolongada a altas concentraciones de CO₂ puede causar el desarrollo de mal sabor en fresa (Hernández-Muñoz, et al., 2008). Se sabe que la síntesis de antocianinas continúa después de la cosecha y almacenamiento a baja temperatura pero se inhibe en las frutas almacenadas a altas concentraciones de CO₂ además de afectar el contenido de ácido ascórbico de manera adversa resultando negativamente en el color de la fruta y en el valor nutricional (Cordenusi, et al., 2005).

La razón principal por la que la vida de la fruta se prolonga mediante el enfriamiento es que el metabolismo se retarda a consecuencia de las bajas temperaturas. Una vez que la fresa se ha cosechado la fruta pierde agua constantemente hacia el medio ambiente, como esta agua no puede ser remplazada por el árbol se produce la pérdida de peso. La temperatura también afecta al índice de crecimiento, expansión de patógenos y a la putrefacción del mismo modo que afecta al fruto (Knee, 2002). Se ha demostrado que el uso de atmosferas modificadas muestra una efectiva inhibición al crecimiento de microorganismos y reduce la incidencia de pudrición en fresas (Yan, et al., 2009).

1.1.6 Daños por frío

Si bien algunas frutas de clima templado son menos sensibles a bajas temperaturas, el daño por frío se puede presentar a temperaturas cercanas al punto de congelamiento del producto. Los síntomas más comunes son fallas en la maduración, desarrollo de sabores y aromas atípicos, decoloración, ennegrecimiento y deterioro de los tejidos, e incremento de la susceptibilidad del producto al ataque de patógenos secundarios (FAO, 2007).

Aunque la congelación es un proceso eficiente para la conservación, debido a la transformación del agua líquida en hielo, lo que reduce la actividad microbiana y enzimática; las frutas pueden sufrir un deterioro no solo durante la congelación si no también durante el almacenamiento bajo congelación y durante la descongelación ya que su textura se ve afectada ocasionando un colapso estructural y pérdida de peso, progresivamente existirá un lento cambio en la calidad sensorial y nutricional (Galletto, et al., 2010). La temperatura óptima de la fresa en refrigeración es de 0 ± 0.5 °C, por debajo de la temperatura óptima por largos periodos pueden ocurrir los daños antes mencionados. Sin embargo las fresas congeladas tienen múltiples aplicaciones en la industria ya sea entera en rebanadas o como pure, destinadas a bases de helados, mermeladas etc. Debido a la fragilidad de las fresas el tiempo para alcanzar la congelación debe ser corto y rápido ya que un rápido congelamiento reduce la formación de grandes cristales, los cuales podrían provocar pérdidas por goteo al descongelarse. Un mal proceso en la congelación resulta en fresas con quemaduras dando lugar a un mal sabor y decoloración.

1.1.7 Índices de calidad

La calidad de frutas frescas es una combinación de características, atributos y propiedades que le dan al fruto su valor como alimento. La importancia relativa de cada componente de la calidad depende del producto y cómo se utiliza; el

concepto varía entre los productores, manipuladores y los consumidores. El tamaño, color, forma apropiada son otros de los criterios de calidad más importantes. Un color y olor característico es deseable pues indica madurez y refleja calidad de consumo. La textura y el sabor son también factores de calidad de los productos hortofrutícolas. La firmeza está relacionada con la resistencia al estrés mecánico durante el transporte (Flores, 2009).

La relación entre azúcares y ácidos es clara y se observa una evolución inversa en sus respectivas concentraciones; mientras los azúcares aumentan con la madurez, los ácidos disminuyen.

Contenido de sólidos solubles: Los azúcares son uno de los principales componentes solubles en los frutos blandos los cuales proveen energía para la mayor parte de las reacciones metabólicas. Dentro del total de sólidos solubles existen otros compuestos además de los azúcares; tales como ácidos orgánicos, sin embargo los azúcares constituyen el 85% del total de sólidos solubles. Es por eso que frecuentemente se considera a los °Brix como equivalentes de los sólidos solubles. A lo largo de la maduración los azúcares va aumentando hasta el momento de la recolección para después ir sufriendo varias oscilaciones durante el periodo de conservación. En la fruta madura, los azúcares constituyen alrededor del 80-90% de los sólidos solubles; la glucosa y la fructosa están presentes en concentraciones similares y representan un 83% del contenido total de azúcares. La sacarosa (disacárido formado por fructosa y glucosa) es el azúcar que más incide en las propiedades organolépticas, solo aumenta hasta el momento de la recolección. Una vez que el fruto es separado del árbol aumenta ligeramente para luego ir disminuyendo; la glucosa también disminuye y la fructosa aumenta. Finalmente ocurre un cambio en la solubilidad de la pectina, pasa de ser insoluble en agua a ser soluble.

Acidez: los ácidos orgánicos junto con los azúcares presentes contribuyen al sabor. La fruta contiene diferentes ácidos orgánicos usualmente disueltos en la vacuola de la célula ya sea en forma libre o combinada como sales, ésteres,

glucósidos etc. siendo el más abundante en el caso de la fresa el ácido cítrico. Los ácidos se degradan rápidamente después de la recolección si la fruta se mantiene a temperatura ambiente. Este descenso de la acidez puede frenarse mediante frío o con atmosferas controladas. La pérdida en el contenido de vitaminas, especialmente el ácido ascórbico (vitamina C) así como la producción de sustancias volátiles aromáticas asociadas con la maduración de los frutos es muy importante en su calidad comestible (Kader, 1992).

Color: El color de las fresas es equivalente al contenido de antocianinas en la epidermis y en la corteza, la colorimetría es el único de los métodos fisicoquímicos que no requiere la destrucción de la muestra. Para realizar la medición se utiliza un aparato calibrado denominado colorímetro. En el caso de variedades rojas se realizan mediciones de color tanto en las zonas más coloreadas como en las menos coloreadas. La función del colorímetro es describir la epidermis de la pieza de fruta objeto de la medición (Flores, 2009).

Muchos cambios en los pigmentos se llevan a cabo durante el desarrollo y la maduración de la fruta en la planta. Algunos de estos continúan después de cosecha y pueden ser deseables o indeseables.

En el caso de los frutos no climatéricos, solo se logrará la coloración adecuada durante el periodo de pre cosecha, ya que si se recolectan en un estado inmaduro la evolución de los pigmentos no tiene lugar y afectará a la intensidad y calidad del color de la piel y pulpa (Flores, 2009).

Los cambios incluyen:

- a) Cambios de color durante la maduración caracterizados por la desaparición de las clorofilas y la síntesis de pigmentos coloreados, fundamentalmente carotenoides y antocianinas.
- b) Desarrollo de antocianinas (rojo y azul), deseables en frutos tales como manzanas (cultivares rojos), cerezas, fresas, bayas, naranjas de pulpa roja;

estos pigmentos son solubles en agua y son menos estables que los carotenoides.

Firmeza: la textura de las frutas cambia debido a la hidrólisis de los almidones y de las pectinas, por la reducción de su contenido de fibra y por los procesos de degradación de las paredes celulares. Las frutas se tornan blandas y más susceptibles de ser dañadas durante el manejo post-cosecha debido al manejo o mal manejo que se les da (FAO, 2007). La pérdida de agua de los frutos ocurre principalmente, vía permeabilidad, así como también a través de las estomas y las lenticelas localizadas en la cutícula de los frutos. Esta pérdida es uno de los factores que determinan la calidad y la vida útil de los productos perecederos. El estrés de agua provocado por una transpiración excesiva al almacenar los frutos en condiciones deficientes de humedad, provoca frutos marchitos y flácidos, acelera los procesos de maduración y acorta la vida útil (Muy Rangel, et al., 2004).

La pérdida de agua es una de las causas principales de deterioro, da como resultado no solamente pérdida cuantitativa directa, si no también pérdidas en la apariencia (marchitamiento y deshidratación) y la calidad en la textura (ablandamiento, flacidez, pérdida de una textura crujiente y jugosidad), así como su valor nutricional. La tasa de transpiración es influenciada por factores internos (características morfológicas y anatómicas, la relación entre la superficie y el volumen, daños en la superficie, y el estado de madurez), y externos o ambientales (temperatura, humedad relativa, movimiento de aire, y la presión atmosférica). La transpiración (evaporación de agua de los tejidos vegetales) es un proceso físico, que puede ser controlado por la aplicación de tratamientos al producto (ceras y otras cubiertas superficiales o envolturas de plásticos), o por control del medio ambiente (por ejemplo, mantener una humedad relativa alta y controlar la circulación del aire) (Kader, 1992).

1.2 Recubrimientos comestibles

El envasado de alimentos ocupa alrededor del 70% de la industria de envasado en USA y más de la mitad a nivel mundial. El desperdicio de envases no es rápidamente reciclado, debido a los grandes costos y a las dificultades de separar los polímeros utilizados en su elaboración. Se ha recurrido al uso de recubrimientos comestibles, no como sustituto del plásticos, sino más bien para mejorar su eficiencia y por lo tanto reducir la cantidad de polímeros sintéticos requeridos para cada aplicación (Azeredo, et al., 2009). Se ha reportado que durante el manejo post-cosecha de los productos vegetales se pueden estimar pérdidas de hasta 40% del total cosechado, éstas varían entre otros productos, áreas de producción y época del año (Ramos-García, et al., 2010).

Al ser tejidos vivos las frutas y verduras después de la cosecha son susceptibles a cambios fisiológicos y posteriormente bioquímicos; la respiración, transpiración y producción de etileno son los principales factores que contribuyen al deterioro de frutas y verduras, así como variedad y estado de madurez que determinarán la vida útil (Embuscado & Huber, 2009). Durante los procesos y el tiempo implicado durante la manipulación, almacenamiento y transporte de productos, éstos comienzan a deshidratarse, deteriorarse, a perder su sabor y valor nutricional. Sin la protección especial, el daño puede ocurrir dentro de horas o días, obteniendo productos de calidad inferior o simplemente convirtiéndose en grandes pérdidas (Guilbert & Biquet, 1996).

A pesar de las ventajas del uso de atmósferas modificadas y controladas como técnicas de almacenamiento para frutas y verduras, existen inconvenientes ya que la técnica de atmósferas controladas requiere de grandes instalaciones y es costosa; por otra parte el uso de plástico que crea una atmosfera modificada, genera un gran volumen de residuos.

Las pérdidas por deshidratación son también muy importantes, por este motivo aunque los productos se almacenan a la temperatura adecuada, si no se controla

la humedad que les rodea habrá una migración de vapor de agua desde el fruto hacia el exterior. Hoy en día se han desarrollado nuevas técnicas de almacenamiento que hacen posible prolongar la vida útil de frutas y verduras, una de estas técnicas son los recubrimientos comestibles (Pérez-Gago, et al., 2010).

Los recubrimientos comestibles son alternativa potencial viable para la conservación de frutas y verduras es el uso de recubrimientos comestibles multicomponentes los cuales pueden elaborarse con ingredientes básicos adecuados al producto para brindarle la protección de barrera deseada y servir como vehículos para incorporar aditivos específicos que refuerzan su funcionalidad tales como antioxidantes colorantes y antimicrobianos (Ramos-García, et al., 2010).

Los recubrimientos comestibles se definen como una capa de material comestible que proporciona una barrera para la humedad, mientras que de manera selectiva permita intercambiar gases de efecto importante como de oxígeno, dióxido de carbono y etileno, que están implicados en el proceso de respiración, en tejidos vivos como frutas y verduras. El propósito del uso de recubrimientos comestibles para frutas y verduras es retardar los cambios fisiológicos y proveer una atmosfera modificada, así disminuir la velocidad de respiración retardando senescencia durante el almacenamiento (Embuscado & Huber, 2009). Además de extender la vida útil de los alimentos y evitar la pérdida de componentes importantes (Guilbert & Biquet, 1996).

1.2.1 Recubrimientos en frutas

La gran variedad de frutas y verduras ofrecen muchos desafíos para aplicaciones de recubrimientos comestibles como la adherencia en diferentes superficies de formas irregulares como la fresa. Las grandes paredes celulares y delgadas hacen de la fresa un fruto de gran susceptibilidad a las lesiones físicas (abrasiones, cortes, hematomas y deshidratación); como consecuencia existe un ablandamiento que implica el adelgazamiento de las paredes celulares (Kader A.

A., 1991). Es por eso que los recubrimientos comestibles se han utilizado en frutas y verduras durante siglos para evitar la pérdida de humedad creando una barrera protectora y una superficie brillante para fines estéticos (Embuscado & Huber, 2009).

La formulación de los recubrimientos comestibles dependerá de las propiedades funcionales requeridas por el alimento. Los principales ingredientes utilizados en su elaboración son proteínas (gluten de trigo, maíz, colágeno, queratina, proteína aislada de soya, caseína, proteína de maní y proteína de suero), polisacáridos (derivados de celulosa hidrolizada, almidón, alginatos, pectinas y carrageninas), y de lípidos (ceras, aceites hidrogenadas, triglicéridos, aceites y ácidos grasos), ya sea utilizarlos solos o en combinación (Quesada, et al., 2000).

La aplicación de la nanotecnología en recubrimientos a base de polímeros comestibles puede abrir nuevas posibilidades para mejorar no solo sus propiedades sino también el costo eficiencia (Azeredo, et al., 2009, Zambrano-Zaragoza, et al., 2011).

Los recubrimientos tienen la capacidad de controlar algunos procesos vitales del fruto como:

- *Pérdida de agua*; ya que disminuyen la velocidad de transmisión de vapor de agua formando una barrera en la superficie del fruto. Esta barrera disminuye la pérdida de agua con lo que la actividad metabólica que provoca la senescencia se ve disminuida. La capacidad de los recubrimientos comestibles como barrera al vapor de agua se ve afectada por diversas condiciones externas: a) temperatura y humedad relativa b) características del producto como variedad, madurez y actividad de agua c) características del recubrimiento como contenido de sólidos, viscosidad, estructura química, morfología del polímero, grado de entrecruzamiento, solventes utilizados en la fundición de la película y el plastificante utilizado. Como consecuencia de la barrera al vapor de agua, así como a la

reducción interna de oxígeno y el aumento de dióxido de carbono, la textura se conserva por más tiempo retrasando el ablandamiento.

- Los recubrimiento comestibles producen una atmósfera dentro del alimento reduciendo los niveles internos de oxígeno, y si la concentración de éste disminuye por debajo del 8% en productos hortofrutícolas habrá un decremento de la producción de etileno preservando la calidad del fruto.
- En cuanto al color y sabor atributos sensoriales de gran importancia para la aceptación por parte de los consumidores se ven mejorados ya que el recubrimiento actúa como una barrera a compuestos volátiles y por otra parte, puede portar sabores (Embuscado & Huber, 2009).

1.2.2 Propiedades de recubrimientos a base de lípidos

Los recubrimientos comestibles actúan tanto como envase como un aditivo, es por eso que deben reunir ciertas especificaciones como tener buenas características sensoriales (libre de sabor y color), buenas propiedades de barrera, estabilidad bioquímica, fisicoquímica y microbiológica, no ser tóxicas, de tecnología simple y estar elaborado a base de materiales de bajo costo. Las proteínas y polisacáridos generalmente forman películas con buenas propiedades mecánicas pero son pobres como barrera a la humedad y han sido los más utilizados para recubrir frutas debido a sus propiedades mecánicas de adherencia y flexibilidad en la superficie de los productos hortofrutícolas (Embuscado & Huber, 2009).

La polaridad relativamente baja de los componentes lipídicos y su capacidad para formar una red molecular densa y ordenada tras un enfriamiento apropiado explica las buenas propiedades como barrera contra la humedad de los recubrimientos. Se observa el siguiente orden decreciente como barrera a la humedad: ceras>grasas sólidas> lecitina acetoglicéridos> aceites líquidos. Sin embargo, su falta de cohesividad e integridad estructural hace que sean deficientes en sus propiedades mecánicas formando recubrimientos quebradizos. La composición, temperatura de fusión y solidificación, la estructura cristalina (forma polifórmica) de

los lípidos, interacciones con el agua y oxígeno van a influir en las propiedades físicoquímicas, funcionales y organolépticas del recubrimiento. Las ceras son los compuestos más eficientes para reducir la permeabilidad al vapor de agua debido a su alta hidrofobicidad causada por su alto contenido de alcoholes grasos de cadena larga y alcanos. Debido a la naturaleza de estos componentes es difícil obtener, a partir de un único material un recubrimiento que posea al mismo tiempo buenas propiedades mecánicas y barrera. La combinación de distintos componentes permite aprovechar las ventajas de los mismos y obtener recubrimientos con buenas propiedades funcionales. La incorporación de plastificantes tiene como objeto mejorar la flexibilidad de los recubrimientos y hacerlos menos quebradizos, disminuyen las fuerzas de cohesión entre las cadenas, incrementando la movilidad de las mismas (Guilbert, 1996).

1.2.3 Cera de abeja

Las ceras naturales se pueden obtener de minerales, animales y plantas. La cera de abeja está entre las ceras naturales más importantes debido a sus propiedades únicas y útiles aplicaciones en la medicina, cosméticos, alimentos e industria. Es producida por las glándulas de las abejas reinas, la cual es utilizada por las abejas obreras para construir su panal.

