

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Efecto del recubrimiento comestible de goma xantana y aceite esencial de tomillo sobre la calidad postcosecha de chile habanero (*Capsicum chinense*)

Por:

MIRIAM MÉNDEZ PONCE

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TEGNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Efecto del recubrimiento comestible de goma xantana y aceite esencial de tomillo sobre la calidad postcosecha de chile habanero (*Capsicum chinense*)

Por:

MIRIAM MÉNDEZ PONCE

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Aprobada por el Comité Asesoría

Firma manuscrita en azul de Dra. Xochitl Ruelas Chacón.

Dra. Xochitl Ruelas Chacón
Asesora principal

Firma manuscrita en azul de Dra. Ileana Vera Reyes.

Dra. Ileana Vera Reyes
Coasesora Externa

Firma manuscrita en azul de M.C. Oscar Noé Rebullón Padilla.

M.C. Oscar Noé Rebullón Padilla
Coasesor

Firma manuscrita en azul de Dr. José Dueñez Alanís.

Dr. José Dueñez Alanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Efecto del recubrimiento comestible de goma xantana y aceite esencial de tomillo sobre la calidad postcosecha de chile habanero (*Capsicum chinense*)

Por:

MIRIAM MÉNDEZ PONCE

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

JURADO CALIFICADOR


Dra. Xochitl Ruelas Chacón
Presidente


Dra. Ileana Vera Reyes
Vocal


M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla
Vocal


Dr. José Daniel Corona Flores
Vocal Suplente

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2019

DEDICATORIA

A **Dios** por darme la oportunidad de tener vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Con todo mi cariño a mi familia y amigos, principalmente a mi **madre** que ha sido un pilar fundamental en mi formación como profesional, por brindarme la confianza, consejos y oportunidad para lograrlo, gracias madre por estar siempre en los momentos difíciles brindándome tu apoyo, amor paciencia y comprensión, sobre todo por ser la razón por la cual estoy aquí, por ser el motivo de querer superarme.

A mis hermanos:

Víctor y Ernesto, por todo su sacrificio y esfuerzo para darme siempre lo que necesite, por su apoyo incondicional moral y económico y sobre todo por brindarme toda su confianza, gracias infinitas por todo esto y más los quiero.

AGRADECIMIENTOS

A mi **Alma Mater**: la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme regalado los elementos más valiosos que deleitan y enaltecen el espíritu del hombre: conocimientos y sensibilidad.

A la **Dra. Xóchitl Ruelas Chacón** por darme la confianza y entregarme este proyecto, por el apoyo y la asesoría brindada.

A mi **madre** por haberme dado el mejor regalo (la vida) acompañada de amor, ternura y cariño en todo momento, quiero agradecerle por los valores y principios inculcados en mi formación, para logra con todo esto que camine por el camino de la verdad, humildad y el respeto.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE CUADROS	v
RESUMEN	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 Objetivo general	3
1.3 Objetivos específicos	3
1.4 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Recubrimientos comestibles	4
2.1.1 Antecedentes Históricos	4
2.1.2 Definición	5
2.1.3 Funciones	5
2.1.4 Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas	6
2.1.5 Requerimientos de aplicación	8
2.1.6 Ventajas y propiedades	8
2.1.7 Composición	9
2.1.8 Métodos de aplicación	11
2.1.9 Principales propiedades	12
2.1.10 Atributos de calidad en frutas y hortalizas	14
2.1.11 Evaluación de la efectividad	15
2.1.12 Tendencias	16
2.1.13 Aplicación de aceites esenciales en recubrimientos comestibles	17
2.2 Goma Xantana	18
2.2.1 Propiedades	18
2.2.2 Aplicación en alimentos	20
2.2.3 Uso en recubrimientos comestibles	20
2.3 Aceite de Tomillo	21

2.3.1	Descripción de la especie.....	21
2.3.2	Composición química.....	21
2.3.3	Actividad antiséptica.....	22
2.4	Chile Habanero.....	22
2.4.1	Características Morfológicas.....	23
2.4.2	Requerimientos climáticos.....	24
2.4.3	Requerimientos edáficos.....	24
2.4.4	Producción nacional.....	25
2.5	Zeolita.....	25
2.6	Perlita.....	26
2.7	Nanopartículas de Óxido de Zinc NPsZnO.....	26
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1	Elaboración del Recubrimiento Comestible.....	29
3.2	Preparación de la muestra.....	29
3.3	Aplicación del recubrimiento sobre los chiles habaneros.....	30
3.4	Evaluación del parámetro físico de calidad.....	30
3.4.1	Color.....	30
3.5	Pérdida de peso.....	31
3.6	Firmeza.....	31
3.7	Evaluación de parámetros químicos de calidad.....	32
3.7.1	Sólidos Solubles totales (SST).....	32
3.7.2	Acidez Titulable (AT).....	32
3.7.3	Vitamina C.....	33
3.7.4	Carotenoides.....	34
3.7.5	Tasa respiratoria.....	35
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1	Peso.....	37
4.2	Tasa respiratoria.....	39
4.3	Firmeza.....	42
4.4	Sólidos Solubles Totales (SST).....	44
4.5	Vitamina C.....	47
4.6	Acidez Titulable (AT).....	49
4.7	Carotenoides.....	51

4.8 Color.....	54
V. CONCLUSIÓN.....	59
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura polisacárido de la goma de xantana.....	19
Figura 2 Selección de los frutos.....	29
Figura 3 Colorímetro Minolta CR-400 (Minolta Corp, Ramsey, U.S.A).	30
Figura 4 Penetrómetro utilizado para la determinación de firmeza.....	31
Figura 5 Refractómetro ATAGO, Bellevue, WA, U.S.A.....	32
Figura 6 Equipo utilizado para la determinación de la tasa respiratoria.....	36
Figura 7 Comportamiento de la pérdida de peso de chile habanero en relación a los días de análisis.....	37
Figura 8 Comportamiento de la pérdida de peso del chile habanero por afecto a los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación del recubrimiento comestible a base de goma xantana.....	38
Figura 9 Comportamiento de la tasa de respiración del chile habanero en relación a los días de análisis.	40
Figura 10 Comportamiento de la tasa respiratoria del chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación del recubrimiento comestible a base de goma xantana.....	41
Figura 11 Comportamiento de la firmeza medida en Newton de chile habanero en relación al periodo de análisis.	42
Figura 12 Comportamiento de firmeza de chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación del recubrimiento comestible a base de goma xantana.	43
Figura 13 Comportamiento de los Sólidos Solubles Totales (SST) en °Brix de chile habanero en relación con los días de análisis.....	45
Figura 14 Comportamiento de los Solidos Solubles Totales (SST) de chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación del recubrimiento comestible a base de goma xantana.	46
Figura 15 Comportamiento de la vitamina C en chile habanero en relación con los días de análisis.	47
Figura 16 Comportamiento de la vitamina C en chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación del recubrimiento comestible a base de goma xantana.....	48
Figura 17 Comportamiento de la acidez del chile habanero en relación con los días de análisis.	49
Figura 18 Comportamiento de la acidez en chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación del recubrimiento comestible a base de goma de xantana.....	51

Figura 19 Comportamiento de los carotenoides en chile habanero durante los días de análisis.	52
Figura 20 Comportamiento de los carotenoides en chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación de recubrimiento comestible a base de goma xantana.....	54
Figura 21 Comparación de los parámetros de color de chile habanero en relación a los días de análisis a) parámetro L* b) parámetro a* y c) parámetro b*.....	56
Figura 22 Comparación de los parámetros de color de chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación de recubrimiento comestible a base goma xantana, a) parámetro L*, b) parámetro a* y c) parámetro b*.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Función de recubrimientos comestibles en frutos hortofrutícolas	7
Cuadro 2 Propiedades mecánicas de películas comestibles	13
Cuadro 3 Aceites esenciales con efecto fungicida contra algunas especies de hongos postcosecha importantes en la producción hortofrutícola.....	18
Cuadro 4 Tratamientos proporcionados por el CIQA	28

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el efecto de un Recubrimiento Comestible (RC) de goma de xantana y aceite esencial de tomillo sobre la calidad postcosecha de chile habanero (*Capsicum chinense*). Las muestras de chile habanero fueron obtenidas del centro de Investigación de Química Aplicada (CIQA) donde anteriormente se les aplicaron diversos tratamientos T1: 100 % Zeolita (Z), T2:100 % Perlita (P), T3: 50 % Z + 50 % P – 1000 % nanopartículas de óxido de Zinc (NPsZnO), T4: 100 % Z – 1000 % NPsZnO y T5: 100% P – 1000% NPsZnO. Al obtener las muestras fueron lavadas y desinfectadas para poder aplicar el recubrimiento dejando como testigo el T1.

Los parámetros evaluados a las muestras de chile habanero fueron pérdida de peso, tasa respiratoria, firmeza, sólidos solubles totales (SST), vitamina C, acidez titulable (AT), carotenoides y los parámetros de color (L^* , a^* y b^*).

Los análisis estadísticos se corrieron en un programa llamado Minitab 17.0 Statistical Software comparando las medias por Fisher ($P=0.05$), mostrando que, si hubo diferencia significativa en la pérdida de peso, en cuanto a la tasa respiratoria. Los tratamientos T2 y T4 fueron los que presentaron valores más bajos de CO_2 , los chiles habaneros con mejor firmeza fueron los del T2, las muestras del T1 (testigo) fueron las que presentaron las concentraciones más elevadas de SST y de vitamina C, los ejemplares de los tratamientos T1 y T5 fueron los que presentaron un grado de acidez mayor en comparación con los demás, la concentración de carotenoides fue más elevada para los chiles de los tratamientos T1 y T4, los parámetros de color

indicaron que las muestras de T4 fueron las que presentaron mejores valores en cuanto a los factores L^* , a^* y b^* .

Palabras claves: Recubrimiento comestible, goma xantana, aceite de tomillo, *Capsicum chinense*.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la población demanda alimentos que conserven sus propiedades sensoriales, que sean naturales, frescos, nutricionales, sin aditivos químicos, que no hayan sido llevados a procesos químicos donde pudieran haber cambiado sus propiedades nutricionales, que estén listos para su consumo inmediato y sobre todo que sean seguros. Es por ello que la rama de la alimentación se ha dado a la tarea de crear nuevas tecnologías de conservación para los alimentos principalmente de origen agrícola, creando lo que hoy en día se llama recubrimiento o película comestible que no es más que una envoltura delgada proveniente de polímeros biodegradables.

Una película o recubrimiento comestible se puede definir como aquella capa delgada formada sobre un alimento (lo que implica que debe ser pre-formada) que proviene de un material comestible, cuyo propósito es impedir que haya pérdida de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aromas, lípidos, pigmentos, entre otros componentes que forman parte del alimento. Sirven como transporte para aditivos alimentarios y mejoran la calidad de las propiedades fisicoquímicas del alimento (Krochta, 1997).

Estos materiales biodegradables son generalmente formados por biopolímeros como carbohidratos, proteínas y lípidos. Se han llevado a cabo estudios que han demostrado que películas desarrolladas a base de carbohidratos presentan buenas propiedades mecánicas y de barrera contra compuestos de baja polaridad, pero son ineficientes para evitar la pérdida de humedad. Por otro lado, tenemos a los

recubrimientos elaborados por proteínas que han presentado excelentes propiedades de barrera para el oxígeno, dióxido de carbono y algunos compuestos aromáticos, pero sus propiedades mecánicas no son tan buenas (León-Leyva, 2018).

Es por ello que la aplicación de RC es una alternativa para la conservación de productos hortofrutícolas debido a que tienen la capacidad de ayudar a aumentar la calidad y vida de anaquel de los alimentos durante su almacenamiento al evitar el intercambio de gases.

El chile habanero (*Capsicum chinense*) es ampliamente consumido en México, principalmente en los estados de Yucatán, Quintana Roo, Campeche y Tabasco, siendo Yucatán el que ocupa el primer lugar en cuando a la producción de esta especie (Alcántar-González, 2012).

1.1 Justificación

Debido a la contaminación que se genera a causa de los empaques plásticos que son utilizados para la preservación de los alimentos, se han implementado nuevas tecnologías de envasado como son los recubrimientos comestibles también llamados películas comestibles con la finalidad de disminuir la contaminación al medio ambiente ya que estos tipos de envases son biodegradables y naturales, se utilizan en alimentos mínimamente procesados principalmente en productos hortofrutícola porque ayudan a preservar las características organolépticas y nutricionales de los productos, sin necesidad de contaminar el medio ambiente con empaques plásticos.

1.2 Objetivo general

Evaluar el efecto del recubrimiento funcional de goma xantana y aceite esencial de tomillo sobre parámetros de calidad postcosecha del chile habanero durante 25 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

1.3 Objetivos específicos

- Utilizar la formulación de un RC con mejores propiedades de permeabilidad y solubilidad de un trabajo de investigación anterior.
- Analizar color, pérdida de peso, firmeza, vitamina C, acidez titulable, sólidos solubles totales, carotenoides y respiración de los chiles habaneros recubiertos y almacenados a temperatura ambiente.

1.4 Hipótesis

La aplicación del recubrimiento elaborado a partir de goma xantana y aceite esencial de tomillo en chile habanero, es una alternativa para alargar la vida de anaquel y conservar sus características de calidad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Recubrimientos comestibles

2.1.1 Antecedentes Históricos

Hoy en día la industria alimentaria busca alternativas para mejorar la calidad de productos hortofrutícolas, ya que, su pérdida postcosecha a nivel mundial es mayor al 20% esto a causa de un deterioro microbiológico y fisiológico en dichos productos (Valdés, 2015), debido a ello se han implementado tecnologías alternativas como son los Recubrimientos Comestibles (RC) o Películas Comestibles (PC) que sirven como envase natural para estos productos, con la finalidad de seguir conservando las características físicas, alargar la vida de anaquel, evitar daños mecánicos y con esto prevenir el deterioro del producto (Aguilar, 2015).

Los RC aseguran la calidad del producto, satisfaciendo así las necesidades de los consumidores, debido a que la calidad del producto que se obtiene después de la aplicación de este empaque no se ve afectada, además cabe mencionar que los RC actúan en el alimento como barrera para retrasar el proceso de senescencia (Villegas, 2016).

La primera vez que se utilizó un RC fue en los años veinte al ser aplicado sobre cítricos con el objetivo de demorar la evaporación de agua, que se presenta cuando están almacenados (Gontard, 1996).

2.1.2 Definición

Un RC se puede definir como un material de polímero utilizado para cubrir la superficie de un alimento y que puede ser consumido por el ser humano, ya que están formados por biopolímeros como proteínas, polisacáridos y lípidos, todos estos con la capacidad de formar películas (Montalvo, 2012).

También se puede definir a un RC como unas varias capas que cubren la parte externa de un alimento, y a una PC se le define como una o varias capas del mismo material que el RC pero que es preformada antes de ser aplicada sobre el alimento. De esta manera se puede decir que la diferencia entre un RC y una PC, es que un RC es aplicado en forma líquida normalmente por inmersión y formándose la película directamente en el alimento, mientras que una PC es preformada de manera sólida antes de ser aplicada sobre el producto (De Ancos, 2015).

2.1.3 Funciones

Un RC tiene como principal función conservar la calidad del producto al que se le ha aplicado, retrasando el proceso de senescencia a causa de ciertos mecanismos que actúan sobre el alimento, logrando con esto un recubrimiento comestible con las siguientes características (Chafer, 2008):

- Evita que el alimento gane o pierda humedad, lo que le provocaría cambios en la textura del mismo.
- Retarda cambios químicos que pudieran modificar el producto.
- Retarda el transporte de gases (O_2 y CO_2).

- Mejorar las propiedades mecánicas de los alimentos.
- Mantiene y mejora la perdurabilidad microbiológica.

Según Figueroa (2011), menciona que un recubrimiento comestible es una capa que cubre al alimento y que su principal función es la de preservar la calidad del mismo, protegiéndolo de acciones físicas, químicas, mecánicas y microbiológicas que pudieran afectar el estado del producto.

Regalado (2018), menciona que los recubrimientos comestibles son utilizados en la industria alimentaria como barreras para la humedad, los gases y nutrientes sobre el producto al que se le aplica, así mismo menciona que ayudan a la disminución del deterioro del alimento y a evitar el proceso de oxidación.

Cuando se aplica un RC se forma una atmósfera modificada sobre el producto, con la finalidad de prevenir cambios en la actividad antioxidante, el color, la firmeza, la calidad sensorial, y prevención de la producción de gases y compuestos volátiles (Quintero, 2010).