La cera de abeja es una mezcla compleja de hidrocarburos, ácidos carboxílicos, ésteres y alcoholes. Es de estructura cristalina, considerada una de las sustancias más eficientes como barrera al vapor de agua, debido a que su estructura es altamente no polar. Forma soluciones viscosas y es inocua. Por su carácter viscoelástico forma películas de mayor flexibilidad que otros lípidos. Sus excelentes propiedades de barrera se deben a la forma ortorrómbica de sus cristales, permitiendo una mejor compactación de los mismos formando asociaciones densas sin espacio para la difusión de las moléculas de vapor de agua y gases (Perez Gago, et al; 2010).

1.2.4 Goma xantana

La goma xantana es un heteropolisacárido de alto peso molecular, se produce por fermentación de un carbohidrato producido por la bacteria *Xanthomonas campestris*. Posteriormente se purifica y se recupera con alcohol, se seca y muele. Es completamente soluble en agua caliente o fría, se hidrata rápidamente una vez dispersa y facilita la retención de agua produciendo soluciones altamente viscosas a baja concentración. La estructura del polímero (Figura 5) está conformado por D-glucosa, que constituye la cadena principal, y moléculas de D-manosa y D-glucorónico. Sus ramificaciones y características aniónicas debido a los radicales ácido favorecen la separación de las cadenas y su hidratación, consiguiendo la solubilización total de la macromolécula (Sharma, et. al., 2006)

Su comportamiento reológico permite que la goma xantana contribuya a buenas cualidades sensoriales. Sus soluciones proporcionan viscosidades uniformes en rangos de temperatura desde la congelación a cerca del punto de ebullición, con una estabilidad térmica excelente.

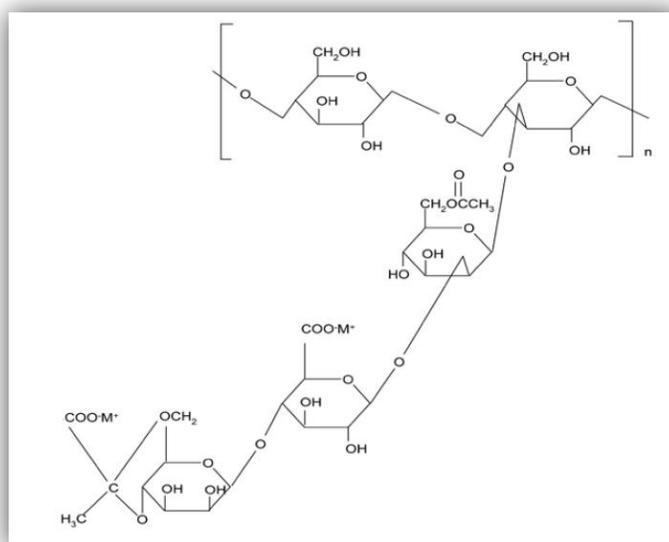


Figura 5. Estructura de la goma xantana

La excelente solubilidad y estabilidad de la goma xantana bajo condiciones ácidas o alcalinas, su estabilidad en presencia de sales y su resistencia a enzimas comunes la ha convertido en uno de los principales polímeros industriales y alimenticios.

1.3 Nanopartículas

La nanotecnología aparece como un nuevo campo rápido y emergente que implica la fabricación, procesos y aplicaciones de estructuras, dispositivos y sistemas controlando forma y tamaños en escala nanométrica. Se han realizado investigaciones sobre nanotecnología desde 1980. Hoy en día debido a la demanda por parte de los fabricantes, existen en el mercado cientos de productos que incorporan nanotecnología incluyendo alimentos y bebidas (Peters, et al., 2011).

La nanotecnología se define como la comprensión y el control de la materia en dimensiones de aproximadamente 1 a 1000 nanómetros, en donde los fenómenos únicos que ocurren permiten nuevas aplicaciones (Weiss, et al., 2006). La nanotecnología aporta cambios significativos a las propiedades funcionales debido al aumento del área superficial en relación con el volumen mejorando la biodisponibilidad de los ingredientes activos y de liberación controlada (Acosta, 2009).

La nanotecnología ha sido exitosamente utilizada en aplicaciones como purificación del agua, liberación lenta de nutrientes, micro encapsulación, rotura de pared celular, deodorización en desinfectantes, antibióticos, antifúngicos y en el aumento de vida útil. En sistemas de liberación como micelas, liposomas, nanopartículas biopoliméricas y nanoemulsiones. Debido al aumento del área superficial en las partículas a escala nanométrica en comparación a partículas de mayor tamaño son más activas biológicamente, mejorando las propiedades funcionales (Chau, et al., 2007).

Dentro del sector alimenticio la nanotecnología se aplica en el envasado y en productos que contienen ingredientes o en escala nanométrico o en nanocápsulas. Los cuales aportan una mayor funcionalidad aportando un mejor sabor, textura y consistencia, haciéndolos más saludables y nutritivos (Sekhon, 2010). Diversos ingredientes funcionales como fármacos, vitaminas, antimicrobianos, antioxidantes, saborizantes, colorantes y conservadores son componentes esenciales de una amplia gama de productos que raramente son utilizados en su forma pura directamente, sino que son incorporados a un sistema de liberación controlada como nanocápsulas o nanopartículas que se liberan como respuesta a diversos factores ambientales mediante la alteración de las condiciones de uso. En el envasado se han desarrollado nuevos materiales con mejores propiedades mecánicas de barrera y con propiedades antimicrobianas (Weiss, et al., 2006).

Se ha demostrado, que en recubrimientos a base de nanopartículas en polímeros existe un reforzamiento en las cadenas estructurales dando como resultado mejoras en las propiedades mecánicas, así como en la disminución de la permeabilidad de gas y líquido.

La aplicación de la nanotecnología sobre polímeros comestibles puede abrir nuevas posibilidades para mejorar no solo las propiedades de recubrimientos sino también el costo eficiencia de los mismos (De Moura, et al., 2009; Zambrano-Zaragoza et al., 2011).

La nanotecnología también se aplica en la fabricación de envases inteligentes con nanosensores y activadores antimicrobianos los cuales tienen la capacidad de detectar y monitorear la calidad o deterioro de los alimentos además de liberar gradualmente antimicrobianos aumentando drásticamente la vida útil de los alimentos por consecuencia permitir su permanencia por más tiempo en los supermercados. Se han utilizado nanocompuestos en recubrimientos poliméricos los cuales al enlazarse con la matriz ofrecen una mayor resistencia mecánica o una barrera para el intercambio de gases y compuestos volátiles (Sekhon, 2010).

1.3.1 Nanopartículas Lipídicas Sólidas

Las Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS) se desarrollaron a principios de 1990 como una alternativa a sistemas de liberación como emulsiones, liposomas y nanopartículas poliméricas (Villafuerte, et al., 2008).

Se definen como partículas coloidales del orden de 10 y 1000 nm y consisten en un núcleo lipídico sólido formando una matriz rodeada por una capa de emulsificante el cual se encargará de estabilizar la partícula. Altas concentraciones de emulsificante podría reducir la tensión superficial y facilitar la reducción del tamaño de las partículas durante la homogeneización (Hassan, 2011). Las nanopartículas lipídicas sólidas ofrecen propiedades únicas propias de su tamaño como cambios en propiedades ópticas que pueden causar cambios en color (por ejemplo los coloides oro aparecen color rojo profundo), comportamiento térmico, resistencia del material, solubilidad, conductividad y actividad catalítica (Tiede, et al., 2008).

Las nanopartículas lipídicas sólidas se forman por lípidos fisiológicos biodegradables o sustancias lipídicas generalmente reconocidos como seguros (GRAS), ya que se encuentran en una situación reglamentaria aceptada y estabilizantes (Saupe, 2006). Presentan una mejor biodisponibilidad y protegen a las moléculas del ingrediente activo susceptibles de degradarse bajo influencia agentes externos como la luz agua, así como utilizarse para la liberación controlada de sustancias activas poco solubles en agua incorporados en la matriz lipídica sólida (Villafuerte, et al., 2008).

Las grasas utilizadas principalmente en la elaboración de NLS son triglicéridos (tristearina), ácidos grasos (ácido estereático), esteroides (colesterol) y ceras (palmitato de cetilo, cera de carnauba y cera de abeja), (Garzón, et al., 2009).

Al ser un ingrediente insoluble la cera de abeja (formada por esteres de cadena larga insolubles en agua) utilizada en la formulación de NLS, su actividad y

aplicación como recubrimiento comestible se ve mejorada. Mediante el uso de NLS para formar dispersiones, las moléculas insolubles pueden comportarse como verdaderas moléculas disueltas, dando apertura a un enorme potencial de innovación y competitividad en productos (Peters, et al., 2011).

La ventaja de las NLS sobre otros sistemas coloidales de liberación (Saupe, 2006) son:

- a) Su producción no requiere de solventes orgánicos, sino que tienen de base agua.
- b) Estabilidad física por largo tiempo.
- c) Mejor liberación controlada del ingrediente activo.
- d) Posibilidad de protección de los activos químicos lábiles dentro de la partícula.
- e) Fácil escalamiento para esterilización.
- f) Más costeable (menos costoso que nanopartículas a base de polímero).
- g) Facilidad de producción a gran escala.
- h) Factibilidad de incorporación de sustancias lipofílicas e hidrofílicas.
- i) Versatilidad en aplicaciones.
- j) Protección química de compuestos lábiles incorporados.

Debido a la reducción de tamaño las partículas las NLS ofrecen propiedades funcionales únicas y benéficas así como cambios en sus propiedades fisicoquímicas, ópticas que ocasionan cambios en color, comportamiento térmico, fuerza del material, solubilidad, conductividad y actividad foto catalítica a comparación de las partículas en su tamaño normal. Probablemente el cambio más significativo es en la relación área superficial-volumen; donde el volumen disminuye aumentando la proporción de átomos en la superficie por lo tanto las propiedades de superficie predominarán sobre las propiedades del material con partículas de mayor tamaño. El aumento de área superficial influirá directamente en propiedades de solución y velocidades de reacción (Ahmed & Shafiur Rahman, 2012).

1.3.2 Obtención de las Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS)

Las NLS se forman a partir de un lípido, un tensoactivo y como medio de dispersión agua. Existen diversos métodos para la preparación de NLS, entre los principales se encuentran:

1.3.2.1 Homogeneización a alta presión

Es la técnica más potente y utilizada en la producción de NLS, ya que no presenta problemas para escalamiento. Se basa en llevar al lípido con altas presiones (100-2000bar) a través de un orificio estrecho (en el rango de micras) y altas velocidades (sobre 1000 Km/h). Con lo que las partículas son divididas debido al esfuerzo cortante a las que son sometidas. La homogeneización disminuye el peso molecular donde compuestos de larga cadena molecular son más sensibles que los de bajo peso molecular o de forma esférica (Mäder & Menhert, 2005).

a) En caliente

Se lleva a cabo a temperaturas sobre el punto de fusión de lípido. Mediante un dispositivo el lípido es empujado a alta presión a través de un orificio estrecho lo que provoca que el fluido se acelere en una distancia muy corta a una velocidad muy alta obteniéndose una pre-emulsión, la calidad de esta afectará la calidad del producto final. A altas temperaturas el tamaño de partícula será menor debido a la disminución en la viscosidad de la fase interna del lípido, sin embargo puede ocurrir la degradación del mismo. La etapa de homogeneización puede repetirse es decir llevar a cabo varios ciclos pero la muestra cada vez aumentará su temperatura (aprox 10°C por 500 bar) y al aumentar la presión podría aumentar el tamaño de partícula provocar coalescencia como resultado de la alta energía cinética de las

partículas. Se espera la formación de las nanopartículas con el enfriamiento de la muestra (pre-emulsión) a temperatura ambiente o por debajo. Debido al tamaño pequeño de las partículas y la presencia de emulsionantes la cristalización de los lípidos puede ser muy retardada, permaneciendo por varios meses como una nanoemulsión (Ekambaram, et al., 2010).

b) En frío

Se lleva a cabo con el lípido sólido y para garantizar este estado es necesaria la regulación de la temperatura. Se utiliza para evitar problemas de la homogeneización en caliente como: partición y pérdida de lípido en la fase acuosa durante la homogeneización, transiciones polifórmicas de los lípidos debido a la complejidad en la etapa de cristalización de la nanoemulsión provocando modificaciones y/o súper enfriado y derretimiento. El primer paso es la homogeneización en caliente para formar una emulsión del ingrediente activo en el lípido, posteriormente se enfría rápidamente. La baja temperatura aumenta la fragilidad del lípido y por lo tanto favorece la disminución del tamaño de partículas al ser sometidas a una homogeneización a alta presión en o por debajo de la temperatura ambiente, el enfriamiento rápido otorga mayor estabilidad al lípido (Mäder & Menhert, 2005).

1.3.2.2 Método de emulsificación

El material lipofílico es disuelto en un solvente acuoso orgánico inmiscible el cual es emulsificado en una fase acuosa resultando una emulsión aceite en agua. Se procede a la evaporación por reducción de presión del solvente con la que se forma una dispersión de nanopartículas por precipitación. El tamaño de partícula dependerá de la concentración del lípido en fase orgánica. Una ventaja de este método es que se evita el estrés térmico, pero como desventajas están el uso de solventes orgánicos e inestabilidad física durante el almacenamiento (Ekambaram, et al., 2010).

1.3.2.3 Método de Inyección de Solvente

Las nanopartículas se producen a partir de la disolución de solventes polares distribuidos rápidamente en una fase acuosa (acetona, etanol, isopropanol, metanol). Obteniéndose una baja concentración de nanopartículas y un posible aumento del tamaño de partículas provocado por la solubilidad de los lípidos en fase acuosa por altas cantidades de solvente orgánico (Mäder & Menhert, 2005).

1.3.2.4 Microemulsión

Este método se basa en la dilución de las microemulsiones, ya que son sistemas de dos fases compuestas de una fase interna y externa. Resultado de una mezcla por agitación ópticamente transparente a 65-70°C compuesta de un ácido graso con bajo punto de fusión, un emulsionante, co-emulsionantes y agua. La microemulsión caliente se dispersa en agua fría (2-3°C) bajo agitación. Altas temperaturas facilitan la cristalización del lípido y evitan la agregación. Debido a la etapa de disolución, la concentración de nanopartículas obtenidas son considerablemente bajas como consecuencia del bajo contenido de lípido en comparación con las formulaciones alcanzadas por homogeneización a alta presión (Mäder & Menhert, 2005).

1.3.3 Influencia de los ingredientes sobre las NLS

En la elección del lípido se debe tener en cuenta su tamaño y polaridad para asegurar una correcta interacción con los demás ingredientes. Además de su composición la cual afectará su cristalización y capacidad de interacción con otras moléculas principalmente con el agua. Para evitar la fusión del lípido durante la homogeneización en caliente debe existir una diferencia significativamente grande entre su punto de fusión y la temperatura de homogeneización. Las propiedades y

concentraciones del surfactante tienen gran influencia sobre la calidad, estabilidad e eficacia de las NLS (Figura 6).

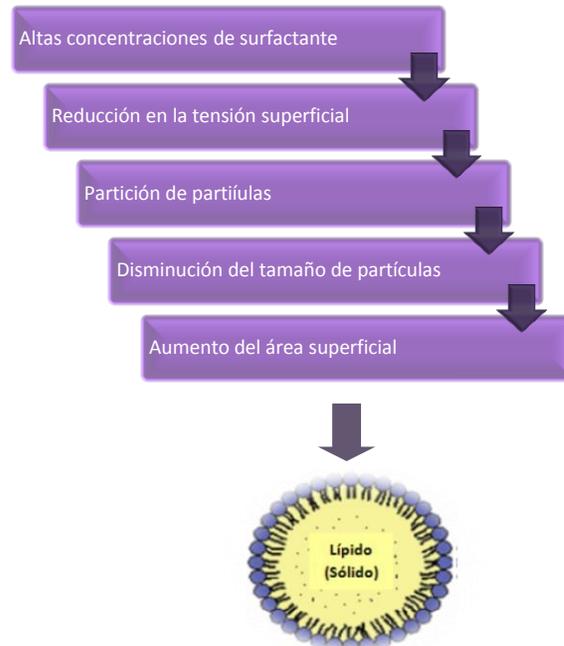


Figura 6. Efecto del surfactante sobre el tamaño de partícula (Ranjan Sinha, et al., 2010)

Los surfactantes poseen actividad superficial debido a su naturaleza anfifílica, reducen la tensión superficial y facilitan la fragmentación del lípido durante la homogeneización (Figura 6). La concentración óptima de emulsificante depende del tipo de lípido que constituye la matriz de las NLS, por encima de la cual se alcanza la saturación superficial y no se disminuye el tamaño de partícula.

1.3.4 Caracterización de NLS

Para un buen control durante el proceso y su posterior manipulación es necesaria una adecuada caracterización de las NLS. Los parámetros más importantes a considerar y evaluar son: tamaño de partícula, distribución de tamaño (potencial zeta), grado de cristalización, modificación del lípido (polimorfismo), coexistencia

de una estructura lípidica adicional y morfología de la superficie (Mukherjee, et al., 2009).

1.3.4.1 Tamaño de partícula

El tamaño de partícula es uno de los aspectos más importantes tanto para confirmar el tamaño deseado durante la preparación y si se mantendrá durante el almacenamiento o su posterior procesamiento como secado por congelación o esterilización (Bunjjes, 2005).