2.1.4 Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas

Es de suma importancia asegurar la calidad y seguridad de productos hortofrutícolas, es por esto, que la industria alimentaria ha trabajado en ello aplicando tratamientos térmicos a dichos productos, pero este método ha afectado en cierta medida la calidad de estos alimentos, provocando cambios nutricionales y sensoriales, afectando su calidad (Villegas, 2016).

Un RC al interactuar con productos hortofrutícolas forma una barrera contra los gases, esto permite que cambie la atmosfera interna del producto evitando daños físicos y retardando su proceso de senescencia (Valdés, 2015).

A continuación, se presenta un cuadro que muestra la función que tienen ciertos RC al ser aplicados en algunos productos hortofrutícolas:

Cuadro 1 Función de recubrimientos comestibles en frutos hortofrutícolas

Aplicación	RC	Función	Referencia
Mango	Qitosano Almidón de papa y yuca	Reducción en la pérdida de agua, propiedades sensoriales y se inhibió el crecimiento de microorganismos. Mantuvo la apariencia, color, firmeza y reducción de respiración.	(Chien et al., 2007)
Zanahoria	Cera de abeja, goma (Guar y Xanthan), aceite de canola, tintura de propóleo	Inhibición del crecimiento de mohos y levaduras. Reducción de pérdida de peso y color.	(Navarro et al., 2011)
Fresa	Mucílago de cactus Qitosano, almidón con aceite esencial de canola	Mantuvo la textura, color y atributos sensoriales. Mantuvo el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante. Retrasó el desarrollo microbiano	(Del-Valle et al., 2005) (López et al., 2012)
Pera	Metilcelulosa	Reducción del pardeamiento.	(Olivaset al, 2003)
Tomate	Cera de laurel, aceite de oliva, Tween 80, propilenglicol, glicerol, glucosa	Buenas características funcionales y mecánicas. Reducción de la pérdida de peso, una mayor firmeza y buena apariencia	Andrade et al., 2014

Fuente: Villarino, 2015.

2.1.5 Requerimientos de aplicación

Para la aplicación de un recubrimiento comestible sobre algún alimento, es necesario que el empaque tenga la capacidad de secarse rápidamente, que no produzca espuma y que se pueda remover fácilmente (Fernández, 2017). Un RC debe provenir de polímeros biodegradables, no debe ser tóxico, y debe ayudar a mejorar la calidad del alimento (Valdés, 2015).

Para la aprobación de un RC se debe comprobar que este es seguro para su consumo, que es aceptable por los consumidores, que aporta un valor nutrimental extra al alimento y lo más importante que sea legal (Velázquez-Moreira, 2014).

2.1.6 Ventajas y propiedades

Los recubrimientos comestibles deben contar con propiedades que permitan controlar los cambios que ocurren en el alimento, dichas propiedades a su vez brindan ventajas que ayudan al manejo del producto. A continuación, se enlistan algunas propiedades y ventajas (Valdés, 2015).

- No contener agentes tóxicos.
- Para su elaboración no se debe requerir de tecnología tan avanzada.
- Actuar como defensor contra acciones físicas, químicas y mecánicas.
- Contar con propiedades sensoriales.
- Alargar la vida de anaquel del producto al que se le aplique, protegiéndolo de la acción de microorganismos.

2.1.7 Composición

La materia prima utilizada para la elaboración de un recubrimiento comestible debe ser de origen natural y estos materiales deben ser biodegradables y seguros para el entorno (Chafer, 2008). Principalmente se utilizan proteínas, polisacáridos y lípidos, todos ellos con propiedades que benefician al alimento (Velázquez-Moreira, 2014). Los RC a base de proteínas poseen una excelente capacidad de barrera para el O₂ mejorando las propiedades mecánicas del alimento, mediante la adición de un agente plastificante (Osorio, 2016), las principales proteínas utilizadas para elaborar empaques comestibles son la gelatina, el colágeno, la soya y el maíz, las dos últimas de origen vegetal (Domínguez-Courtney, 2012). En algunos recubrimientos comestibles, se les agregan aditivos con alguna función, esto permite mejorar la efectividad y calidad del mismo (De Ancos, 2015).

Los compuestos que se incluyen en la formulación de los recubrimientos y películas comestibles son muy variados y generalmente se agrupan por categorías:

- **Hidrocoloides:** este grupo está formado por polisacáridos de origen marino (algas), vegetal y en algunos casos de origen microbiano (De Ancos, 2015). En la industria alimentaria los polisacáridos de origen vegetal que más se utilizan son la celulosa y el almidón, en los de origen marino los más utilizados son los alginatos, las carrageninas y el agar. En cuanto a los provenientes de microorganismos se tienen la goma xantana, el dextrano y la goma gellan (Domínguez-Courtney, 2012).

Los recubrimientos comestibles formados en este grupo tienen la capacidad de retardar el transporte de gases (O₂ y CO₂) y cuentan con excelentes

propiedades mecánicas, sin embargo, muestran una insuficiente capacidad de barrera frente a la humedad (Figuerola, 2011).

- **Lípidos:** se utilizan lípidos formados por compuestos hidrofóbicos no poliméricos que tienen poca capacidad de formar películas pero que sirven como barrera para ganar o perder humedad (Mora, 2016), su falta de cohesividad e integridad estructural provoca que las películas formadas con estos compuestos tengan malas propiedades mecánicas y sean fáciles de romper (Valdés, 2015), sin embargo, son muy eficientes para reducir la deshidratación de los alimentos, además pueden llegar a mejorar el brillo y el sabor. No obstante, para lograr contrarrestar esto es posible fabricar recubrimientos mixtos, en los que se incluyan en sus formulaciones sustancias hidrocoloides y aditivos como plastificantes o emulsificantes logrando así un complemento que además de mejorar la elasticidad del recubrimiento se generará una mayor resistencia a la humedad y barrera para los gases (Vázquez-Briones, 2013).

Entre las fuentes lipídicas más utilizadas se encuentran las ceras animales y vegetales como la cera de abeja y de carnauba respectivamente, y los aceites esenciales que son considerados una alternativa a los fungicidas químicos para controlar cierto tipo de hongos (De Ancos, 2015).

- **Compuesto o composites:** en este grupo se encuentran compuestos formados por los dos grupos anteriores, es decir, formulaciones mixtas de hidrocoloides y lípidos (De Ancos, 2015). Los alimentos a los que les aplica este tipo de RC, poseen propiedades de barrera contra el vapor, mayor

estabilidad de la película sobre el alimento y buena adhesión del recubrimiento (Quintero, 2010).

Además de los compuestos mencionados anteriormente a algunos RC también se les agregan agentes antioxidantes, nutrimentos adicionales, compuestos antimicrobianos entre otros, esto con el objetivo de mejorar la integridad mecánica, el valor nutrimental, la calidad sensorial, el valor nutrimental y de esta manera aumentar la aceptabilidad del producto (Velázquez-Moreira, 2014).

2.1.8 Métodos de aplicación

La aplicación de los recubrimientos comestibles ha ido cambiando conforme pasan los años, hoy en día existen formas para ser utilizados sobre los alimentos. Los métodos más importantes para su aplicación son:

- **Por inmersión:** este método es el más utilizado para la aplicación de recubrimientos comestibles, aquí el alimento debe ser lavado y secado, posteriormente a este paso se introduce de manera directa en el recubrimiento que ha sido previamente preparado, se deja desaguar el material sobrante y finalmente se pone a secar el producto (Fernández, 2017). Este método es más adecuado para los productos con superficies porosas, ya que este es un método uniforme y por lo tanto es capaz de cubrir toda la envoltura del alimento (Vázquez-Briones, 2013).
- **Por aspersión:** es utilizado en frutas con superficies sin poros y uniformes, en este método las capas que se les pone a los alimentos son más delgadas, se realiza mediante presión que se le aplica a la solución, consiguiendo de

esta manera diferentes tamaños de partículas que salen por aspersores y que caen sobre el producto formando capas uniformes utilizando menos recubrimiento (Fernández, 2017).

2.1.9 Principales propiedades

Propiedades de barrera

La característica funcional más importante de los recubrimientos comestibles es la resistencia a la migración de humedad, es decir, proporcionar una barrera contra la pérdida de agua en la superficie del producto o contra la interacción de gases principalmente oxígeno y dióxido de carbono, evitando que se produzcan ciertos cambios en el alimento como oxidación, cambios en su tejido y olor, entre otros. Las características de los materiales que se utilicen para la formación del recubrimiento definirán las propiedades de barrera que tendrá (Montalvo, 2012). Esta propiedad depende de la humedad relativa que presenta el alimento, la mayoría de los polímeros provenientes de fuentes naturales cuentan con una excelente propiedad de barrera debido a que son semi-permeables a los gases (Jiménez-Martínez, 2018).

Propiedades mecánicas

Estas propiedades permiten saber el tiempo de vida del RC y la calidad que se le puede brindar al alimento (Montalvo, 2012), estas propiedades evalúan la solidez del empaque, es decir la fuerza que se requiere para romperlo, dichas características dependen de las propiedades del material que se utilicen para su elaboración (Regalado, 2018). Estas propiedades marcan la habilidad que tiene el

recubrimiento para formar capas estables que sean capaces de adaptarse a los cambios químicos y físicos que ocurren en el producto (Andrade, 2014).

La fuerza tensil, la elongación, y la fuerza de corte de un alimento son propiedades mecánicas de un recubrimiento comestible. La fuerza tensil es la capacidad de mantener unidos los tejidos antes de que estos se rompan. La elongación es la flexibilidad que tiene la película antes de ser quebrantada, a mayor flexibilidad mayor es la elongación del recubrimiento. En cuanto a la fuerza de corte, se refiere a la intensidad que se tiene que aplicar sobre la película para que este llegue separarse (Domínguez-Courtney, 2012).

En el siguiente cuadro se muestran las propiedades mecánicas de algunas películas comestibles.

Cuadro 2 Propiedades mecánicas de películas comestibles

Material de empaque	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación de ruptura (%)	Referencia
Mucílago de <i>Opuntia ficus-indica</i>	0.95	14.99	Gheribi et al. (2018)
Proteína de ajonjolí (3%)	0.98	-----	Sharma & Sing (2016)
Goma de Cassia	12.69	7.90	Cao et al. (2018)
Gelatina de piel de pollo	1.54	48.33	Soo & Sarbon (2018)
Colágeno hidrolizado-mantequilla de cacao	2.17	22.08	Fadini et al. (2013)
Quitosano	18.25	39.82	Mohammadi et al. (2018)
Quitosano-gelatina membrana de cáscara de huevo	20.77	25.92	Mohammadi et al. (2018)
Mucílago de semilla de <i>Dracocephalum moldavica</i>	22.72	18.53	Beigomi et al. (2018)

Fuente: Regalado, 2018.

Propiedades de solubilidad

Esta propiedad permite determinar el uso que se le dará al recubrimiento comestible, es decir las propiedades que se quiere que tenga el empaque, con esta propiedad se puede definir la materia prima que se utilizará para la elaboración del RC (Montalvo, 2012).

2.1.10 Atributos de calidad en frutas y hortalizas

Dichos productos hortofrutícolas presentan cambios fisicoquímicos significativos después de la cosecha, estos cambios para el consumidor son los que determinan la calidad del producto. Algunos de estos cambios que se consideran importantes son:

- **Color:** Este es el cambio más claro que el consumidor es capaz de apreciar, puesto que para muchos es el atributo que determina si el fruto este maduro o no, este cambio se debe en muchas ocasiones al desgaste de clorofila que se presenta en el alimento, así mismo, a la síntesis de pigmentos (carotenoides y antocianinas) (Figuroa, 2011). El color en productos hortofrutícolas es de gran importancia ya que indica la oxidación y el proceso enzimático que tiene el alimento (Ruelas-Chacón, 2013).
- **Índice de madurez:** Este parámetro de evaluación para la calidad de las frutas y hortalizas, nos marca los cambios que ocurren en la composición química, el color, la textura, así mismo nos indica el nivel de azúcar que presentan estos alimentos debido a los cambios químicos que ocurren en los carbohidratos que contienen (Figuroa, 2011).

- **Pérdida de peso:** Una vez cosechado el alimento se presentan diversos procesos químicos, como la pérdida de humedad, que se lleva a cabo mediante la difusión de vapor de agua. La función del recubrimiento es poner una barrera que evite en mayor medida la evaporación del agua (Figuroa, 2011).
- **Tasa respiratoria:** El proceso de deterioro de los alimentos que han sido cosechados, es proporcional a la tasa de respiración, una vez cosechada la fruta u hortaliza sigue siendo metabólicamente activa y recibe la energía para el proceso de respiración aeróbica (Figuroa, 2011).
- **Firmeza:** La firmeza en un producto hortofrutícola es la dureza que presenta el fruto, se ha definido como la fuerza que se requiere para que el producto pueda ser deformado. Este parámetro de calidad es muy importante para estos productos ya que se toma en cuenta desde su cosecha hasta que es puesto en manos del consumidor (Ruíz-Áltisent, 1996).

2.1.11 Evaluación de la efectividad

Para llevar a cabo la determinación de la efectividad de un recubrimiento comestible que es aplicado en frutas y hortalizas el indicador más importante es la calidad de los parámetros de los productos cubiertos. Generalmente los parámetros a evaluar son la tasa de respiración, pérdida de agua, textura, color, cuenta microbiana, contenido de sólidos solubles, pH, acidez titulable, entre otros (Ruelas-Chacón, 2013).

2.1.12 Tendencias

Debido a la invasión que existe en el planeta de empaques hechos a base de materiales plásticos, la industria agroalimentaria se ha dado a la tarea de buscar alternativas para sustituirlos, se busca que los nuevos empaques provengan de fuentes que sean renovables, biodegradables y de origen natural, además de que proporcionen beneficios al alimento permitiendo una adecuada modificación de los gases internos y modificando sus propiedades sensoriales. Es aquí donde entran los empaques comestibles también llamados recubrimientos o películas comestibles, con la finalidad de brindar al consumidor un envasado natural y al mismo tiempo una idea novedosa que permite conservar las propiedades del alimento (Fernández, 2015). Con lo mencionado anteriormente los RC son tecnología prometedora y segura para el medio ambiente, debido a la gran reducción de plástico que se genera al sustituir dicho material por envolturas como son los biopolímeros biodegradables y naturales, es por ello que su uso se ha intensificado a través de los últimos años (Fernández, 2017).

Actualmente, las principales líneas de investigación van dirigidas a la formación de las matrices poliméricas e incorporación de nutrientes o ingredientes bioactivos por medio del uso de nanotecnologías como la microencapsulación y la formación de nanopelículas mediante el sistema de multicapas. La microencapsulación de compuestos bioactivos tales como probióticos, prebióticos, enzimas, ácidos grasos omega 3, entre otros, favorece su protección frente a situaciones extremas de calor o humedad que comprometen su estabilidad y facilita su liberación (De Ancos, 2015).

Una investigación realizada con hidrocoloides (proteínas y carbohidratos), que ha sido probada en esferas de puré para evitar la migración de aceite y agua, dio como resultado una disminución en la pérdida de humedad en un 14.9, 21.9, y 31.1 %, lo mismo sucedió en el consumo de aceite reportando una disminución de 59.0, 61.4 y 83.6 %, los hidrocoloides utilizados fueron zeína, hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y metilcelulosa (MC) (Quintero, 2010).

Las nuevas investigaciones buscan la creación de recubrimientos o películas a base de hidrocoloides provenientes de fuentes naturales, con propiedades para liberar diferentes compuestos, así mismo con capacidades para trasladar sustancias beneficiosas y estos a su vez deben ser analizados en cuanto a su capacidad microbiana, adhesión, cohesión, humectabilidad y sus propiedades de barrera, mecánicas y sensoriales (Fernández, 2017).

2.1.13 Aplicación de aceites esenciales en recubrimientos comestibles

En los últimos años se han estado utilizando aceites esenciales como aditivos en formulaciones de recubrimientos comestibles entre los que se incluyen los de plantas aromáticas (tomillo, orégano, romero, hierba limón, etc); especies (canela, vainilla) así como también sus principios activos tales como carnosol, timol, carvacrol, citral, cinamaldehído, vainillina, etc. La incorporación de estos agentes antimicrobiales, se ha probado en varios productos alimenticios como carne, frutas y vegetales, productos de panadería; en los cuales se ha encontrado la inhibición del desarrollo de hongos, bacterias y levaduras (Bautista-Baños, 2010).

El siguiente cuadro muestra el resultado de utilizar aceites esenciales en productos hortofrutícolas.