El tamaño de partícula se ve afectado por diversos factores como el tipo de emulsificante, propiedades del lípido, método de producción y diversas condiciones tales como tiempo, temperatura, número de ciclos de presión, el equipo y esterilización. A mayor temperatura menor tamaño de partícula. Por homogeneización en caliente se obtienen partículas pequeñas generalmente por debajo de 500 nm. La alteración en el tamaño de partícula afectará significativamente la estabilidad física de las NLS, por lo tanto debe ser controlado. Partículas más pequeñas tienen un mayor riesgo de agregación durante el almacenamiento y transporte (Ekambaram, et al., 2010).

Entre los métodos más utilizados para evaluar el tamaño de partícula están: espectroscopia de correlación fotónica (ECP) o dispersión dinámica de luz y dispersión de luz láser (DL) o también llamada difracción laser. La espectroscopia de correlación fotónica analiza el movimiento browniano de las partículas en el medio de dispersión en donde las partículas contenidas en un pequeño volumen de muestra en un ángulo fijo se mueven al azar y se irradian con un rayo láser registrándose la intensidad de luz dispersada con respecto al tiempo, como resultado del movimiento ocurren interrupciones en la dispersión de la luz. Partículas pequeñas permiten fluctuaciones en la intensidad de la luz con mayor frecuencia como resultado de su alto coeficiente de difusión; es decir, su rápido movimiento, mientras que las partículas más grandes se mueven más lentamente

por lo tanto fluctuaciones más lentas. La curva resultante de las variaciones en la intensidad de la luz son analizadas con una función de autocorrelación derivándose el diámetro z medio o diámetro efectivo y el índice de polidispersión (IP) los cuales indican el ancho de la distribución de los tamaños de partícula, el IP es un parámetro para la amplitud de la dispersión en la distribución del tamaño de las partículas; para un sistema monodisperso su valor sería de 0.

La espectroscopia de correlación fotónica llega a medir partículas hasta los 3 μm . Se han reportado valores de índice de polidispersión de ($> 0,3$ a $0,4$) para dispersiones de nanopartículas lipídicas sólidas (Bunjés, 2005).

La difracción laser (DL) se utiliza para partículas de mayor tamaño o en dispersiones que contengan partículas en un rango nanométrico hasta micrométrico. que mediante la difracción del ángulo del radio de las partículas donde las partículas más pequeñas provocan mayor intensidad de las dispersiones con grandes ángulos que las partículas más grandes y puede medir tamaños de partícula desde nanómetros hasta milímetros. Aunque estos dos métodos no miden directamente el tamaño de las partículas sino que detectan los efectos de dispersión de luz los cuales son utilizados para medir el tamaño de las partículas (Villafuerte, et al., 2008).

1.3.4.2 Potencial zeta

Entre los mayores problemas de estabilidad durante el almacenamiento de las NLS se encuentran fenómenos de gelificación y aumento en el tamaño de las partículas. La transformación del lípido fundido a un lípido sólido cristalino disminuye su capacidad de carga y con esto, su estabilidad. La estabilidad de las dispersiones de las NLS disminuye conforme la estructura cristalina de los lípidos se estabiliza; en dispersiones lipídicas donde el principal o único componente es un lípido es muy importante la estabilidad fisicoquímica. Para medir la estabilidad

de las dispersiones comúnmente se utiliza el potencial zeta (Villafuerte, et al., 2008).

El potencial zeta se determina midiendo la velocidad de desplazamiento de la partícula en un campo eléctrico de fuerza conocida, mientras las partículas tengan un potencial zeta alto ya sea negativo o positivo se repelerán entre si lo que conducirá a una mayor estabilidad que en una carga neutra. En general, las partículas con valores de potencial zeta elevados (Figura 7) no presentan tendencia a la aglomeración, debido a las fuerzas de repulsión eléctrica. (Villafuerte, et al., 2008).

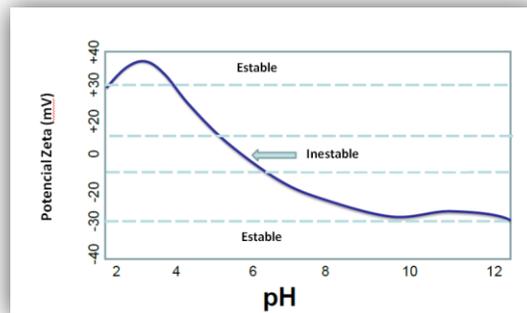


Figura 7. Potencial zeta

Como resultado de la presencia de grupos ionizados en el medio de dispersión las partículas coloidales presentan alguna carga, estas cargas superficiales, fuerza y extensión del campo eléctrico alrededor de las partículas juegan un papel importante en la repulsión mutua de las nanopartículas y por lo tanto su estabilidad contra la agregación. Ya que el potencial superficial de las partículas no se puede medir directamente, el potencial zeta es un parámetro característico para la carga de las nanopartículas que puede verse afectado por su composición y medio de dispersión (Bunjés, 2005).

II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 Problema

La gran susceptibilidad de las fresas al daño mecánico, a la pérdida de humedad, al decaimiento y a desordenes fisiológicos durante el almacenamiento las hace frutos especialmente perecederos. Es por esto que el uso de recubrimientos comestibles ha sido una alternativa para preservar la calidad de las fresas que además de mejorar la apariencia, actúan como barreras modificando la atmosfera interna. En este sentido con la incorporación de Nanoparticulas Lipidicas Solidas, se pretende mejorar las propiedades de transporte de gases y vapor de agua que permitan incrementar la vida útil.

2.2 Objetivo general

Determinar el efecto de la aplicación de un recubrimiento de NLS, en comparación con un recubrimiento sin NLS, sobre los cambios en parámetros fisicoquímicos, físicos y visuales, sobre la fresa (*Fragaria x ananassa*) almacenada en refrigeración para garantizar el incremento de su vida útil.

2.3 Objetivos particulares

Objetivo particular 1

Evaluar la estabilidad de las nanoparticulas lipídicas sólidas y los sistemas con nanopartículas a las concentraciones elegidas mediante la medición del tamaño de partícula, potencial zeta e índice de polidispersión.

Objetivo particular 2

Evaluar el efecto de la aplicación de recubrimientos con nanopartículas lipídicas sólidas a tres concentraciones sobre los parámetros fisicoquímicos determinando los cambios de pH, acidez, sólidos solubles en fresa (*Fragaria x ananassa*) almacenada en refrigeración, así como la funcionalidad; es decir la capacidad de formar una protección de barrera, de los recubrimientos.

Objetivo particular 3

Evaluar el efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles con nanopartículas lipídicas sólidas a tres concentraciones sobre los parámetros fisiológicos en fresa (*Fragaria x ananassa*) almacenada en refrigeración monitoreando los cambios en respiración, color y textura.

Objetivo particular 4

Evaluar el efecto del recubrimiento comestible con nanopartículas lipídicas sólidas a tres concentraciones en los parámetros visuales así como en el índice de decaimiento en las fresas (*Fragaria x ananassa*) registrando el porcentaje de fresas que visiblemente presenten hongo o algún daño físico durante el almacenamiento en refrigeración.

2.4 Selección de variables

En el Cuadro 3, se muestran los factores y niveles de variación, así como las técnicas e instrumentos utilizados, en la determinación del efecto de los recubrimientos con base en nanopartículas lipídicas sólidas aplicados en fresas.

Cuadro 3. Identificación y definición de variables.

Factor de variación	Niveles de Variación		No. replicas	Variable dependiente	Variable de respuesta
Formulación del recubrimiento	Composición del recubrimiento	Tiempo de almacenamiento	3	Peso	% de pérdida de peso
	Goma xantana 10% NLS 20% NLS 30% NLS	0,3,6,9,12,15,18,2 0 días		Contenido de solidos solubles	°Brix
				pH	pH
				Acidez titulable	Acidez
				Textura	Fuerza a la ruptura
				Color	L,a,b

Factor de variación	Niveles de Variación	No. replicas	Variable dependiente	Variable de respuesta
% NLS	10%NLS 20%NLS 30%NLS	3	Tamaño de partícula	Estabilidad del sistema
			Potencial zeta	
			Índice de polidispersión	

2.5 Desarrollo experimental

Materiales

Para la elaboración de los recubrimientos se utilizó cera de abeja (p.f. 83°C), Surfactante no-ionico (Pluronic F-127® Sigma Aldrich), agua ultra pura Mili Q® y goma xantana grado alimenticio.

2.5.1 Materia prima

Se adquirió un lote de 30 kg de fresas en la Central de Abastos de la Cd. de México, se seleccionaron de acuerdo al estado de madurez, eligiendo aquellas que eran semejantes en forma, tamaño y color (Figura 8), eliminando las que presentaron algún daño mecánico o contaminación por hongo; las fresas seleccionadas se lavaron con jabón y se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio (75ppm), se dejaron escurrir por 5 minutos, para separarse aleatoriamente en cinco lotes a tratar de acuerdo a los tratamientos propuestos.

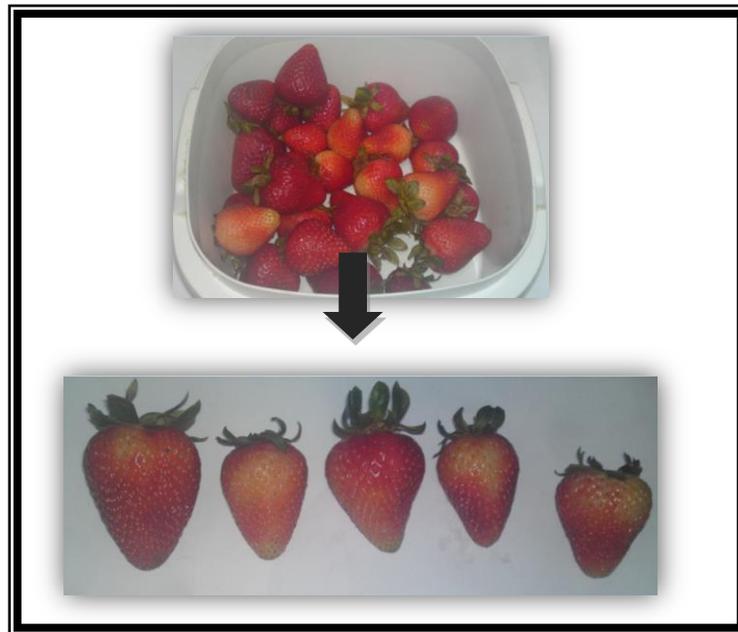


Figura 8. Selección de fresas por tamaño, eliminación de fresas con daño

2.5.2 Actividades del objetivo particular 1

2.5.2.1 Elaboración de las nanopartículas lipídicas sólidas

La preparación de las nanopartículas lipídicas sólidas, se llevó a cabo por el método de homogeneización a alta presión en caliente, en donde 10 % de cera de abeja se calentó hasta fusión, adicionándose a una solución de 5% de Pluronic manteniendo temperatura de 85 C. Esta emulsión fue llevada a homogeneización en un ultraturrax T50 (Figura 9) por 3 ciclos a 10000 rpm, cada 5 minutos.



Figura 9. Ultraturrax

2.5.2.2 Determinación del tamaño de partícula

Para el tamaño de partícula y el índice de polidispersión se diluyeron las NLS en agua ultra pura Mili-Q en cada celda, por triplicado. Mediante un Nano-Sizer® marca Coulter N4 Plus con la técnica de difracción laser en un ángulo de 90°C, a una temperatura de 25°C.

2.5.2.3 Potencial zeta

Para la determinación de potencial zeta se utilizó un Z-sizer 4 (Zetasizer Nano Series, Malvern Ltd France), disolviendo las dispersión en agua Milli-Q®. Realizándose mediciones por triplicado.

2.5.2.4 Preparación del recubrimiento

Una vez preparadas las NLS, se preparó una dispersión de goma xantana al 0.4 % y propilenglicol al 0.5% como plastificante la cual se mezcló con una dispersión base a 10 g / mL de cera de abeja para obtener concentraciones de 10, 20 y 30 % de nanopartículas lipídicas sólidas, éstas se homogenizaron empleando un agitador de propela Eurostar Power Control-Visc (IKA WERKE®) a 2,000 rpm.

2.5.2.5 Aplicación del recubrimiento

Las fresas una vez desinfectadas y separadas en 5 lotes fueron recubiertas por inmersión durante 30 segundos, se dejaron escurrir por 15 minutos a temperatura ambiente y posteriormente se envasaron en domos de polietileno previamente pesados y etiquetados. Un lote se tomó como control el cual no se recubrió, otro solo fue recubierto con goma xantana y los tres restantes fueron recubiertos con la formulación de goma xantana-NLS al 10%, 20%, 30% respectivamente, las muestras envasadas se refrigeraron durante 20 días (Figura 10) en domos con 15 fresas cada uno para evitar daño físico, las muestras a analizar fueron obtenidas aleatoriamente para cada tratamiento, evaluándose la influencia del recubrimiento sobre los parámetros fisicoquímicos del fruto cada tercer día, todas los muestreos se realizaron por triplicado. El almacenamiento se llevó a cabo a 4°C y HR 85%.

En el cuadro 3 se muestran las variables, condiciones y métodos de medición a emplear para llevar a cabo la experimentación.



Figura 10. Almacenamiento de fresas en refrigeración

2.5.3 Actividad preliminar 1

De acuerdo a percepción óptica; es decir por aceptabilidad en apariencia, se eligieron las concentraciones de nanopartículas para la formulación de un recubrimiento el cual permitirá llevar a cabo los procesos fisiológicos de fresa entera (*Fragaria x ananassa*) almacenada en refrigeración. En un principio se utilizaron concentraciones de 60% y 40% con las cuales se observó que a tales concentraciones la fresa se tornó blanca rápida y completamente con apariencia poco apetecible y poco agradable; más bien la fresa se observaba blanca sin su brillo y color natural, mas aparte a pocas horas se observó un rápido obscurecimiento.

2.5.4 Actividades del objetivo particular 2

Para conocer los índices de calidad de la fresa durante el almacenamiento se llevó a cabo la determinación de °Brix, pH y acidez en donde se utilizaron por cada

tratamiento y por cada día de prueba 5 fresas a las cuales se les retiró el pedúnculo, se pesaron y se extrajo el jugo con un extractor. Todas las pruebas para el análisis químico se realizaron por triplicada para cada tratamiento. Para color y firmeza se tomaron muestras aleatorias por cada tratamiento igualmente con tres repeticiones.

2.5.4.1 Pérdida de peso

La pérdida de agua de los frutos ocurre principalmente, vía permeabilidad; reduciendo la calidad del fruto. Para evaluar el porcentaje de pérdida de peso durante el almacenamiento se utilizó una balanza OHAUS (capacidad 600 g). El cálculo de pérdida de peso se realizó al inicio y cada tercer día durante 20 días con la finalidad de saber el porcentaje de pérdida de peso en cada periodo de almacenamiento mediante la ecuación 1.

$$\%PP = \left(\frac{Pi - Pf}{Pi} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde:

%PP: Porcentaje de pérdida de peso.

Pi: Peso inicial.

Pf: Peso final.

2.5.4.2 Jugosidad

La jugosidad es la sensación de derrame de líquidos en el interior de la boca a medida que los tejidos son masticados siendo un parámetro de calidad y aceptación por parte del consumidor. Se determinó por medio de la extracción del jugo a 5 fresas por tratamiento cada tercer día mediante un extractor de jugos. El jugo se pesó y mediante una probeta se midió el volumen obteniendo una relación peso volumen de acuerdo a la siguiente relación:

$$\% \text{Jugosidad: } \left(\frac{g \text{ jugo} - g \text{ jugo}}{g \text{ jugo}} \right) \quad (2)$$

2.5.4.3 pH

Se llevó a cabo con un potenciómetro Philip Harris E300390/8 (Figura 11), el cual antes de cada medición fue calibrado con una solución buffer de pH 7 y 4. El valor de pH se leyó directamente en la escala del potenciómetro (AOAC, 1990).



Figura 11. Potenciómetro

2.5.4.4 Acidez titulable

La determinación de la acidez titulable se realizó por neutralización del ácido con una base (OH^- o álcali). Diez mililitros de jugo obtenido de la fresa se diluyó en 50 ml de agua destilada, se le añadió 3 gotas de fenolftaleína como indicador y se tituló con una solución patrón de hidróxido de sodio 0.1N. La acidez se expresó en porcentaje de ácido cítrico (AOAC; 2000), por medio de la ecuación 3:

$$\% \text{ Acidez} = \frac{(V_{\text{NaOH}} * N_{\text{NaOH}} * \text{meq}_{\text{ácido}})}{m} * 100 \quad (3)$$

Donde:

% Acidez: Porcentaje de acidez

V_{NaOH} : Volumen gastado de hidróxido de sodio 0.1N

N_{NaOH} : Normalidad del hidróxido de sodio

$meq_{ácido}$: miliequivalentes del ácido cítrico

m: peso de la muestra (jugo)

2.5.4.5 Sólidos solubles

La determinación de °Brix se llevó a cabo con un refractómetro manual (Figura 12) el cual fue calibrado antes de cada determinación con agua destilada, la cual se coloca en el lente se observa que marque cero y se verifica que el campo visual se divida en dos partes, una luminosa y otra oscura, justo por la mitad. Una vez calibrado se coloca la muestra en el lente y se hace la lectura directa por triplicado de los °Brix.