Cuadro 3 Aceites esenciales con efecto fungicida contra algunas especies de hongos postcosecha importantes en la producción hortofrutícola

Patógeno	Aceite	Concentración	Resultados	Referencias
<i>Alternaria citri</i>	<i>Thymus vulgaris L.</i>	250mg L ⁻¹	Inhibición del crecimiento micelial	<i>Arras y Usai, 2001</i>
<i>Botrytis cinérea</i>	<i>Cymbopogon martini</i> <i>Rox. Zyzygiun aromaticum L.</i>	7800 mg L ⁻¹	Inhibición de la germinación	<i>Wilson, 1997</i>
<i>Penicillium digitatum</i> <i>P. italicum P. citrinum</i>	<i>T. vulgaris L., C. sinensis L. Poncirus trifoliata L</i>	250,275,246 mg L ⁻¹	Inhibición del crecimiento micelial	<i>Arras y Usai, 2001</i> <i>Caccioni et al., 1998</i>
<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Anethum graveolens L.</i> <i>Citrus aurantifolia</i> <i>Christm</i>	6 mg L ⁻¹ 300 mg L ⁻¹	Inhibición del crecimiento micelial	<i>Singh et al., 2005</i> <i>Mishra y Dubey, 1994</i>
<i>Aspergillus flavus</i> <i>A. niger</i>	<i>Mentha viridis L.</i> <i>Ageratum conyzoides L.</i>	300 mg L ⁻¹	Retarda el crecimiento	<i>Yang y Clausen, 2007</i>

Fuente: Bautista-Baño, 2010.

2.2 Goma Xantana

2.2.1 Propiedades

La goma xantana también llamada goma xantano es un polisacárido de alto peso molecular que se obtiene por la fermentación de carbohidratos por la bacteria *Xanthomonas Campestris*. En la estructura de este polisacárido tiene una cadena principal muy semejante a la de la celulosa, donde se encuentran grupos de oligosacáridos unidos en ramificaciones, como se muestra en la siguiente figura (Bello, 2000).

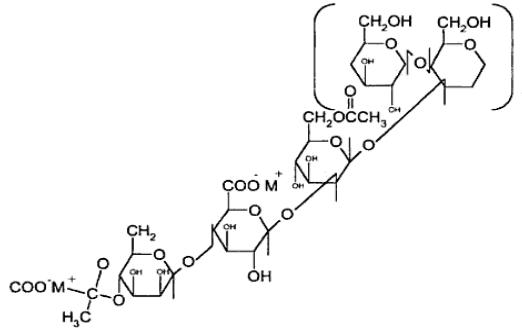


Figura 1 Estructura polisacárido de la goma de xantana.

La goma Xantana presenta estabilidad para suspensiones y emulsiones, además son muy poco sensibles a las variaciones de pH, entre un pH de 1 a 13 y la viscosidad es prácticamente constante, así mismo es resistente a la degradación enzimática (Ospina, 2012).

Este polisacárido puede ser 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. Además, sus soluciones tienen viscosidades uniformes en rangos de temperatura desde la congelación hasta cerca del punto de ebullición, con una estabilidad térmica excelente. Las soluciones de goma xantana son altamente pseudoplásticas, lo cual mejora las características sensoriales (sensación bucal, liberación de sabor, etc.) del producto final y garantiza un alto grado de mezclado, bombeado y vertido (Angioloni, 2015).

2.2.2 Aplicación en alimentos

Entre los múltiples usos de la goma xantana se encuentran los siguientes:

- Estabilizante para helados y sorbetes.
- Es empleada para dar firmeza, cuerpo y mejorar la liberación del sabor en quesos untables.
- Brinda cuerpo a las bebidas y jugos de frutas. Cuando estas bebidas contienen partículas de pulpa de fruta, la goma xantana ayuda a mantener la suspensión dándole mejor apariencia.
- Mejora la consistencia, el cuerpo y reduce la sinéresis en cremas ácidas.
- En la industria de panificación, se usa principalmente para aumentar la retención de agua durante el horneado y el almacenamiento extendiendo así la vida útil de los productos de panadería y de las masas refrigeradas.
- Proporciona estabilidad en las emulsiones de aderezos y salsas por largos periodos de tiempo, debido a las propiedades reológicas que imparte, los aderezos se pueden bombear fácilmente durante la operación de llenado y posteriormente facilita el flujo de la botella durante su uso (Angioloni, 2015).

2.2.3 Uso en recubrimientos comestibles

Debido a que las formulaciones de los recubrimientos comestibles elaborados a base de polisacáridos principalmente pectinas, gomas, quitosano y los derivados de celulosa, presentan muy buenas propiedades de barrera; actualmente la goma guar y xantana se utilizan como componente en estas formulaciones, actuando como ligantes de agua, estabilizadores y formadores de viscosidad. La goma xantana al

dispersarse fácilmente en agua, provoca que se obtenga alta consistencia rápidamente tanto en sistemas calientes como fríos, lo cual es una ventaja en la elaboración de las cubiertas para alimentos (Morales, 2017).

2.3 Aceite de Tomillo

2.3.1 Descripción de la especie

Hoy en día se realizan estudios que buscan entrar compuestos que puedan ser utilizados como agentes terapéuticos y de esta manera poder tener un poco de control sobre las enfermedades que son derivadas de los microorganismos, es aquí donde los aceites esenciales toman un papel muy importante (Barrera, 2013).

Thymus vulgaris L. es un subarbusto de la familia *Lamiaceae*, perenne y aromática, rica en aceite esencial, cuyo principal componente es el timol. Es una planta introducida de Europa y en la medicina tradicional peruana se conoce como 'tomillo'; en términos generales, es una planta aromática utilizada con fines medicinales y como condimentos en casi todo el mundo, su aceite esencial es utilizado como antiséptico ya que ha mostrado actividad antibacteriana contra *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes* entre otras (Rojas, 2015).

2.3.2 Composición química

En la composición de la planta de tomillo destacan el aceite esencial (1.0-2.5%), saponinas triterpenoides, flavonoides (derivados apigenina y lutenol), ácido ursólico (1.5%) y caféico, taninos, resinas y sustancias amargas.

El aceite esencial (1,0-2,5%) está constituido principalmente por fenoles monoterpénicos, como timol (40%), p-cimeno (15-50%), alcanfor (11- 16%), carvacrol, cimol borneol, camfeno, limonelo, linalol, α - y β -, citral, mirceno, α -felandreno, 1,8-cineol, geraniol, β -cariofileno, δ -cadineno, β -terpineol, terpinoleno, verbenona y otros constituyentes volátiles (López, 2006).

2.3.3 Actividad antiséptica

En el siglo XIX y primera mitad del XX, cuando todavía no se conocían los antibióticos, el tomillo era considerado como un eficaz desinfectante. Actualmente, está comprobado que sus componentes fenólicos, timol y carvacrol, tienen actividad antibacteriana frente a gérmenes Gram positivos y Gram negativos. Este efecto se debe a su acción sobre la membrana bacteriana. Además, también tienen acción antifúngica (eficaz contra *Candida albicans*) y antivírica (López, 2006).

El aceite esencial de tomillo ha sido reconocido por su capacidad para reducir la actividad microbiana y fúngica, es por ello que puede ser utilizado para la elaboración de algunos recubrimientos comestibles (García, 2009).

2.4 Chile Habanero

El chile habanero corresponde a la especie *Capsicum chinense* es originario de Suramérica, pero también es conocido en el sureste de México formando parte de la gastronomía mexicana, se produce principalmente en Yucatán alcanzado hasta un 80% de la producción total del país. Esta especie es de los de mayor pungencia en el mundo, debido a su alto contenido de capsaicina que va de 200,000 a 500,000 unidades “Scoville”, gracias a esta característica se ha incremento en su demanda

en el mercado nacional e internacional, debido a que es utilizada para elaborar medicina, pinturas, cosméticos, gases lacrimógenos, entre otros (SAGARPA, 2014).

2.4.1 Características Morfológicas

El chile habanero se clasifica como de clase Angiosperma, subclase Dicotiledóneas, orden Tubifloral, familia Solanácea, genero *Capsicum* y especie *Chinense* Jacq.

Esta planta se produce de manera anual, llega a tener hasta 12 meses de vida todo depende del manejo que reciba durante su producción, su altura oscila entre los 75 y 120 cm, presenta tallo grueso, recto y robusto, sus hojas son sencillas, lisas, dispersas, punteadas, su color depende de la variedad presentándose en diferentes tonalidades verdes, su tipo de raíz es pivotante, llega a alcanzar hasta 1.20 m de profundidad siempre y cuando tenga un sistema radicular bien desarrollado.

La floración de esta especie comienza cuando la planta se ramifica, presentándose flores solas o en grupos en cada una de sus axilas, su color es blanco, su tamaño aproximado es de 1.5 a 2.5 cm de diámetro, tienen entre 5 y 7 pétalos.