Figura 12. Refractómetro

2.5.5 Actividades preliminares del objetivo particular 2

2.5.5.1 Respiración

El efecto del recubrimiento sobre la velocidad de consumo de O₂ se llevó a cabo por el método estático reportado por diversos autores (Wang et al, 2009; Iqbal, et al. 2009), empleando para ello frascos de vidrio de 170 ml donde se colocó una fresa por frasco (Figura 13), previo al cierre hermético, las muestras de gas del espacio libre de cabeza fueron tomadas empleado una aguja insertada a través de una septa de plástico colocada en el centro de la tapa del envase, la aguja fue conectada a un equipo *Quanteck Instruments* modelo 905 *Oxygen Analyzer*, para obtener la concentración de oxígeno expresada en fracción en volumen en el interior del envase tomándose muestras durante 20 días. La velocidad de consumo de O₂ (RO₂) fue medida por diferencia en la concentración de O₂ a los diferentes intervalos de tiempo, siendo expresados de la siguiente manera.

$$yO_2 = y_iO_2 - \frac{RO_2 * W}{V_f} * (t - t_i) \quad (4)$$

$$RO_2 = \left(\frac{yO_2 - y_iO_2 V_f}{W} - \left(\frac{1}{t - t_i} \right) \right) \quad (5)$$

Donde y_iO_2 , yO_2 , son, respectivamente, la concentración de O₂ en la mezcla de gases al tiempo t_i en cualquier tiempo excepto cero y t al tiempo cero en horas. RO₂ es la velocidad de respiración, W es el peso de producto (kg) y V_f el volumen en el interior del envase.



Figura 13. Frascos con fresas para medición de oxígeno

2.5.5.2 Color

El color es un atributo importante para valorar la calidad del fruto, frecuentemente ligado a la madurez. El color se puede considerar con tres aspectos matiz o tono ángulo hue (h°), brillo (Luminosidad) y saturación o intensidad (Croma).

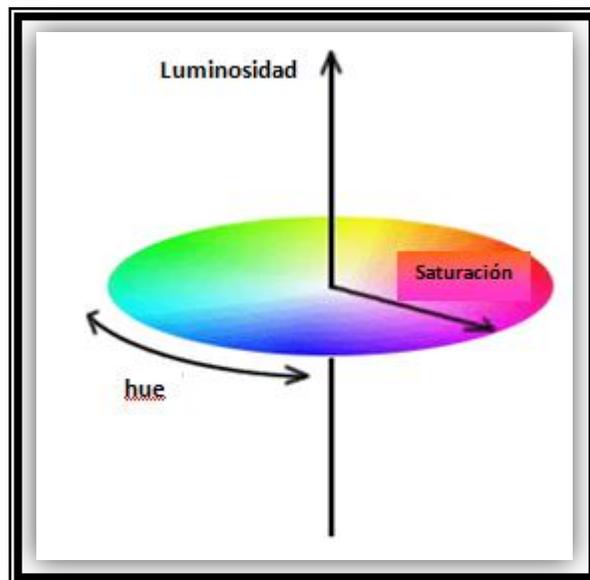


Figura 14. Aspectos de color Luminosidad, Tono (h°) hue y Croma.

La determinación del color se llevó a cabo con un colorímetro Minolta CR300 en el espacio de color $L^*a^*b^*$ (Figura 14) el cual distingue las diferentes tonalidades

(rojo, azul y amarillo) la cuantificación del color se realiza en un espacio tridimensional descrito por tres variables (Cuadro 4).

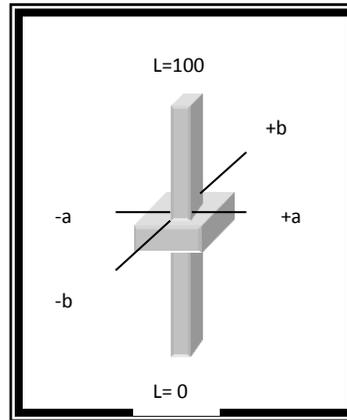


Figura 15. Ejes de parámetros de color

Cuadro 4. Interpretación y escala de los parámetros de color.

Parámetro	Interpretación	Escala
L^*	En eje central e indica brillantez o luminosidad	100: blanco 0: negro
a^*	Indica variación de rojo a verde	Positivo: rojo Negativo: verde
b^*	Indica variación de amarillo a azul	Positivo: amarillo Negativo: azul

Con base a estos parámetros se calcula el de tono (h°) ángulo de hue:

$$h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (6)$$

Los valores L^* son una medida de luminosidad (valor más alto indica un color más claro); los valores de a^* son una medida de enrojecimiento (un valor más alto indica un color más rojo), y los valores b^* son una medida de amarillo (un valor más alto indica un color más amarillo), (Figura 15). El tono (h°) ángulo de hue representa el cambio del eje rojo (un número más grande indica cambio de rojo a amarillo) (Rentfrow, et al., 2004).

El croma (C) el cual indica la saturación, intensidad y pureza del color; se calculó con la siguiente fórmula:

$$C^* = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (7)$$

C= Croma

2.5.5.3 Firmeza

La textura es un atributo de calidad fundamental para determinar la aceptabilidad de las frutas y generalmente está asociado con el estado de madurez de la fruta. Se llevó a cabo mediante la determinación de la firmeza por ensayos de compresión con una celda de carga de 5 kN a una velocidad de 25mm/min llevando a compresión hasta 95% con un equipo INSTRON, con un dispositivo de compresión de 10mm a 0.2 mm/s (Figura 16).

Las pruebas se realizaron sobre la zona ecuatorial de la fresa, la determinación se le realizó a diez fresas por tratamiento.

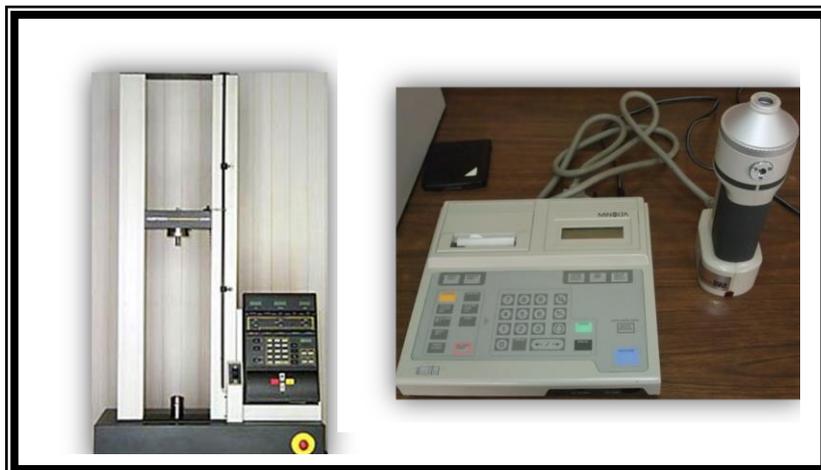


Figura 16. Texturómetro INSTRON y Colorímetro Minolta CR 300

2.5.5.4 Índice de decaimiento

El índice de decaimiento se evaluó visualmente para los diferentes tratamientos y en las 15 fresas contenidas en cada domo durante el almacenamiento, utilizando una escala subjetiva considerando los siguientes parámetros, indicados en la figura 17

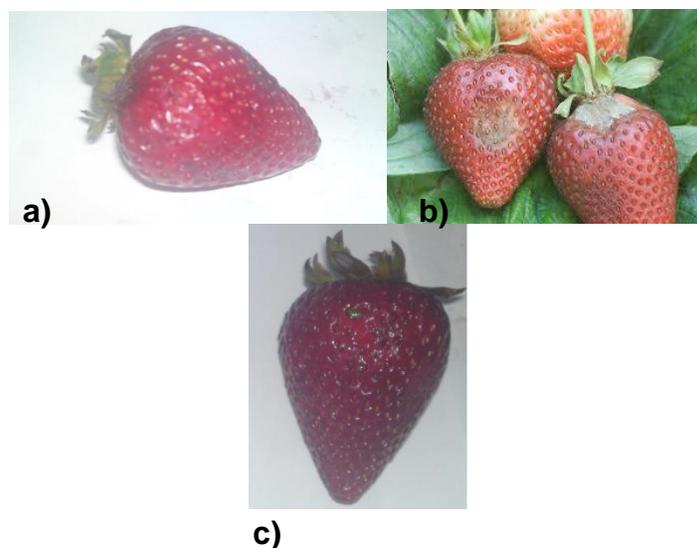


Figura 17. Señales de decaimiento, a) obscurecimiento, b) incidencia fúngica, c) ablandamiento.

Donde:

1=no dañado

2=daño ligero (<25%)

3= daño moderado (>25% y < 50%)

4= daño severo (>50% y < 75%)

5= completamente dañado (<75%-100%)

$$IDC = \frac{\sum(\text{nivel de daño}) * (\text{no.de frutos de este nivel})}{\text{no.de frutos totales}} \quad (8)$$

2.6 Diseño experimental

Se realizó un análisis de varianza de dos vías con $\alpha = 0.05$ con Excel (Tipo de recubrimiento y días de almacenamiento) con la finalidad de evaluar la efectividad del recubrimiento y el efecto del tiempo de almacenamiento.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de objetivo particular 1

3.1.1 Tamaño de partícula

Uno de los factores más importantes con impacto significativo sobre la estabilidad de las Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS) es el tamaño de partícula e índice de polidispersión; que se ve afectado por diversos factores tales como la composición de la formulación (tipo, cantidad de surfactante y propiedades del lípido) métodos de producción y condiciones (tiempo, temperatura, presión y cantidad de ciclos). Con el uso de la técnica de homogeneización a alta presión y alta temperatura se ha mostrado que las NLS tienden a ser sistemas más estables con tamaños de partícula que pueden oscilar entre los 200 – 500 nm con índices de polidispersión menores a 0.3 indicativos de un sistema estable con una estrecha distribución de tamaños de partícula (García B., 2011). El índice de polidispersión indica la desviación de una función de autocorrelación medida de una dispersión de esferas monodispersas con el mismo diámetro (Guerrero, 2011), observándose buena estabilidad en las dispersiones utilizadas.

Cuadro 5. Tamaño de partícula de las nanopartículas sólidas

Recubrimiento	Tamaño de partícula (nm)	Índice de polidispersión
Solución base NLS	224.9 ± 3.3	0.245
10% NLS	213.7 ± 4.4	0.271
20% NLS	225.6 ± 6.1	0.210
30% NLS	226.8 ± 0.2	0.245

En el Cuadro 5 se muestra los tamaños de partícula y el índice de polidispersión promedio de las NLS a base de cera de abeja utilizadas para la preparación de los sistemas formadores de película.

En todos los recubrimientos se obtuvieron tamaños de nanopartículas de entre 213 y 226 nm, considerándose con ello un material de talla nanométrica ya que su tamaño es menor a 1 μm (Mora-Huertas et al., 2010). Se observa que a medida que aumenta la concentración de nanopartículas en la preparación de recubrimientos existe un pequeño aumento el tamaño de partícula, resultado similar a lo reportado por Hassan Hany & Naim El Gazayerly, (2011) en NLS de extracto de salvado de arroz. En el caso de este trabajo se empleó una dispersión con 0.4 % de goma xantana como matriz polimérica donde se soportaron las nanopartículas y medio que se ha demostrado es funcional en la conservación de frutas enteras (García, 2011, Guerrero, 2011), la disminución aparente del tamaño de partícula en suspensión es atribuida a la distribución de las NLS en la matriz de polímero lo que da como resultado una ligera modificación en el tamaño de partícula sin que por ello exista influencia sobre el tamaño de partícula.

3.1.2 Potencial zeta

La estabilidad física de las NLS se ha investigado a través del análisis de las cargas superficiales de las partículas mediante la determinación del potencial zeta (Villafuerte, et al., 2008).

Por lo general, es menos probable que exista agregación en partículas con un alto potencial zeta debido a la repulsión eléctrica (Heurtault, et al., 2003). Nanopartículas con valores de potencial zeta mayores a +30 mV o menores -30 mV presentan alto grado de estabilidad (Ranjan, et al., 2010).

En el Cuadro 6 se muestra el potencial zeta de las NLS preparadas por el método de homogenización en caliente, mostrándose que la adición de goma xantana no interfieren al sistema y que la carga negativa mostrada por éstas es atribuida a los

grupos funcionales presentes en el Pluronic® utilizado como surfactante para la preparación de las nanopartículas. Con los valores de potencial obtenidos para todos los recubrimientos es posible suponer que los sistemas se mantuvieron estables durante el almacenamiento (Noriega-Peláez *et al.*, 2011; Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2011).

Cuadro 6. Potencial zeta de las nanopartículas lipídicas sólidas.

Recubrimiento	Potencial Zeta (mV)
Solución base	-33.06 ± 0.2
NLS	
10% NLS	-29.73 ± 0.51
20% NLS	-33.86 ± 3.30
30% NLS	-31.5 ± 0.43

3.2 Resultados del objetivo particular 2

3.1.3 Pérdida de peso

En la figura 18 se muestra el comportamiento de la pérdida fisiológica de peso durante los 20 días de almacenamiento refrigerado. La pérdida de peso está asociada principalmente con la respiración y evaporación de humedad a través de la piel, lo cual induce a estrés fisiológico acelerando la senescencia. La delgada piel de las fresas las hace frutos muy susceptibles a la rápida pérdida de agua dando como resultado el marchitamiento y deterioro. Esta pérdida de agua reduce el valor comercial del producto afectando negativamente, la apariencia, textura, sabor y peso; factores que determinan el precio del producto (Kader, 1991). La mayoría de los productos hortofrutícolas son invendibles o no aptos para su venta después de perder entre 3 y 10% de peso, en el caso de la fresa el peso máximo permisible de pérdida de peso es de 6% (Bartz & Brecht, 2003). Los recubrimientos comestibles actúan como barrera restringiendo de ese modo la

transferencia al vapor de agua o transpiración y la protección de la piel del fruto por lesiones mecánicas, así como el sellado de posibles heridas y retrasando así la deshidratación (Hernández-Muñoz, et al., 2008).

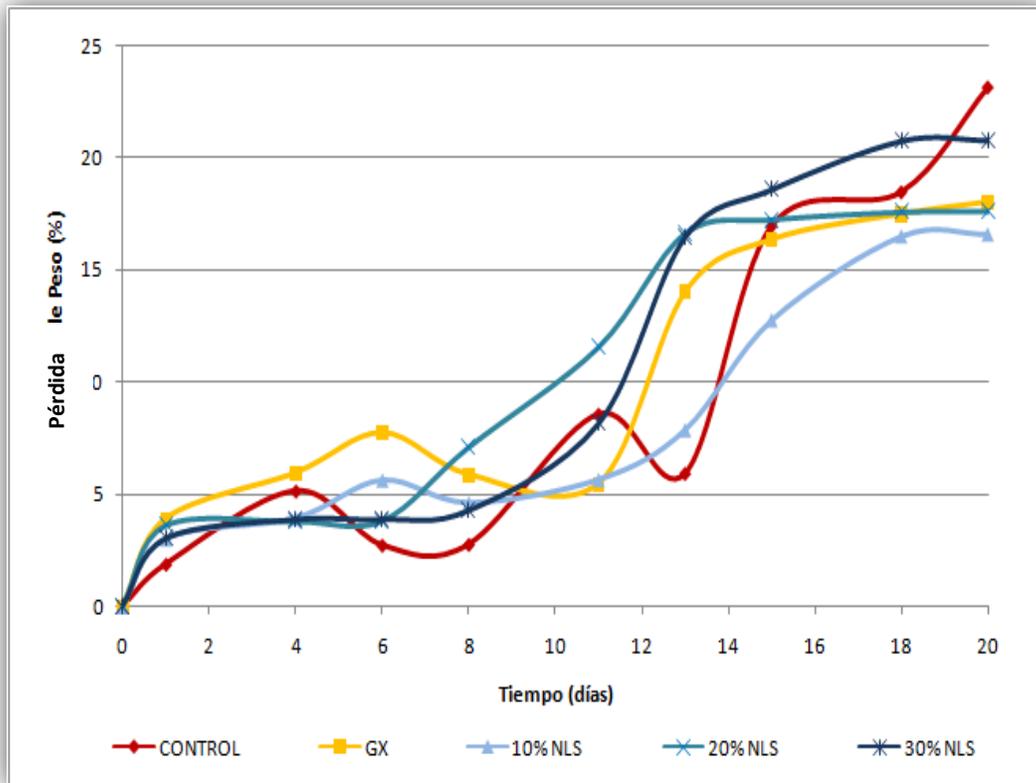


Figura 18. Diferencia de peso durante el almacenamiento

En la figura 18 se aprecia la pérdida de peso durante el almacenamiento, observándose que las fresas recubiertas con 10 % NLS reducen significativamente la pérdida de peso después del día 10 ya que durante los primeros días la pérdida máxima es de 6 %. En cuanto a las fresas control la pérdida de peso durante los primeros 8 días fue menor que el 5%, la cual después de ese día su pérdida aumento significativamente en comparación a las fresas recubiertas con 10 % de NLS finalizando con la mayor pérdida de peso de 26%. También es posible identificar que las muestras con 20 % de NLS presentó un incremento significativo ($p < 0.05$) después del día 6 de almacenamiento hasta el día 13 a diferencia del

resto de los tratamientos finalizando en 17.64% que aunque es mayor la pérdida de peso final a las fresas recubiertas con 10% NLS, su pérdida final no fue mayor a las fresas recubiertas con 30% NLS las cuales finalizaron con 21%. Observándose que el recubrimiento a mayores concentraciones de NLS al interactuar con la superficie del fruto no permitió una adecuada respiración del producto, por lo que el índice de decaimiento y el daño fisiológico se incrementaron considerablemente.

El contenido de lípido de las formulaciones, el tamaño de partícula y su distribución en la matriz hidrofílica determina en gran medida la capacidad que tiene el recubrimiento para retener agua y modificar la permeabilidad al vapor de agua del sistema formador de película, por lo que se atribuye que un recubrimiento con una concentración > al 20 % de NLS modifica la permeabilidad del sistema limitando el intercambio de vapor de agua por lo que se establece que 10 % de nanopartículas es la concentración crítica a partir del cual las propiedades de transporte en el sistema se ven modificadas provocando daños fisiológicos en el sistema que promueven el crecimiento microbiano y el incremento del índice de decaimiento en las fresas almacenadas, tal y como ha sido reportado en otros casos en los que se han empleado sistemas de recubrimiento (Llanos, 2007).

En cuanto a las fresas recubiertas con goma xantana se observa que presentaron una pérdida de peso final de 18.01% siendo menor que las fresas control, sin embargo aunque el recubrimiento de goma xantana aportó una barrera eficiente contra la pérdida de peso en comparación con las fresas control y las fresas con tratamiento 20 y 30% de NLS, no fue mejor que las fresas con 10% de NLS; entonces a pesar de que los hidrocoloides funcionan como una barrera protectora para frutos, su condición no polar hidrofílica al ser utilizados en recubrimientos comestibles los hace barreras pobres a la humedad del fruto con el ambiente, por lo cual en muchos casos es necesario aplicar un compuesto lipídico como la cera de abeja que proporcionarían una mejor barrera a la transpiración y que además el

recubrimiento tenga partículas en tamaño nanométrico las propiedades funcionales de los recubrimientos se ven mejoradas (Llanos, 2007).

Cuadro 7. ANOVA de la pérdida de peso en función de la concentración y el tiempo de almacenamiento.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días de almacenamiento	0.206	9	0.023	32.301	0.000	2.153
Recubrimiento	0.009	4	0.002	3.174	0.025	2.634
Error	0.025	36	0.001			
Total	0.240	49				

De acuerdo al cuadro 7 se observa que tanto el tiempo como el recubrimiento tienen efecto significativo ($p < .05$) sobre la pérdida de peso en la fresas.

3.2.2 Jugosidad

Debido a la fragilidad y susceptibilidad de las fresas al daño mecánico, existe una rápida pérdida de agua, la cual tiene un efecto negativo sobre el fruto provocando una pérdida de turgencia y el agotamiento más rápido de nutrientes. La pared celular puede influir en la percepción de jugosidad, así que cuando las paredes están hidratadas aumenta la sensación de ésta en frutos con texturas suaves. El contenido de agua, jugosidad, del fruto es uno de los criterios de calidad más importantes, ya que la pérdida de esta durante el almacenamiento es la mayor causa de deterioro (Alcántara, 2009).

En la figura 19 se muestran las variaciones en el porcentaje de jugosidad durante el periodo de almacenamiento en refrigeración, observándose que existió diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) entre los tratamientos desde el inicio del almacenamiento refrigerado. Se observa que las fresas control fueron las que presentaron la menor jugosidad durante todo el almacenamiento. Las fresas recubiertas con 10% NLS conservan la mayor jugosidad durante los 20 días de

almacenamiento, lo que a su vez se correlaciona con los resultados de la figura 18 ya que estas son las que tuvieron menor pérdida fisiológica de peso corroborando que el sistema con 10 % de NLS logra conservar mejor las características sensoriales de las fresas almacenadas en refrigeración. Se observa una relación de la jugosidad con la pérdida de peso ya que durante los primeros 13 días la mayor pérdida de peso la presentan las fresas recubiertas con 20%, siendo el sistema de NLS que presenta la menor jugosidad durante el almacenamiento, seguido por el sistema de 30% de NLS. Lo que implica que de acuerdo a las características del tejido, es importante considerar la permeabilidad ya que si bien se ha mostrado que el empleo de sistemas de talla submicrónica contribuye a incrementar la vida útil de frutos como limón y guayaba es necesario considerar que cada fruto tiene requerimientos diferentes que dependerán de la estructura del tejido, estado de madurez, velocidad de respiración, etc., (Guerrero, 2011, González 2011).

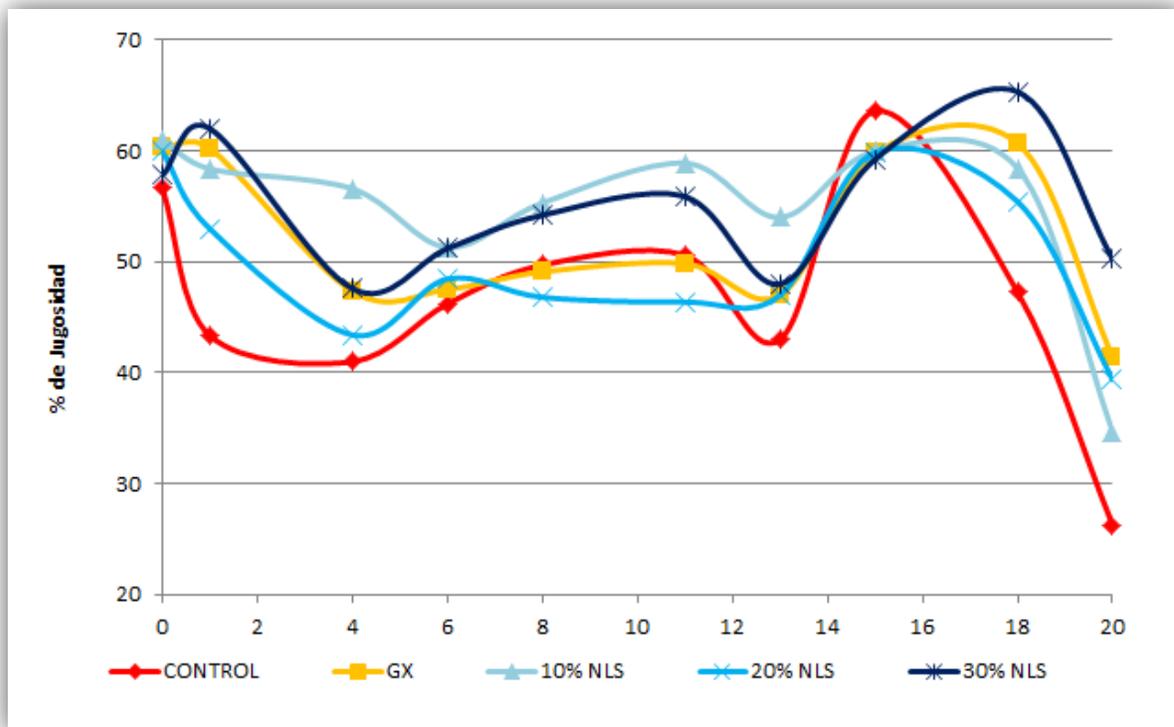


Figura 19. Jugosidad durante el almacenamiento

En cuanto a las fresas recubiertas con Goma xantana se observó que conservaron una mayor jugosidad que las fresas control sin embargo no mayor que las fresas 10 y 30% de NLS. Mostrándose que al incorporar NLS existe una mejor función en cuanto a la permeabilidad mejorando las propiedades de barrera del recubrimiento, sin que esto implique que concentraciones mayores de 10% de NLS sea lo ideal.

Cuadro 8. ANOVA de jugosidad en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días de almacenamiento	0.121	8	0.015	11.765	0.000	2.355
Recubrimiento	0.021	3	0.007	5.403	0.006	3.009
Error	0.031	24	0.001			
Total	0.172	35				

En el cuadro 8 se observa que existe influencia significativa sobre la jugosidad por el tiempo de almacenamiento y el tipo y concentración de recubrimiento.

3.2.3 Cambios en pH

Durante la maduración el pH del fruto aumenta debido al estrés al cual se somete, ya que una vez separado de la planta durante los primeros días se ve obligado a gastar ácidos orgánicos como parte de sus procesos metabólicos (Saavedra H & A. Algecira, 2011). Esta reducción de ácidos orgánicos se puede deber a la alta tasa de respiración de las fresas, indicando la senescencia (Amal, et al., 2010). Siendo un el intervalo óptimo de pH en fresa de 3.18-4.10 (Kader., 1991).

La figura 20 muestra las variaciones en pH que presentó la fresa almacenada en refrigeración durante 20 días. Se observa un ligero aumento en el pH al día 8 de las muestras con 20 y 30 % de NLS y las recubiertas con goma xantana, lo que se

relaciona con cambios en °Brix, pérdida de peso y jugosidad. En cuanto a las fresas recubiertas con 30 % de NLS se observa que presentaron los mayores valores de pH durante el almacenamiento, lo que a su vez muestra una tendencia en el comportamiento con la pérdida de peso y jugosidad que implica que a estas concentraciones de nanopartículas no es posible lograr un incremento en el periodo de almacenamiento del producto. Sin embargo a pesar del aumento en las fresas control y recubiertas con 20% de NLS entre los días 11 y 14 tanto como días anteriores y posteriores sus valores entran dentro del rango óptimo.

Sin embargo, en la figura 20 es posible resaltar que el empleo de un recubrimiento en una matriz de goma xantana y 10 % de NLS contribuye a incrementar considerablemente las posibilidades de conservación de fresa ya que durante el periodo de almacenamiento estas muestras registraron valores en el pH en un intervalo entre 3 y 4, siendo el óptimo para fresas valores entre 3.1 y 4.1, haciendo un ambiente menos susceptible a la actividad microbiana y retardando la senescencia.

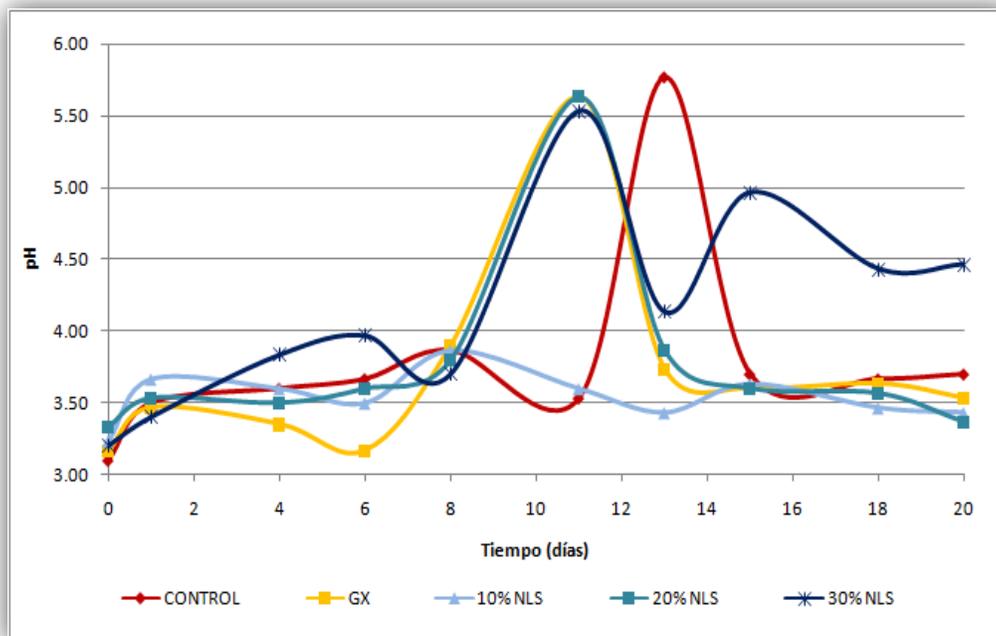


Figura 20. Cambios de pH durante el almacenamiento

Cuadro 9. ANOVA de pH en función del tiempo de almacenamiento y concentración.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días de almacenamiento	21.917	9	2.435	8.750	0.000	2.153
Recubrimiento	1.975	4	0.494	1.774	0.155	2.634
Error	10.019	36	0.278			
Total	33.912	49				

En el cuadro 9 se observa que el tiempo de almacenamiento influye significativamente en los cambios de pH, pero no el tipo y concentración de recubrimiento.

3.2.4 Acidez

La acidez titulable es una medida de cambios de concentración de ácidos orgánicos del fruto. Siendo el ácido cítrico el más abundante en la fresa, seguido del málico, succínico y ascórbico los cuales se encuentran principalmente en las vacuolas, razón por la que la acidez de la fresa fue expresada en función a la cantidad de ácido cítrico. Para un sabor aceptable se recomienda un máximo de 0.8% de acidez titulable, el cual dependerá del estado de madurez (Kader., 1991).

Los ácidos orgánicos desempeñan un papel crítico en el mantenimiento de la calidad y valor nutricional de los alimentos, así como en el metabolismo post-cosecha. Estudios revelan que en los estados tardíos de maduración del fruto, cuando ha cesado su crecimiento, el contenido de ácidos orgánicos disminuye con el incremento sólidos solubles totales. Esta disminución de ácidos orgánicos se debe a su participación como sustratos respiratorios o a su conversión a azúcares durante la madurez del fruto (Solarte, et al., 2008).

En la figura 21 se presentan los cambios en ácido cítrico mostrados por la fresa en función a los diferentes recubrimientos empleados para su conservación.

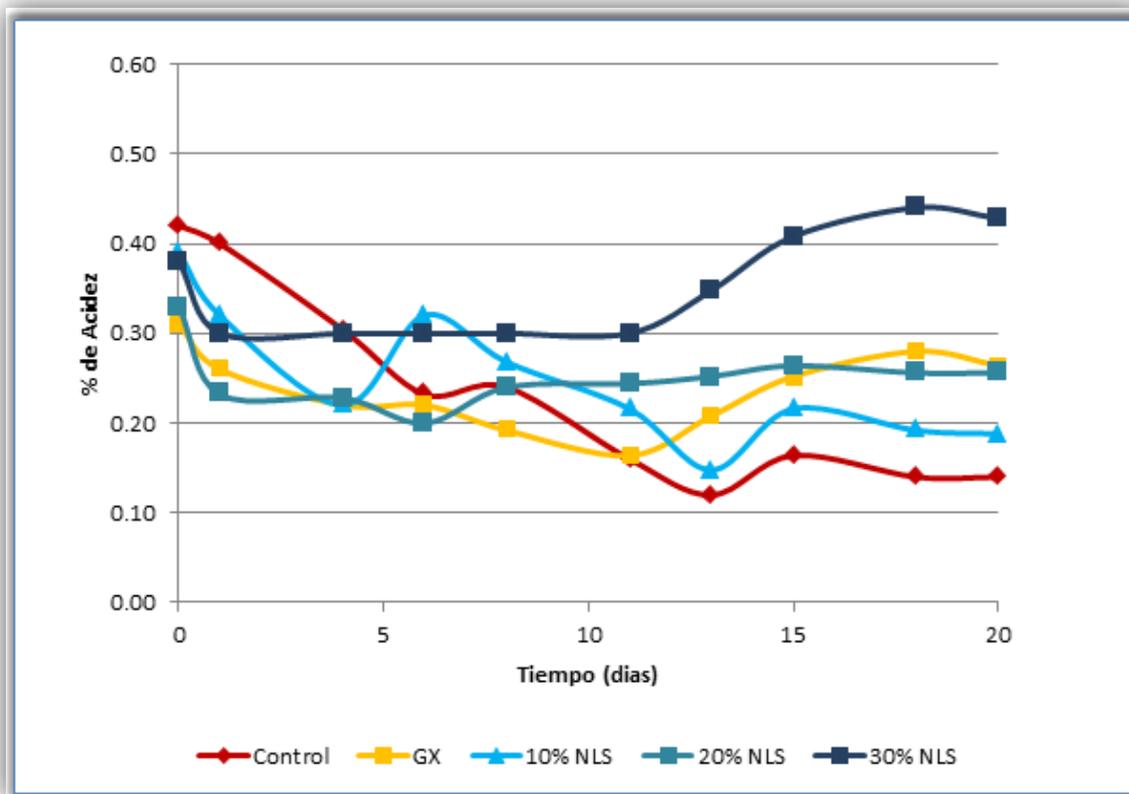


Figura 21. Cambios de acidez durante el almacenamiento

De acuerdo con la figura 21 se observa que en los tratamientos y durante el almacenamiento existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en el comportamiento de la acidez, las fresas control presentan un rápido descenso en la acidez durante los 20 días de almacenamiento como resultado de una senescencia rápida (Cumplido, 2012). En cuanto a las fresas recubiertas con goma xantana y 10 % de NLS se observa un retraso en el descenso en la acidez a diferencia de las fresas recubiertas con 20 y 30% la acidez en donde a 20% de NLS la acidez después del primer día no disminuye durante el almacenamiento, a diferencia de este comportamiento las fresas recubiertas con 30% de NLS al día 11 se observa un aumento lo que podría deberse a la baja permeabilidad del

recubrimiento a altas concentraciones de NLS utilizadas en recubrimientos, bloqueando intercambio de gases, que es indispensable para el metabolismo del fruto.