El fruto es una baya poco carnosa y hueca; tiene entre tres y cuatro lóbulos, las semillas se alojan en las placentas y son lisas y pequeñas, con testa de color café claro a oscuro y su periodo de germinación varía entre ocho y quince días (Ruíz-Lau, 2011).

2.4.2 Requerimientos climáticos

La especie de chile habanero, se desarrolla de mejor manera en zonas templadas, subtropicales y tropicales, con altitudes desde los 0 hasta los 2700 msnm, con precipitaciones de 600 a 1250 mm, cabe mencionar que estos datos pueden variar dependiendo del tipo de variedad que se pretenda cultivar y la capacidad que esta tenga para adaptarse, para cultivar este tipo de chile se necesitan temperaturas de 17 a 29°C, mencionando que a temperaturas menores de 15° y mayores de 30°C impiden un buen desarrollo de la planta. Este cultivo de chile necesita precipitaciones pluviales que oscilen entre 750 y 1000mm, para asegurar que se obtendrán altos rendimientos (SAGARPA, 2008).

2.4.3 Requerimientos edáficos

El tipo de suelo más conveniente para una buena producción de chile habanero, es aquel que tenga buen drenaje y buena retención de humedad. Si se quiere lograr que la especie tenga una mayor disponibilidad de nutrientes es necesario que el suelo este a un pH de 6.5 a 7.0, en caso de que su pH sea diferente a estos valores se necesitara tener conocimientos acerca del uso de fertilizantes en suelos. Si se quiere tener altos rendimientos de este cultivo se tiene que usar láminas de riego de 750 a 1000 mm (SAGARPA, 2014).

Los terrenos planos son los más favorables para este tipo de cultivo, con pendientes inferiores al 5%, pero también pueden producirse en suelos con textura de ligera a media y una profundidad moderada, de 35 a 50 cm (Ocampo, 2014).

2.4.4 Producción nacional

La producción de chile habanero en México se ha vuelto muy común, debido a su gran consumo principalmente en Yucatán, Quintana Roo, Campeche y Tabasco, siendo Yucatán el primer productor (Alcántar-González, 2011).

Esta especie ya es conocida como “Chile Habanero de la Península de Yucatán”, su producción ha ido aumentando en los últimos años. Para el año 2012 se obtuvo una producción nacional de 913.84, donde el 93% fue cosechado y de este el 92.3% de la producción nacional se obtuvo del Sureste del país (Ocampo, 2014).

2.5 Zeolita

Las zeolitas son aluminosilicatos de metales alcalinos y no alcalinos terroso, formada por Óxido de Aluminio (Al_2O_3) y Sílice (SiO_2), Sodio (Na) y Calcio (Ca) (Curi, 2006). Estos minerales presentan una alta capacidad para intercambiar cationes, es por ello que se han utilizado para la reducción del paso de nitrato (NO_3) a las zonas saturadas en suelos arenosos (Daza-Torres, 2016).

Las zeolitas se encargan de mejorar las propiedades químicas y físicas del suelo, esto ayuda a que se presente un mejor desarrollo de las plantas desde sus raíces, al usar este mineral se puede disminuir la aplicación de fertilizantes evitando en menor medida la pérdida por volatilización y lixiviación que generan dichos fertilizantes. Este elemento contribuye a mejorar la humedad de la capa superior de la tierra del suelo facilitando la corrida del agua a través de éste, también tiene la capacidad de disminuir la densidad del terreno y de esta manera se consigue aumentar la cantidad de producción del cultivo que se desea, lo mejor de todo es

que logra reducir el impacto ecológico que se genera por el uso de químicos. Cabe mencionar que la zeolita no es usada como fertilizante, sino como un agregado que mejora la eficiencia de los fertilizantes (Díaz, 2009).

2.6 Perlita

La perlita es un silicato de origen volcánico, que al ser expuesto a temperaturas mayores a los 800 °C aumenta hasta 20 veces su tamaño original. Este mineral se utiliza como sustitución de arena, la principal ventaja es su peso ya que es muy ligero aproximadamente 95g/l, en comparación con el peso de la arena que sobrepasa los 1600 g/l.

En el uso de productos hortofrutícolas las partículas que se recomiendan son de 1,58 a 3,18 mm, en estos cultivos las perlas retienen de tres a diez veces su peso en agua, además aumenta el potencial del suelo, no poseen intercambio iónico ni nutrientes minerales (Alvarado-Solano, 2002).

2.7 Nanopartículas de Óxido de Zinc NPsZnO

El óxido de zinc (ZnO) es un material semiconductor que se encuentra en la naturaleza en el mineral llamado Zincita, del cual se puede obtener con técnicas sencillas y a bajo coste. En la actualidad es uno de los semiconductores más estudiados tanto en el desarrollo de nuevas técnicas de crecimiento que aporten nuevas propiedades físicas, como en el estudio de posibles aplicaciones tecnológicas que puedan llevarse a cabo.

El óxido de zinc tiene un gran interés tecnológico en estructuras de baja dimensionalidad. Se pueden obtener múltiples nanoestructuras en forma de nanopartículas, nanohilos, nanofibras (Lin, 2004).

Las NPsZnO son de gran importancia dentro de la industria de los cosméticos, textiles, medicina, electrónica y en la producción de alimentos. Se ha demostrado que estas nanopartículas disminuyen el riesgo de padecer enfermedades gracias a su actividad antifúngica contra *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus*, *Fusarium culmorum* y *Fusarium oxysporum*. El efecto antifúngico se debe a que las NPsZnO provocan malformaciones de hifas causando la muerte de los hongos. También se ha señalado que estas NPs benefician el crecimiento de las plantas mejorando la calidad de los frutos al aumentar las concentraciones de azúcares, cabe mencionar que algunas investigaciones han obtenido reportes opuestos a lo mencionado anteriormente. Por otra parte, las NPs pueden ser utilizadas como nanofertilizantes, nanofungicidas y antimicrobiales para la protección de los cultivos.

Las aplicaciones de la nanotecnología (NT) en los sistemas agrícolas son diversas, ofreciendo el potencial para mejorar significativamente su productividad y eficiencia al reducir costos y cantidades de agroquímicos aplicados (Méndez-Argüello, 2007)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Las determinaciones experimentales se llevaron a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el laboratorio 1 del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Los chiles que se usaron para la aplicación del recubrimiento fueron proporcionados por el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) y a las plantas se les administraron los tratamientos de fertilización que se muestran en el cuadro 4, dónde Z corresponde a zeolita, P corresponde a perlita y NPsZnO a nanopartículas de óxido de zinc.

Cuadro 4 Tratamientos proporcionados por el CIQA

Tratamientos	%Sustrato-%NPsZnO		
	Z	P	NPs
Tratamiento 1 (T1)	100	0	0
Tratamiento 2 (T2)	0	100	0
Tratamiento 3 (T3)	50	50	0
Tratamiento 4 (T4)	100	0	1000
Tratamiento 5 (T5)	0	100	1000

El recubrimiento fue aplicado a todos los tratamientos dejando como testigo el tratamiento 1, es decir sin la aplicación del mismo.

3.1 Elaboración del Recubrimiento Comestible

En una parrilla de calentamiento en agitación a 400 rpm se colocaron 300 mL de agua destilada a una temperatura de 50 a 60 °C, posteriormente se agregó 1% de aceite de tomillo hasta homogenización; enseguida se añadió 1% de goma Xantana, manteniendo en agitación hasta obtener una dilución sin grumos, por último, se dejó enfriar para después ser aplicado.

3.2 Preparación de la muestra

Los chiles habaneros fueron obtenidos del Centro Investigación de Química Aplicada (CIQA), seleccionados con base a su grado de madurez y de acuerdo a las similitudes de color, forma, tamaño y ausencia de daños externos (figura 2). Las muestras se lavaron y desinfectaron con una solución de hipoclorito a 200 ppm, posteriormente, dejándolos secar con ventilación durante 24 horas.



Figura 2 Selección de los frutos.

3.3 Aplicación del recubrimiento sobre los chiles habaneros

La técnica de aplicación fue la de inmersión. Los chiles fueron sumergidos en la solución de goma xantana y aceite de tomillo por un periodo de tiempo de 1 minuto; posteriormente se dejaron secar a temperatura ambiente y con ventilación, mencionando que el tratamiento T1 se utilizó como testigo en cuanto a la aplicación del recubrimiento y este fue solo aplicado al resto de los tratamientos.

3.4 Evaluación del parámetro físico de calidad

3.4.1 Color

La evaluación del color en las muestras con y sin recubrimiento se realizó con un colorímetro Minolta CR-400 (figura 3) sobre los chiles enteros, tomando tres lecturas de cada uno sobre el eje ecuatorial de la corteza del fruto y por último obteniendo un promedio.

El colorímetro utilizado proporciona tres resultados o escalas de color las cuales son; **L*** (recibe el nombre de luminosidad o claridad es el eje que va de negro a blanco y que puede tomar valores entre 0 y 100) y las coordenadas cromáticas **a*** (+a indica rojo, -a indica verde) y **b*** (+b indica amarillo, -b indica azul).



Figura 3 Colorímetro Minolta CR-400 (Minolta Corp, Ramsey, U.S.A).

3.5 Pérdida de peso

Se evaluó la pérdida de peso de los tratamientos con y sin recubrimiento (tres frutos de cada grupo) durante su almacenamiento en los días 0, 5, 10,15 y 20 a una temperatura de entre 20 y 25°C; esta determinación se realizó con una báscula electrónica Rhino (BABOL-100G).

3.6 Firmeza

La medición de la firmeza se efectuó con un penetrómetro (figura 4), utilizando una puntilla de 10 mm de ancho. Se determinó en la zona ecuatorial del fruto con cascara, tomando tres lecturas de cada muestra expresando los resultados en Newtons (N). La firmeza se estudió con un penetrómetro digital Force Gauge (PCE-PTR 200, PCE group, Albacete, Castilla de la mancha España).



Figura 4 Penetrómetro utilizado para la determinación de firmeza.

3.7 Evaluación de parámetros químicos de calidad

3.7.1 Sólidos Solubles totales (SST)

La determinación de los sólidos solubles totales presentes en los chiles con y sin recubrimiento se realizó mediante la trituración de éstos a través de un mortero, obteniendo el jugo y colocando una gota hasta cubrir totalmente el orificio del refractómetro manual, el cual fue calibrado con agua destilada; las lecturas se tomaron por triplicado y fueron reportadas como °Brix o %Brix. El equipo utilizado para llevar a cabo esta evaluación fue un refractómetro ATAGO (Figura 5).



Figura 5 Refractómetro ATAGO, Bellevue, WA, U.S.A.

3.7.2 Acidez Titulable (AT)

El análisis de la acidez titulable se llevó a cabo mediante la obtención del jugo de los tratamientos con y sin recubrimiento, el jugo obtenido fue filtrado a través de un embudo de filtración, tomando una muestra de 10 mL y colocándolos en un matraz Erlenmeyer de 125 mL repitiendo esta operación 3 veces), enseguida se añadieron 4 gotas de fenolftaleína al 1 % como indicador (a cada una de las muestras) y finalmente se tituló la muestra con Hidróxido de Sodio 0.01N hasta el punto de viraje (rosa).

El porcentaje de ácido presente en la muestra se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ácido} = \frac{V * N * \text{Meq} * 100}{\text{Alícuota valorada}}$$

Dónde:

V= Volumen de NaOH gastado en ml

N= Normalidad del NaOH

Meq= miliequivalente del ácido que se encuentra en mayor proporción de la muestra: 0.064 para el ácido cítrico, 0.067 para el ácido málico y 0.075 para el ácido tartárico.

Alícuota valorada= peso en g o volumen de la muestra en mL

3.7.3 Vitamina C

Para la determinación de vitamina C, se pesaron 20 gramos de muestra, los cuales fueron colocados en un mortero, se adicionaron 10 mL de HCl al 2% y se trituraron hasta obtener una consistencia de papilla, enseguida, se agregaron 100 mL de agua destilada y se homogenizaron; posteriormente, se filtró el contenido a través de una gasa en un matraz Erlenmeyer de 125 mL midiendo el volumen exacto, del filtrado se tomó una alícuota de 10 mL que fueron colocados en un matraz Erlenmeyer de 125 mL; se realizó una titulación de la alícuota con el reactivo de Thielmann hasta la aparición de una coloración rosa, registrando el volumen utilizado de éste.

Finalmente, el contenido de vitamina c presente en las muestras se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \text{ de vitamina C} = \frac{VRT * 0.088 * VT * 100}{VA * P}$$

Dónde:

VRT= Volumen gastado en mL del reactivo de Thielman

0.088= miligramos de ácido ascórbico equivalentes a 1 mL de reactivo de Thielman.

VT=Volumen Total en mL el filtrado de vitamina "C" en HCl

VA= Volumen en mL de la alícuota valorada

P= Peso de muestra en gramos

3.7.4 Carotenoides

Se pesaron 10 gramos de muestra finamente picada y fueron colocados en un vaso de precipitado de 250mL; enseguida se adicionó acetona hasta cubrir la muestra, tapándola con papel aluminio y dejándola reposar por 24 horas en refrigeración. Después del tiempo transcurrido se transfirió a un mortero y fue triturada; el líquido fue filtrado a través de una gasa a un embudo de separación. La muestra fue lavada con 20 mL de acetona 4 veces más, recuperando el líquido en el embudo, se agregaron 20 mL de éter de petróleo y se mezclaron. Posteriormente se añadieron 100 mL de agua destilada homogenizando suavemente y dejándolos reposar hasta la separación de dos capas, al separarse las dos capas se desechó la inferior y se conservó el extracto con carotenoides; los pasos desde el lavado con acetona se repiten dos veces más. Luego se añadieron 10 mL de NaOH al 40% y se mezclaron. A continuación, se lavó con porciones de 50 mL de agua destilada hasta eliminar completamente este reactivo, utilizando como indicador fenolftaleína y desechando la capa inferior. Después se recuperó el líquido en una probeta completamente seca y se registró el volumen. Por último, se colocó un volumen aproximado de 3 mL de

la muestra en una celdilla para espectrofotómetro, leyendo absorbancia a una longitud de onda de 454 nm, utilizando como blanco éter de petróleo.

El contenido de carotenoides totales se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{mg}{100g} = \frac{Abs_{454} * 3.857 * V * 100}{P}$$

Dónde:

Abs= Absorbancia a una longitud de onda de 454 nm

V= Volumen medio en la probeta en mL

P= Peso de la muestra en gr

3.7.5 Tasa respiratoria

Para llevar a cabo esta determinación se pesaron y midieron los frutos, a los cuales también se les calculó el volumen, para esto se registró su radio, diámetro y la longitud.

La tasa respiratoria se estudió periódicamente en un sistema cerrado herméticamente; los frutos se colocaron por tratamiento en frascos de vidrio con capacidad de un litro a una temperatura ambiente ($20 \pm 2^{\circ}\text{C}$). Las muestras de gas se tomaron del frasco con la inserción de una aguja especial a través de un septum colocado en el centro de la tapa del frasco, con un intervalo de 15 minutos durante unos 60 minutos. Se utilizó un equipo PBI Dansensor gas analyzer, Checkmate II, Denmark (figura 6).



Figura 6 Equipo utilizado para la determinación de la tasa respiratoria.

El contenido de CO₂ se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad de respiracion} = (\text{pendiente } \%CO_2) * \frac{V}{w * t}$$

Dónde:

%CO₂= pendiente de los porcentajes de CO₂

W= peso de la muestra en g

t= tiempo (h)

V= volumen libre del frasco en mL

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron fueron analizados en un programa estadístico llamado Minitab 17.0 Statistical Software. Para la interpretación de los datos se tomaron en cuenta dos factores el primero fue los tratamientos que se les aplicó a los chiles durante su producción, el segundo fue los días que duraron las muestras de chiles habaneros con el recubrimiento, por último, como respuestas se utilizaron los parámetros analizados en esta investigación (SST, AT, color, °Brix, carotenoides, firmeza y peso) y se trató con un intervalo de confianza (IC) de 95%.

4.1 Peso

De los análisis de varianza realizados y la comparación de medias por Fisher ($P=0.05$) se obtuvo que al pasar los 20 días hubo una pérdida significativa del peso en el fruto de chile habanero. En la figura 7 se puede apreciar diferencias estadísticas de la pérdida de peso desde los primeros 5 días de tratamiento hasta los 20 días que duró la evaluación de las muestras.