Observándose que el uso de un recubrimiento en fresas al mismo tiempo que retarda la actividad metabólica del fruto también el uso de ácido orgánico en las reacciones enzimáticas, conservando la calidad óptima de las fresas por más tiempo, (Amal, et al., 2010).

Cuadro 10. ANOVA de acidez en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días de almacenamiento	1.365	9	0.152	17.870	0.000	2.153
Recubrimiento	0.114	4	0.029	3.366	0.019	2.634
Error	0.306	36	0.008			
Total	1.785	49				

En el cuadro 10 se observa que si existe una influencia significativa tanto en el tiempo de almacenamiento como el tipo y concentración de recubrimiento sobre los cambios de acidez.

3.2.5 Sólidos Solubles Totales

Los azúcares son los compuestos de sabor no volátiles más importantes en frutos de fresa tanto en términos de cantidad como de calidad. La sacarosa, glucosa y fructosa constituyen más del 99% del total de azúcares en frutos maduros. Son importantes en el equilibrio del aumento en los niveles de ácidos asociados con la maduración. El aumento general de SST a lo largo de la maduración es la razón principal por lo que las fresas son tan agradables para comer ya que aportan la dulzura (Bood & Zabetakis, 2002). Las fresas no acumulan almidón durante su desarrollo y su sabor dulce es debido a la sacarosa que se acumula durante la

primera parte de la vida de la fruta. Estos azúcares funcionan como reservas de energía y forman parte de la estructura de la células. (Solarte, et al., 2008). El aumento de SST indica que la síntesis de sacarosa ha tenido lugar durante el almacenamiento, ya que aumentará durante la maduración y disminuirá en la fruta madura debido al proceso de respiración (Hernández-Muñoz, et al., 2008).

En la figura 22 se muestra la evolución en el contenido de SST durante el almacenamiento de fresa recubierta a las 3 diferentes concentraciones de NLS y comparadas con el comportamiento de muestras control sin ningún tratamiento y aquellas recubiertas con goma xantana.

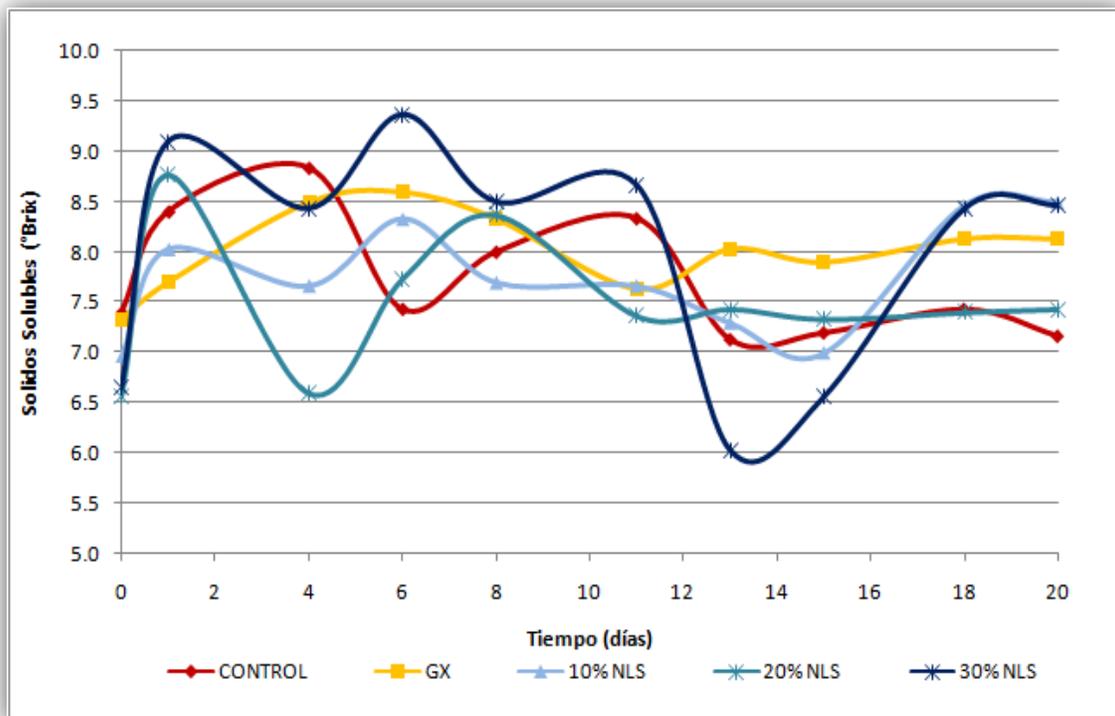


Figura 22. Cambios en SST durante el almacenamiento

En la Figura 22 se muestra que los sólidos solubles tanto en las fresas control como las fresas con recubiertas con goma xantana y NLS mostraron un aumento al primer día con fluctuaciones dependientes de la composición del recubrimiento durante el almacenamiento; posiblemente como resultado de una completa maduración de la fresa. De acuerdo a lo reportado por (Kader, 1991) el rango para

la calidad óptima del fruto de fresa con respecto a los SST va de 4.6 a 11.9 Aunque los SST registrados varían dependiendo al tratamiento, en todos los casos entran dentro del rango óptimo; esto es su sabor en todos los tratamientos es aceptable para su consumo.

En la Figura 22 se observa un aumento de sólidos solubles en las fresas control durante el almacenamiento al no tener algún recubrimiento que retarde la senescencia y debido probablemente no a la conversión de almidón en azúcar ya que el contenido de este en la fresa es inexistente sino a la solubilización de las pectinas en las paredes celulares existe una rápida disminución de ácidos orgánicos, incremento de antocianinas a su vez una pérdida de peso por la deshidratación concentrando el contenido de los sólidos. A partir del día 11 se observa una disminución registrando un valor final de 7.2 lo que indica que posiblemente se llevó a cabo la hidrólisis de sacarosa y hubo un consumo de azúcares para el mantenimiento de los procesos respiratorios del fruto y a su vez un consumo de estos azúcares por actividad microbiana relacionada con el índice de decaimiento, acelerándose la senescencia en fresas sin recubrimientos.

En cuanto a las fresas recubiertas con 10% de NLS muestran un valor inicial de 7 % de sólidos solubles, posteriormente al día 6 obtienen su máximo valor de 8.3 pero durante los 20 días de almacenamiento el contenido de sólidos solubles registrados se encuentran dentro del rango de valores óptimos para finalizar en 8.5 SST; no mostrando diferencia significativa. Mientras que las fresas recubiertas con goma xantana registra valores mayores de sólidos solubles que las fresas recubiertas al 10% de NLS pero similares a las fresas control y las fresas recubiertas con 20 y 30 % de NLS, ya que aunque el recubrimiento de goma xantana proporciona una barrera al vapor de agua, esta es pobre debido a su condición hidrofílica, acelerando su senescencia.

Las fresas recubiertas con 20 % de NLS presentan el mismo comportamiento con un valor máximo de sólidos solubles de 8.4 disminuyendo hasta 7.4. Finalmente se

observa que las fresas recubiertas con 30% NLS presentan los valores más altos ya que a esta concentración las pérdidas de peso fueron mayores existiendo una concentración mayor de sólidos solubles.

Mientras más alto sea el valor de SST más aceptable es el sabor del fruto al consumidor, el posterior descenso marca una pronta y rápida senescencia; observándose que aunque existieron fluctuaciones durante el almacenamiento en todos los tratamientos tanto las fresas control como las fresas recubiertas con 30 % NLS presentaron un descenso más drástico durante los últimos días de almacenamiento. Y al igual que con la acidez se observa que no se mejoraron las propiedades de barrera al aumentar las concentraciones de NLS en el recubrimiento.

Cuadro 11. ANOVA del contenido de sólidos solubles totales en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días de almacenamiento	11.795	9	1.311	3.599	0.003	2.153
Recubrimiento	1.720	4	0.430	1.181	0.336	2.634
Error	13.108	36	0.364			
Total	26.623	49				

En el cuadro 11 se observa que existe influencia significativa entre los días de almacenamiento pero el tipo de recubrimiento y la concentración de sólidos solubles totales no tienen influencia significativa sobre los sólidos totales

3.3 Resultados del Objetivo particular 3

3.3.1 Respiración

Las fresas se clasifican dentro de los frutos no-climatéricos, los cuales se caracterizan por altas tasas respiratorias en las primeras etapas de desarrollo que disminuirá continuamente en función al tiempo de almacenamiento; es decir el consumo de oxígeno desciende gradualmente. El tipo y estado de madurez entre otros factores afectaran la actividad respiratoria (Fonseca, et al.).

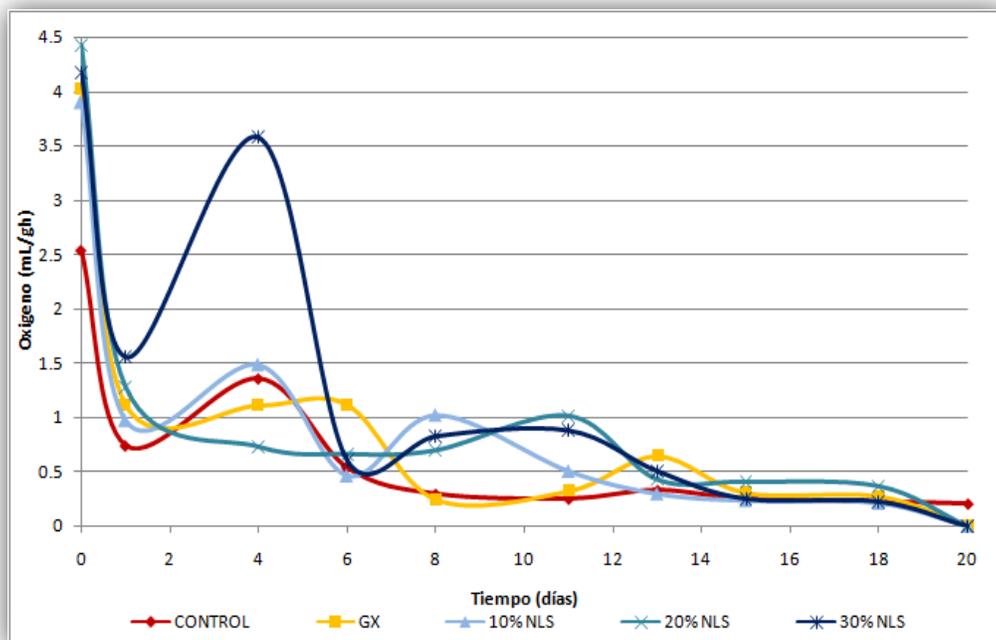


Figura 23. Cambios en el consumo de oxígeno durante el almacenamiento

En general en la figura 23 se observa una reducción en la velocidad de respiración en frsas recubiertas sin efecto significativo entre tratamientos, gracias a las propiedades de barrera que aportan los recubrimientos con lípidos (Vargas, Albors, Chiralt, & Gonzáles Martínez, 2006). Es posible además observar que después del ascenso en la tasa respiratoria al día 4 tanto en la fresas control como en los tratamientos registran pequeñas variaciones posiblemente por la presencia de actividad microbiana. Se puede observar una ligera disminución en la velocidad de respiración en las fresas recubiertas con 30% de NLS similar a lo reportado por

(Vargas, et al., 2006) en fresas recubiertas con quitosano y ácido oleico donde al aumentar la concentración de ácido oleico la velocidad de respiración disminuye, sin que por ello los recubrimientos con 10 y 20 % de NLS regulen también la tasa de respiración.

Cuadro 12. ANOVA de la tasa de respiración en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días de almacenamiento	55.052	9	6.117	31.267	0.000	2.153
Recubrimiento	1.804	4	0.451	2.305	0.077	2.634
Error	7.043	36	0.196			
Total	63.898	49				

El cuadro 12 indica que el tiempo de almacenamiento y el tipo y concentración de recubrimiento tienen influencia significativa en la respiración ya que aunque para el tipo de recubrimiento $p=0.077$ el valor de F es menor que el crítico, por lo que tendría que ser por lo menos igual o mayor que 2.634 para que no existiera una influencia significativa.

3.3.2 Color

Las fresas recién recolectadas presentan un color “rojo-rosáceo” vivo y brillante, que con el tiempo y temperatura ambiente pasa a “rojo-marrón”; es decir una disminución del tono (h°) ángulo hue, menos intenso (Croma), y más opaco (*L).

3.3.2.1. Cromaticidad

En la Figura 24 se muestran los cambios en croma o saturación mostrados en las fresas almacenadas en refrigeración en función al recubrimiento utilizado observándose que los valores iniciales de cromaticidad en los tratamientos con

nanopartículas son mayores pero menores que las fresas recubiertas con goma xantana, una posible causa es que el recubrimiento intensifica el brillo del fruto inicialmente pero debido a sus características físicas en cuanto a la cera de abeja durante el periodo de almacenamiento el recubrimiento puede provocar cierta opacidad disminuyendo el brillo en las fresas, ya que al aumentar concentración de NLS en los recubrimientos los valores de cromaticidad disminuyen, y en cuanto más bajos sean menor brillo y menos vivo es el color del fruto.

En la figura 24 se observa que las fresas control presentaron la mayor saturación en color durante el almacenamiento una posible razón es el rompimiento de estructuras celulares provocando que sea más vivo el color. Los valores más bajos son de la fresas recubiertas con 30% NLS finalizando con un valor de 30, esto es que la saturación en su color fue menor durante el almacenamiento.

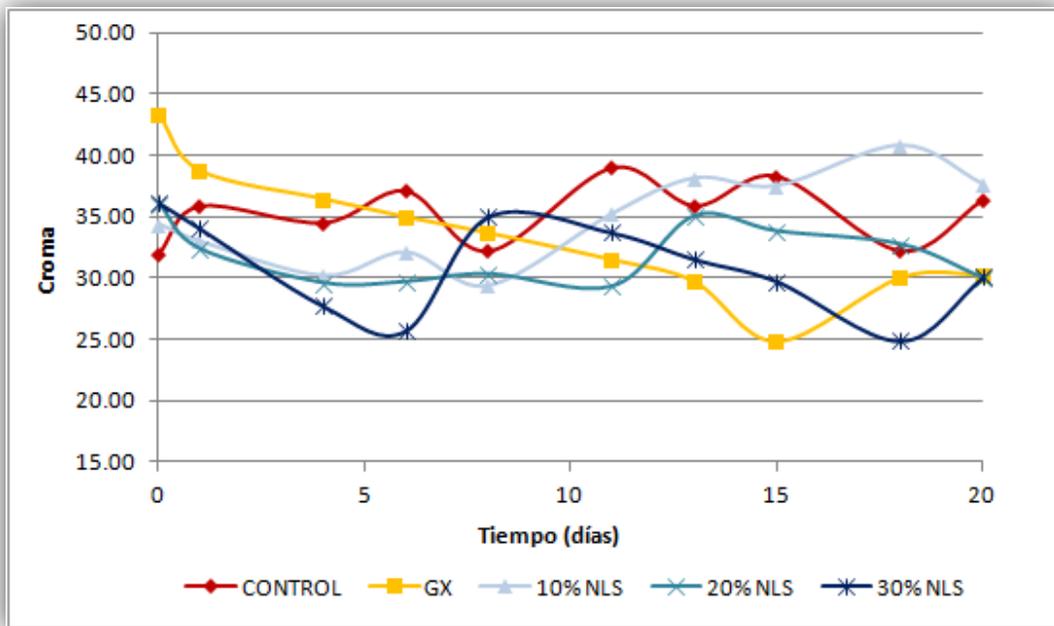


Figura 24. Grafica de croma durante el almacenamiento.

En cuanto a las fresas recubiertas con goma xantana se observó una disminución continua desde el primer día, debido a que la goma xantana como recubrimiento aporta cierto brillo al fruto recubierto el valor inicial de croma es el más alto, sin embargo la intensidad del color en el fruto no se logra mantener durante el almacenamiento.

Se aprecia que las fresas recubiertas con NLS al 10 y 20 % mostraron un equilibrio alrededor de 30 puntos de cromaticidad y que permaneció constante durante los primeros 10 días de almacenamiento para posteriormente mostrar diferencias en cuanto a la intensidad de color entre estos tratamientos, sin embargo, las fresas con 10 y 20 % de NLS mantuvieron los valores de cromaticidad sin disminuir en un intervalo 35 ± 5 , conservando la saturación del color es decir; un color rojo vivo de las fresas durante el almacenamiento, esto es que el recubrimiento resulto favorecedor, ya que la aplicación de recubrimiento con nanopartículas conserva el color durante el almacenamiento.

Cuadro 13. ANOVA de cromaticidad en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días de almacenamiento	106.418	9	11.824	0.885	0.548	2.153
Recubrimiento	129.656	4	32.414	2.425	0.066	2.634
Error	481.202	36	13.367			
Total	717.276	49				

En el cuadro 13 se observa que ni el tiempo de almacenamiento ni el tipo y concentración mostraron un efecto significativo sobre los cambios de saturación.

3.3.2.2. Luminosidad

La brillantez y apreciación del color en frutos y otros alimentos está influenciada considerablemente por el efecto de blancura o luminosidad que presentan los

productos, considerándose que valores cercanos a cero representan colores oscuros.

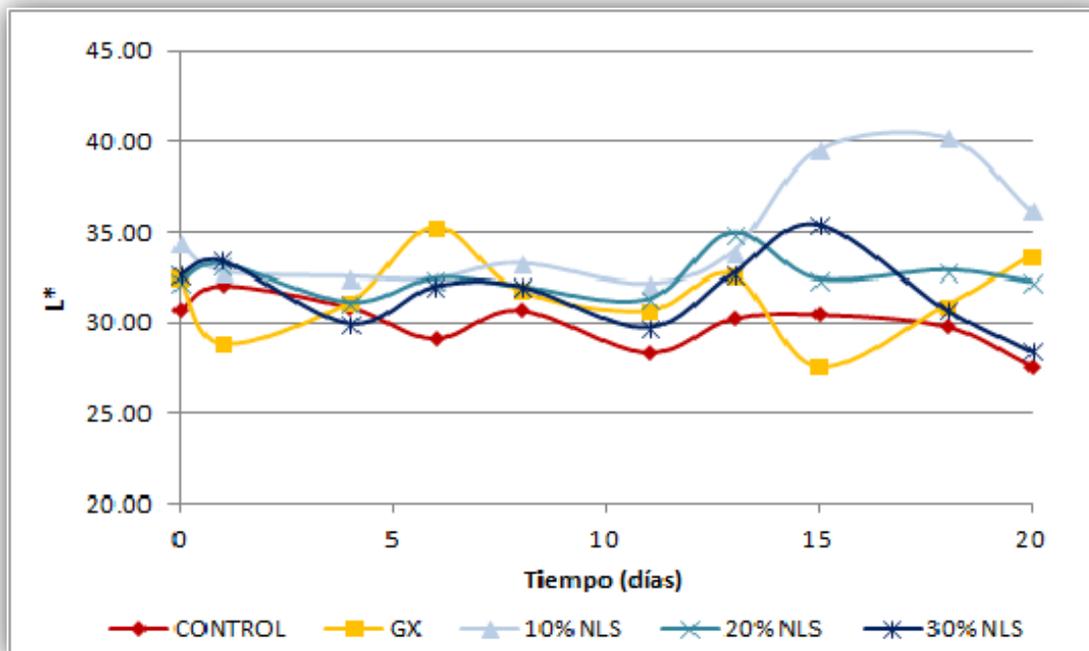


Figura 25. Grafica de luminosidad durante el almacenamiento

En la Figura 25 se muestran los cambios en luminosidad mostradas por las fresas recubiertas durante el periodo de almacenamiento, observándose que las fresas al ser recubiertas tanto con goma xantana como con nanopartículas a las 3 concentraciones no se ve afectada la luminosidad. Las fresas control tuvieron una luminosidad que varió poco en función al tiempo de almacenamiento (≈ 30), además de presentar los menores valores en comparación con las fresas recubiertas, lo que significa que la fruta desarrollo un color más oscuro. Las fresas recubiertas con 30% de NLS presentan los menores valores de luminosidad en cuanto a las fresas recubiertas presentando un mayor oscurecimiento durante el almacenamiento. Este resultado es similar a lo reportado de fresas recubiertas con quitosano en las cuales la película se volvió opaca durante su formación y en su etapa final de secado además de la adición de un compuesto lipídico el cual

incrementa su opacidad; ya que cambios en las propiedades de reflexión cuando se recubre el fruto puede provocar disminución en la luminosidad (Vargas, et al., 2006).

En cuanto a las fresas recubiertas con goma xantana se observa una disminución en los valores de luminosidad a partir del día 6; en las fresas recubiertas con 20% NLS se observa que los valores de luminosidad se mantienen constantes hasta, pero con valores menores a las fresas recubiertas con 10 % de NLS. Las fresas con 10 % de NLS mantuvieron su luminosidad por encima de 34 durante los primeros 15 días de almacenamiento; es decir que, a esta concentración las fresas tuvieron la mayor luminosidad haciendo que estas presentaran un color más atractivo y visiblemente con mayor frescura. Observándose finalmente que a mayor concentración de NLS la calidad de las fresas en cuanto a color no se ven mejoradas (Figura 26).



Figura 26. Color de fresas al día 10; a) Control, b) goma xantana, c) 10%NLS, d) 20%NLS y e) 30%NLS

Cuadro 14. ANOVA de luminosidad en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días de almacenamiento	39.238	9	4.360	1.263	0.290	2.153
Recubrimiento	88.556	4	22.139	6.413	0.001	2.634
Error	124.271	36	3.452			
Total	252.065	49				

En el cuadro 14 se observa que si hay efecto significativo por el tiempo de almacenamiento y el tipo y concentración de recubrimiento sobre la luminosidad de las fresas en almacenamiento, ya que aunque en los días de almacenamiento $p=0.290$ mayor que $p=.05$ el valor de F es menor que F crítico.

3.3.2.3 Cambios de Tono ($^{\circ}h$) Hue

El ángulo Hue ($^{\circ}h$) es considerado el atributo de color más importante en alimentos, principalmente para fines de comparación, en el caso del color rojo está representado por un ángulo Hue de 0° o bien 360° , lo que implica que modificaciones hacia 90° implican mezclas con colores amarillos y un ángulo hacia 270° representa colores púrpura (Pathare et al., 2013). La disminución del $^{\circ}H$ (color rojo) es causada por la aparición de oscurecimiento oxidativo, enzimático, de Maillard y de degradación del ácido ascórbico, provocando un oscurecimiento de la fresa, cambiando de color de rojo a marrón (Almenar, 2005).

En la Figura 27 se observan las variaciones en el ángulo Hue por efecto del tiempo de almacenamiento y tratamiento con los diferentes recubrimientos. Observándose que el tono de la fresas se ve afectado por la aplicación de recubrimientos al inicio; iniciando con valores más altos de tono las fresas

recubiertas con goma xantana 10 y 20 % de NLS; es decir las fresas presentan un color menos rojo y más claro.

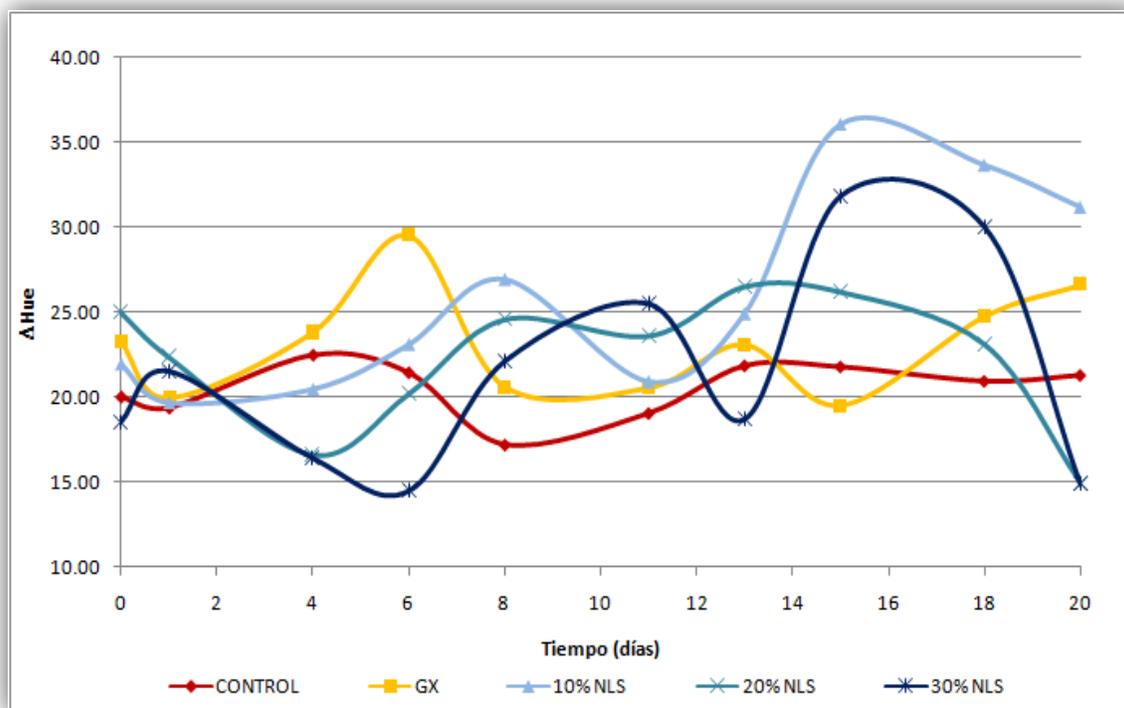


Figura 27. Cambios en tono ($^{\circ}h$) durante el almacenamiento

Se observa que fresas control mantienen los menores valores de tono durante el almacenamiento lo que implica que el color rojo es más intenso, atribuido al incremento en la tasa de respiración ocasionando procesos enzimáticos que conducen a la pérdida de la calidad de la fresas entre otras reacciones de obscurecimiento, (Vargas, et al., 2006).

En cuanto a las fresas recubiertas con goma xantana y recubiertas con 10% NLS se puede observar que presentan valores más altos, es decir el color rojo de las fresas se conservó por más tiempo y no disminuyó, siendo más aceptable visualmente como parámetro de calidad, para las fresas recubiertas con 10% NLS el valor mínimo fue de 20.87 al día 11 y para goma xantana de 19.49 al día 15.

Se observa que las fresas recubiertas con 20% y 30% NLS en los primeros días muestran una disminución en el tono (Hue) en las fresas con 20% NLS después de esta disminución se observó un aumento que se mantuvo hasta el día 13.

Cuadro 15. ANOVA de tono ($^{\circ}h$) en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días de almacenamiento	355.731	9	39.526	2.340	0.034	2.153
Recubrimiento	232.875	4	58.219	3.447	0.017	2.634
Error	607.980	36	16.888			
Total	1196.585	49				

En el cuadro 15 se observa que si existe un efecto significativo por el tiempo de almacenamiento y el tipo y concentración de recubrimiento sobre el valor de hue parámetro de calidad de fresas en almacenamiento.

3.3.3 Firmeza

Los frutos blandos como la fresa pierden rápidamente su firmeza durante la senescencia factor importante en la calidad del fruto. La firmeza de la fruta es una de las propiedades más importantes para determinar el grado de madurez y la calidad del fruto; que vienen determinadas por la turgencia celular y por las características y composición de la pared celular. Comenzando con el ablandamiento del fruto con la modificación de la pared celular primario debida a la solubilización y despolimerización de los polisacáridos que forman parte de ella; hidrólisis de almidón a azúcar y la degradación de la pectina (Cumplido, 2012).

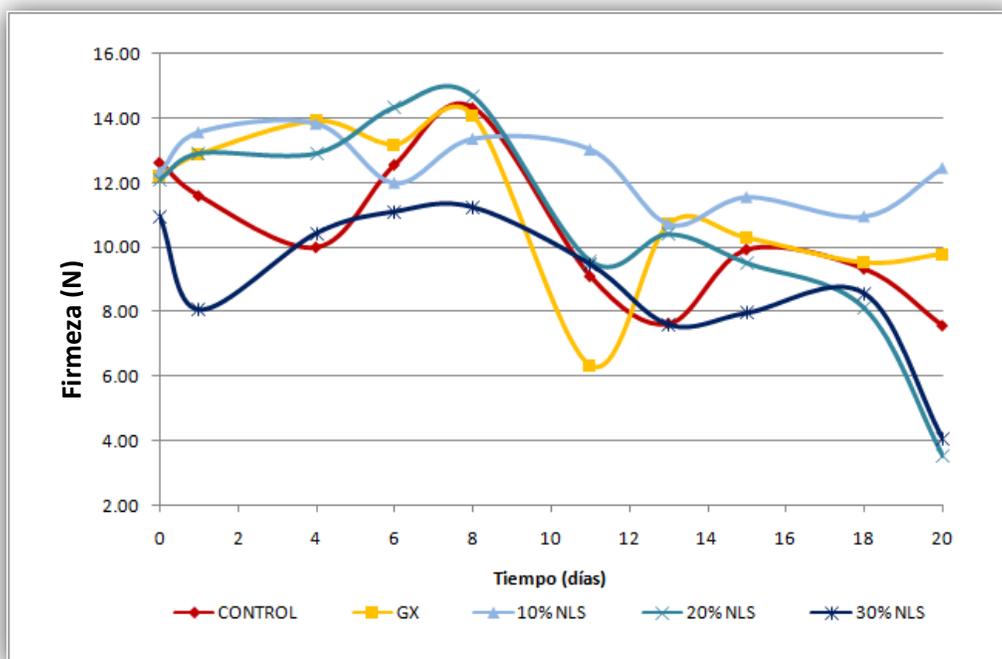


Figura 28. Cambios de textura durante el almacenamiento

En la Figura 28 se muestran las variaciones en firmeza mostradas por las fresas almacenadas en refrigeración durante 20 días. Observándose claramente que las muestras con 30 % de NLS fueron las que mostraron la menor firmeza. Además es importante resaltar que respecto a su firmeza inicial las fresas control disminuyeron por debajo de los mostrado por las muestras con 30 % de nanopartículas a partir del 5 día de almacenamiento para posteriormente y debido a la pérdida de humedad incrementar su dureza sin que por ello esto represente una mejoría en la calidad del producto, lo que puede ser asociado a su vez con los demás parámetros que han venido analizando en el presente trabajo.

Las muestras con goma xantana mantuvieron su textura durante los primeros 8 días de almacenamiento perdiendo firmeza hacia el décimo día de almacenamiento y continuar mostrando un fenómeno de endurecimiento por efecto de la pérdida de humedad hacia el final del almacenamiento. Aunque se mejoró la firmeza con el recubrimiento de goma xantana, este hidrocólido debido

a su presencia de grupos polares aumenta su afinidad al agua, siendo barreras deficientes al vapor de agua, lo que provocó los cambios asociados a la firmeza durante el almacenamiento del producto.

Es importante resaltar en la Figura 28 que tanto las muestras con 10 % como 20 % de NLS lograron mantener la firmeza de las fresas durante el almacenamiento, siendo las que se recubrieron con 10 % las que mantuvieron la textura del producto durante el periodo de almacenamiento lo que corrobora que existe un efecto benéfico el uso de goma xantana como polisacárido matriz y NLS en la elaboración de recubrimiento comestible para fresa logrando un retraso en la senescencia posiblemente por el desarrollo de una atmosfera interna adecuada evitando la pérdida de peso por lo tanto mantener mejor la firmeza.

Se observa que las fresa recubiertas con 10% NLS conservan la firmeza durante todo el almacenamiento, desde el primer día presentando un valor mínimo de 11N, y para el día 20 se observa un pequeño aumento en la firmeza posiblemente por la deshidratación total provocando un endurecimiento por parte del recubrimiento. Las fresas recubiertas con 20 % conservan su firmeza hasta el día 8, para después tener una disminución progresiva alcanzando de los menores valores llegando a 4N.

El uso de lípidos en recubrimientos comestibles proveen una barrera eficiente al vapor de agua ya que se sabe que estos en estado sólido presentan una estructura cristalina muy compacta o de alta densidad que dificulta la difusión del agua haciéndolos más impermeables, el contenido y tamaño de partícula del lípido tiene un efecto significativo en la permeabilidad. Aunque se ha encontrado que al aumentar el contenido de lípido las propiedades de barrera no mejoran, una posible razón a la mala dispersión del lípido en la matriz hidrocoloide a partir del umbral crítico (Cumplido, 2012).

3.4 Resultados del Objetivo particular 4

3.3.4 Índice de decaimiento

A diferencia de la mayoría de las frutas no climatéricas, la fresa cambia rápida y dramáticamente en su apariencia durante la senescencia, la cual está caracterizada por un ablandamiento, una síntesis de antocianinas y un incremento en los azúcares solubles (Alcántara, 2009).

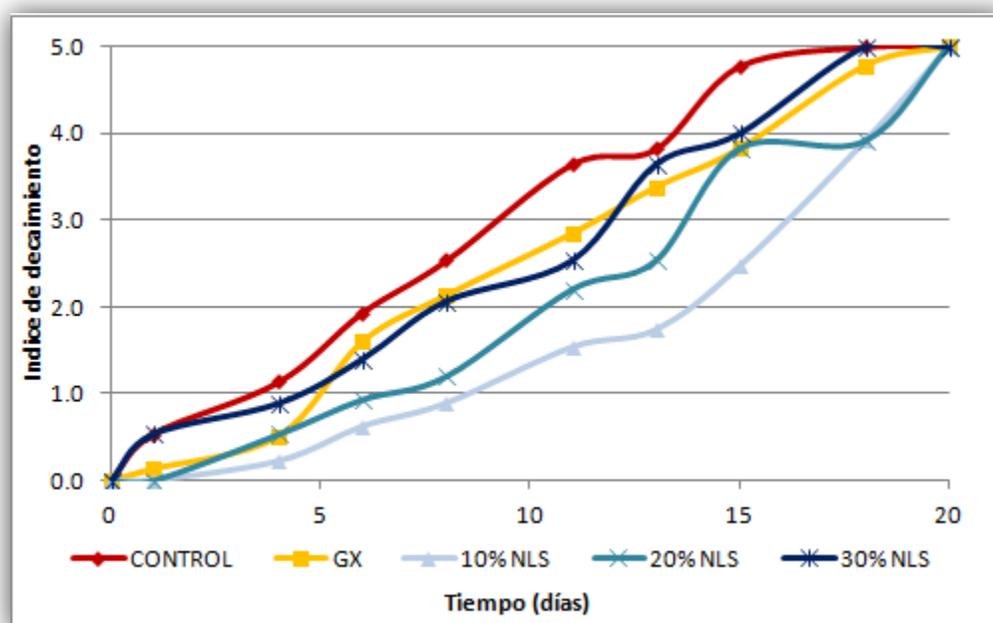


Figura 29. Índice de decaimiento durante el almacenamiento

En la Figura 29 se muestra el índice de decaimiento de las fresas almacenadas en refrigeración durante 20 días y que fue asociado con diversos parámetros visuales entre los que se incluyó la apariencia, desarrollo de hongo, pardeamiento y ablandamiento.

Se consideró decaimiento físico a los signos visibles como ablandamiento, oscurecimiento e incidencia fúngica. En la figura 29 se observa que las fresas con recubrimientos mostraron un retraso en el índice de decaimiento durante los días

de almacenamiento en comparación con las fresas sin recubrimiento. Lo que indica que los recubrimientos retardan la pérdida de calidad en las fresas. Sin embargo se observa que desde el primer día las fresas control, las fresas con goma xantana y las recubiertas con 30% muestran incidencia en el decaimiento esto quiere decir que por lo menos una fresa presento signos de ablandamiento y obscurecimiento, las cuales después del día 7, el 50% presentan signos de decaimiento.



Figura 30. Fresas con daño físico durante los días de almacenamiento

Cuadro 16. ANOVA del índice de decaimiento en función de la concentración y tiempo de almacenamiento.

Las fresas recubiertas con goma xantana mostraron un índice de decaimiento menor que las fresas control sin embargo su efectividad fue menor a las fresas recubiertas al 10 y 20% NLS.

En cuanto a las fresas recubiertas con 10% NLS en la figura 29 se observa que es a partir del día 3 que se presentan signos de decaimiento, reportándose claramente un índice de decaimiento más bajo durante todo el almacenamiento . Es hasta el día 13 que el 50% presenta daños.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días de almacenamiento	53591.012	9	5954.557	165.354	0.000	2.153
Recubrimiento	1526.321	4	381.580	10.596	0.000	2.634
Error	1296.395	36	36.011			
Total	56413.728	49				

Se observa que tanto por el tiempo de almacenamiento como el tipo y concentración del recubrimiento tienen efecto significativo sobre el índice de decaimiento, ya que a mayor concentración se observó la rápida senescencia de las fresas.

CONCLUSIONES

Se concluye que la aplicación de NLS en los recubrimientos comestibles presentaron un efecto favorable en la conservación de la fresa en refrigeración ya que logran retardar su senescencia conservando los parámetros de calidad y que a menor concentración de NLS en el recubrimiento se lograron mejorar las propiedades de transporte de gases y vapor de agua alargando así la vida útil.

La concentración de NLS que presentó una mejor funcionalidad en los recubrimientos fue de 10%, además que visualmente fue más aceptable debido a que a mayor concentración de NLS el fruto se tornó más opaco haciéndolo menos aceptable al consumidor por lo que a mayor concentración (30%) los atributos físicos de calidad se perdieron más rápidamente y la senescencia se aceleró al igual que en las fresas control y las recubiertas con goma xantana.

El uso de un recubrimiento con 10% de NLS registró la menor pérdida de peso manteniendo una mayor jugosidad, consecuentemente regulando las variaciones de sólidos solubles, acidez y pH en comparación a las fresas control durante el almacenamiento, ya que estas registraron valores dentro de los intervalos permitidos para una calidad óptima en fres, presentando la menor pérdida de firmeza hasta por 20 días, y reduciendo la tasa de respiración.

El índice de decaimiento de la fresa se vio retardado con el uso de recubrimientos comestibles con NLS, aunque a las concentraciones de 30 y 20% se redujo el índice de decaimiento se observa que a 10%NLS se registró el menor índice de decaimiento hasta por 20 días, mientras que las fresas recubiertas con goma xantana mostraron un mayor índice de decaimiento debido a su condición hidrofílica formando barreras pobres al vapor de agua

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, E. (2009). Bioavailability of nanoparticles in nutrient and nutraceutical delivery. *Current Opinion in Colloid and interface Science*, 14, 3-15.
- AGROLIBERTAD.(2010). www.agrolalibertad.gob Consultado el 15 de Abril del 2012.
- Ahmed, J., & Shafiur Rahman, M. (2012). Handbook of Food Process Desing (Vol. 2). *Wiley-Blackwell Publishing*. Reino Unido. p.p: 936-940.
- Alcántara Gonzáles, M. d. (2009). Estimación de los daños físicos y evaluacion de la calidad de la fresa durante el manejo poscosecha y el transporte simulado. Tesis de doctorado, Universidad Politécnica Valencia, España.
- Almenar Rosaleny, E. M. (2005). Envasado Activo de Fresas silvestres. Tesis de doctorado, Departamento de Bromatología, Universidad de Valencia, España.
- Amal, S.H., M.M, El-Mogy., H.E, Aboul-Anean., y B.W, Alsanius. (2010). Improving Strawberry Fruit Storability by Edible Coating as a Carrier of Thymol or Calcium Chloride. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 2(3), 88-97.
- AOAC. (1990). AOAC. Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemist 12^a edition. Washington D.C.
- Ayala-Zavala, J. F., Wang, S. Y., Wang, C. y., & Gonzáles-Aguilar, G. A. (2004). Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *LWT. Food Science and Technology* (37), 687–695.
- Azeredo, H. M., C.Mattosso, L. H., Wood, D., G. Williams, T., Avena Bustillos, R. J., y McHugh, T. (2009). Nanoncomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. *Journal of Food Science: Nanoscale Food Science, Engineering and Technology*, 74(5), 31-35.
- Sharma,B.R; Narres, Dhuldhoya, L.C.,, y Comerciante S.U. (2011, Marzo/Abril). La Goma Xantana en la Industrial Alimentaria. *Food Promotion Chronicle*, India 1(5), 27-30.
- Bartz, A. J., & Brecht, K. J. (2003). *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables* (Segunda Edición). E.U.U.

- Bood, K. G., & Zabetakis, I. (2002). The biosynthesis of strawberry flavor (II): biosynthetic and molecular biology studies. *Journal of Food Science: Reviews in Food Science*, 67(1), 1-8.
- Bunjes, H. (2005). Characterization of solid lipid nano- and microparticles. In C. Nastruzzi, *Lipospheres in Drug Targets and Delivery* Boca Raton: CRC Press pp. 41-66
- Chang, P. R., Jian, R., Yu, J., & Ma, X. (2010). Fabrication and characterisation of chitosan nanoparticles/plasticised-starch composites. *Food Chemistry*(120), 736-740.
- Chau, C.F., Huei Wu, S., & Chin Yen, G. (2007). The development of regulations for food nanotechnology. *Trends in Food Science and Technology*, 18, 269-280.
- CONAFRESA.(2008) <http://conafresa.com/> .Consultado el 20 de Septiembre de 2011.
- Cordenusi, B. A., Genovese, M. I., Oliveria do Nascimento, J. R., Aymoto Hassimotto, N. M., Dos Santos, R. J., & Lajolo Franco, M. (2005). Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars. *Food Chemistry* , 91, 113-121.
- Cumplido Laso, G. (2012). Functional Characterization of Strawberry (*Fragaria x ananassa*) Fruit Specific and Ripening-Related Genes Involved in Aroma and Anthochyanins Biosynthesis. Tesis de Doctorado, Universidad de Córdoba, España.
- De la Plaza, J. (2008). Aumento de la vida útil ("shelf-life") de fresa ecológica refrigerada, utilizando absorbedor de volátiles. Madrid, España.
- De Moura, M. R., Aouada, F. A., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., Krochta, J. M., & Mattoso, L. H. (2009). Improved barrier and mechanical properties of novel hydroxypropyl methylcellulose edible films with chitosan / tripolyphosphate nanoparticles. *Journal of Food Engineering* (92), 448-453.
- Del Pilar Pinzón, I. M., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). *Agronomía Colombiana* 1(25), 83-95.
- Ekambaram, P., Abdul Hasan Sathali, A., & Priyanka, K. (2010). Solid Lipid Nanoparticles: A Review. *Scientific Reviews and Chemical Communications*, 2(1), 80-102.

- Embuscado, M. E., y Huber, K. C. (2009). *Edibles Films and Coatings for Food Applications*. New York: Springer.
- F.A.O. (2011) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Frutos cítricos <http://www.fao.org/> Consultada el 20 Febrero 2012.
- Flores Rojas, K. U. (2009). Determinación no destructiva de parámetros de calidad de frutas y hortalizas mediante espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano. Tesis doctoral. Bromatología y Tecnología de los Alimentos, Universidad de Córdoba, España.
- Fonseca, C., A.R Oliveira, F., y K. Brecht, J. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. Horticultural Sciences Department.
- Galetto, C. D., Verdini, A. R., Zorrilla, S. E., y Rubiolo, C. A. (2010). Freezing of strawberries by immersion in CaCl₂ solutions. *Food Chemistry*(123), 243-248.
- García Betanzos, C. I. (2011). Cambios en la concentración de polifenoles presentes en la guayaba (psidium guajava) variedad media china, recubierta con nanopartículas lipídicas sólidas y almacenada en refrigeración. Tesis de Licenciatura. UNAM. México.
- Garzón S., M. L., Vázquez R., M. L., Villafuerte R., L., García F., B., y Hernández L., A. (2009, Abril-Junio). Efecto de los componentes de la formulación en las propiedades de las nanopartículas lipídicas sólidas. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 40(2), 26-40.
- Gross, K. C., Wang, C. Y., y Saltveit, M. (2004). The commercial storage of fruits, vegetables and florist nursery stocks. USDA.
- Guerrero Martínez, J. A. (2011). Reducción del índice de blancura sobre frutos post-almacenamiento refrigerado recubiertos con nanopartículas lipídicas sólidas en presencia de un ambiente húmedo. Tesis de Licenciatura. UNAM. México.
- Guilbert, S., y Biquet, B. (1996). *Food Packaging Technology* (1). USA: Publishes Inc.
- Harris, L. J., y Mitchan, E. J. (2007). *Strawberries: safe methods to store, preserve and enjoy. agriculture and natural resources* (Publicación:8256).

- Hassan Hany, M., y Naim El Gazayerly, O. (2011). Rice bran solid lipid nanoparticles : Preparation and characterization. *International Journal of Research in Drug Delivery*, 1(2), 6-9.
- Henriette, M. C., y C., L. E. (2009). Nanocomposite edible films. *nanoescale food science*, 74(5), 31,32,33.
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., y Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*(110), 428-435.
- Heurtault, B., Saulnier, P., Pech, B., Proust, J. E., y Benoit, J. P. (2003). Physico-chemical stability of colloidal lipid particles. *Biomaterial*, 24, 4283-4300.
- Kader, A. A. (1991). Quality and its maintenance in relation to the postharvest physiology of strawberry. *The Strawberry into the 21st p.p*: 145-152. Portland Oregon.
- Kader, A. A. (1992). *Biología y Tecnología de Postcosecha: Una Revisión General. Postharvest Technology of Horticultural Crops* (Publicación 3311), 311-324.
- Kader, A. A. (2002). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, Third edition. University of California, Agriculture and Natural Resources.
- Knee, M. (2002). *Fruit Quality and its Biological Basis*. Columbus, Ohio, U.S.A, Canada: CRC, Press.
- Llanos Navarro Tarazaga, M. (2007). Efecto de la composición de recubrimientos comestibles a base de hidroxipropilmetilcelulosa y cera de abeja en la calidad de ciruelas naranjas y mandarinas. Universidad Politécnica de Valencia, Tecnología de Alimentos, Valencia.
- Macias-Rodriguez, L., Quero-Gutiérrez, E., & G.-López, M. (2004). Caracterización de tres cultivares de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) por espectroscopía de infrarojo medio y quimiometría. *Agrociencia*, 38 (5), 487-495.
- Mäder, K., y Menhert, W. (2005). Solid lipid nanoparticles- concepts, procedures, and physicochemical aspects. In C. Nastruzzi, *Lipospheres in Drug Targets and Delivery Approaches, Methods and Applications* (pp. 1-21). CRC Press.

- Mukherjee, S., Ray, S., y Thakur, S. (2009). Solid lipid nanoparticles: A modern formulation approach in drug delivery system. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 71(4), 349-358.
- Muy Rangel, D., Siller Cepeda, J., Díaz Pérez, J., García Estrada, R., y Osuna Enciso, T. (2004). Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha en frutos de pepino de mesa y mango. *Fitotecnia*, 27(2), 157-165.
- Nunes Damaceno, M. (2007). Caracterización y procesado de kiwi y fresa cultivados por diferentes sistemas. Tesis Doctoral. Galicia, España. Universidad de Santiago de Compostela.
- Pedraza López, A. (1999). Caracterización de un ADNc de fresa específico de frutos maduros que presenta homología con péptido metionina sulfóxido reductasas. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. España.
- Pérez-Gago, M. B., del Río, M. A., y Rojas-Arguda, C. (2010). Recubrimientos Comestibles en Frutas y Hortalizas. *Postharvest Biology and Technology*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. España.
- Peters, R., Ten Dam, G., Bouwmeester, H., Helsper, H., Allmaier, G., vd Kammer, F., y Weigel, S.(2011). Identification and characterization of organic nanoparticles in food. *Trends in Analytical Chemistry*, 30(1), 100-112.
- Potencial agroindustrial de fresa en chihuahua.(2009) www.agroindustria/FRESA. Consultada el 13 Agosto 2011
- Quesada Gallo, J. A., Debeaufort, F., Callegarin, F., y Voilley, A. (2000). Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion-based edible films. *Journal of Membrane Science* (180), 37-46.
- Ramos-García, M. d., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L. L., Bosquez Molina, E., Alía Tejacal, I., y Estrada Carrillo, M. (2010). Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortifrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28(1), 44-57.
- Ranjan Sinha, V., Srivastava, S., Goel, H., y Jindal, V. (2010). Solid Lipid Nanoparticles (SLN'S)- Trends and implications in drug targeting. *International Journal of Advances in Pharmaceutical Science*, 1, 212-238.
- Rentfrow, G., Linville, M. L., Stahl, C. A., Olson, K. C., y Berg, E. P. (2004). The effects of the antioxidant lipoic acid beef longissimus bloom time. *Journal of Animal Science* (82), 3034-3037.

- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., y Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fres-cut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 20, 438-447.
- Saavedra H, N., y A. Algecira, N. (2011, Diciembre). Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Química, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Colombia
- SAGARPA.(2010). <http://www.siap.gob.mx>. Consultada el 28 de Julio del 2011.
- Salunkhe, D. K., y Desai, B. B. (1984). *Postharvest Biotechnology of Fruits* Vol. (1). CRC. Press.
- Saupe, A.,y Rades, T. (2006). Solid Lipid Nanoparticles. In nanocarrier technologies: frontiers of nanotherapy (p. 41). Netherlands: Springer.
- Sekhon, B. S.(2010) Food nanotechnology an overview. *Nanotechnology, Science and Applications*, 3, 1-15.
- Solarte, M. E., Hernández, M. S., Morales, A. L., Fernandez Trujillo, J. P., y Melgarejo, L. M. (2008). Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de guayaba durante la maduración. Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Química. Colombia
- Tiede, K., Boxall, A. B., Tear, S. P., Lewis, J., David, H., y Hasselov, M. (2008). Detection and characterization of engineered nanoparticles in food and the environment. *Food Additives and Contaminants Part A*, 25(7), 795-821.
- Triplett II, M. D. (2004). Enabling Solid Lipid Nanoparticle drug delivery technology by investigating improved production techniques. Tesis de doctorado, Universidad de Ohio. USA.
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., y Gonzáles Martínez, C. (2006). Quality of Cold-Storage Strawberries as Affected by Chitosan-Oleic acid *Edible Coatings. Postharvest Biology and Technology*, 41, 164-171.
- Villafuerte R., L., García F., B., Garzón S., M. d., Hernández L., A., y Vázquez R, M. L. (2008, Enero-Marzo). Nanopartículas Lipídicas Sólidas. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 39(001), 38-52.
- Vu, K. D., Hollingsworth, R. G., Leroux, E., Salmieri, S., y Lacroix, M. (2011). Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries. *Food Research International* (44), 198-203.

- Weiss, J., Takhistov, P., y Mc Clements, D. J. (2006). Functional Materials in Food Nanotechnology. *Concise Reviews/ Hypotheses in Food Science*, 71(9), 107-116.
- Yan, F., Ying, X., Dongfeng, W., Li, Z., Jipeng, S., Liping, S., y Bin, Z. (2009). Effect of alginate coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria × ananassa*) preservation quality. *Postharvest Biology and Technology*, 53, 84-90.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Gonzáles-Velázquez, A., Álvarez-Cárdenas, A., y Quintanar-Guerrero, D. (2011). Characterization of edible coatings based on solid lipid nanoparticles by scanning electronic microscopy and their influence on the shelf life of storage refrigerated guava. *Food Research International* 51(2) 946-953.