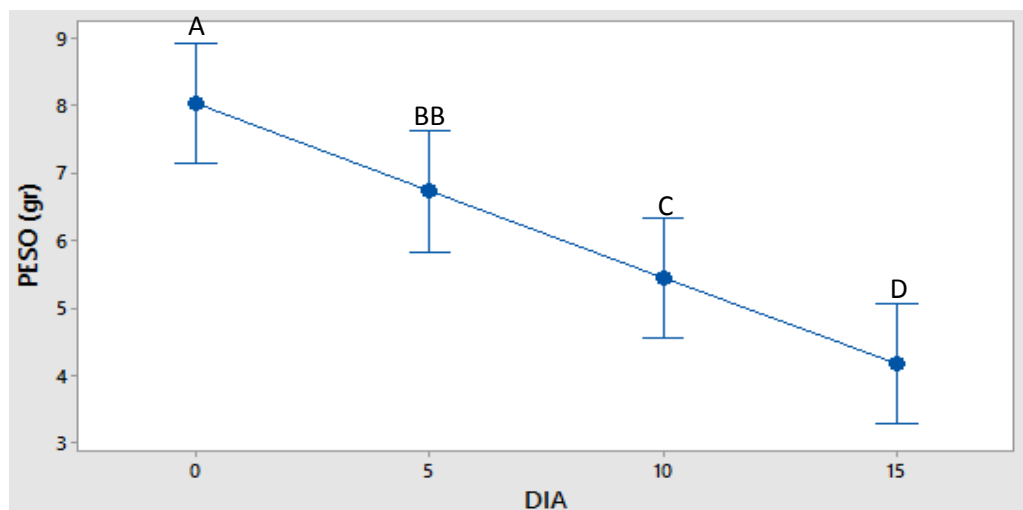


Figura 7 Comportamiento de la pérdida de peso de chile habanero en relación a los días de análisis.

La pérdida de peso en relación con los tratamientos que se utilizaron muestra que el T1 fue el que generó menor pérdida, esto se le puede atribuir a que a estas muestras se les aplicó 100% de zeolita y como se mencionó anteriormente esta es capaz de retener una gran cantidad de humedad en suelo lo que pudo beneficiar a la planta a través de su raíz (Díaz, 2009). Lo mismo pasa con el tratamiento 4 que presenta valores muy cercanos al T1. Los tratamientos 2 y 3 no presentaron diferencia significativa en ellos y fueron los tuvieron mayor pérdida de peso.

En la figura 8 se observa el comportamiento de la pérdida de peso del chile habanero en relación a los tratamientos utilizados y al recubrimiento que se le aplicó, en este caso la muestra testigo en cuanto al recubrimiento fue la que generó menor pérdida.

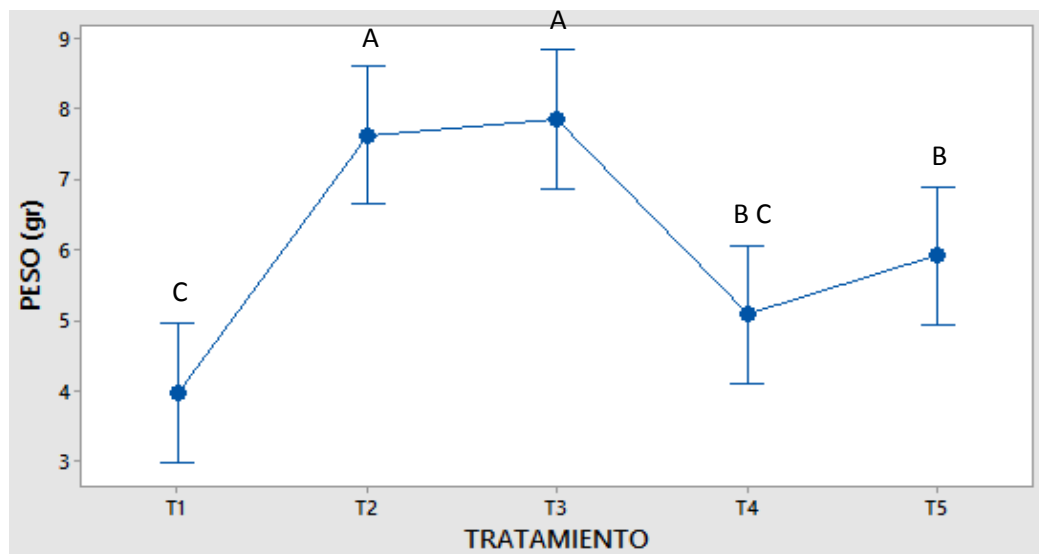


Figura 8 Comportamiento de la pérdida de peso del chile habanero por afecto a los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación del recubrimiento comestible a base de goma xantana.

Figuroa (2011) menciona que una vez cosechado el producto este tiende a presentar diversos cambios químicos, uno de ellos es la pérdida de humedad, que se da cuando se genera una evaporación del agua, probando con esto que el producto presente un menor peso a través del tiempo. También menciona que una de las principales funciones de un recubrimiento comestible es poner una barrera en el alimento que impida la evaporación del agua evitando con esto que exista una disminución del peso.

La deshidratación, la transpiración y la evaporación del agua en productos hortofrutícolas después de su cosecha, son los principales parámetros que afectan la calidad de los mismos. Se han hecho estudios donde se observa que cuando un producto pierde de 6 a 7 % de su peso original, se ven afectados otros aspectos del fruto como su firmeza, su apariencia y por consecuencia la vida de anaquel (Coop, 2011).

Con lo mencionado anteriormente se concluye que la aplicación del recubrimiento se pudo ver afectada por los tratamientos que llevaron los chiles habaneros durante su producción ya que la muestra testigo fue la que preservó en mayor cantidad el peso.

4.2 Tasa respiratoria

Del análisis de varianza realizado y la comparación de las medias por Fisher ($P=0.05$) se obtuvo que el primer día se pudo apreciar una buena tasa de respiración para los productos, al cabo de 5 días este parámetro bajó de manera considerable, al llevar al día 10 se presentó un aumento de este parámetro y al finalizar el periodo de investigación volvió a presentar un valor muy bajo de respiración.

En la figura 9 se aprecia lo mencionado anteriormente y se puede decir que el día 0 y el día 10 no presentan diferencia significativa lo mismo ocurre con los días 5 y 15.

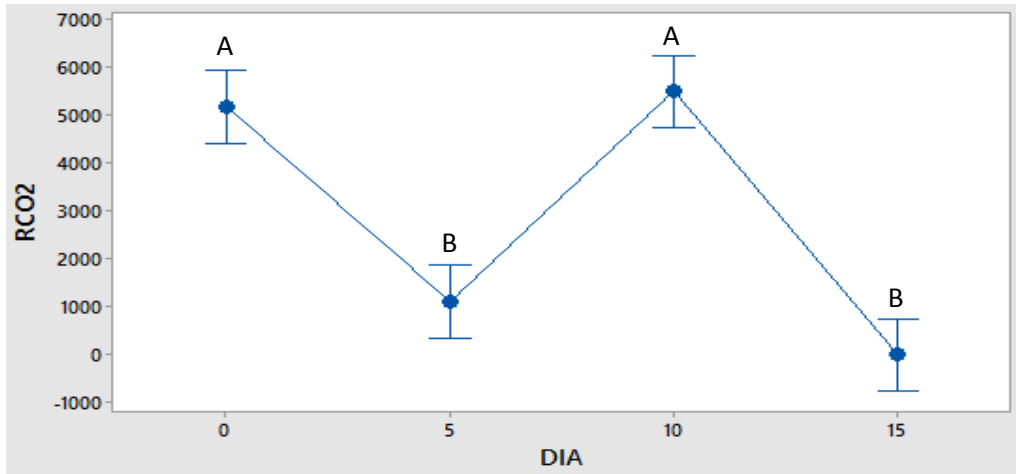


Figura 9 Comportamiento de la tasa de respiración del chile habanero en relación a los días de análisis.

En la figura 10 se aprecia el comportamiento que tuvo la tasa de respiración del chile habanero en relación a los tratamientos que se expuso durante su producción y al recubrimiento aplicado después de su cosecha. Como se puede observar el T1 (100% Z y muestra testigo en cuanto al recubrimiento) fue el que obtuvo el valor más elevado en cuanto a la tasa de respiración no presentando diferencia significativa con el T4 (100% Z - 1000 % NPsZnO + recubrimiento), los tratamientos T2 (100% P + recubrimiento) y T5 (100% P - 1000% NPsZnO + recubrimiento) fueron los que mostraron una tasa de respiración más baja formando parte del mismo grupo en cuanto a este parámetro, además se puede decir que estos últimos tratamientos redujeron la tasa de respiración comparada con la muestra testigo.

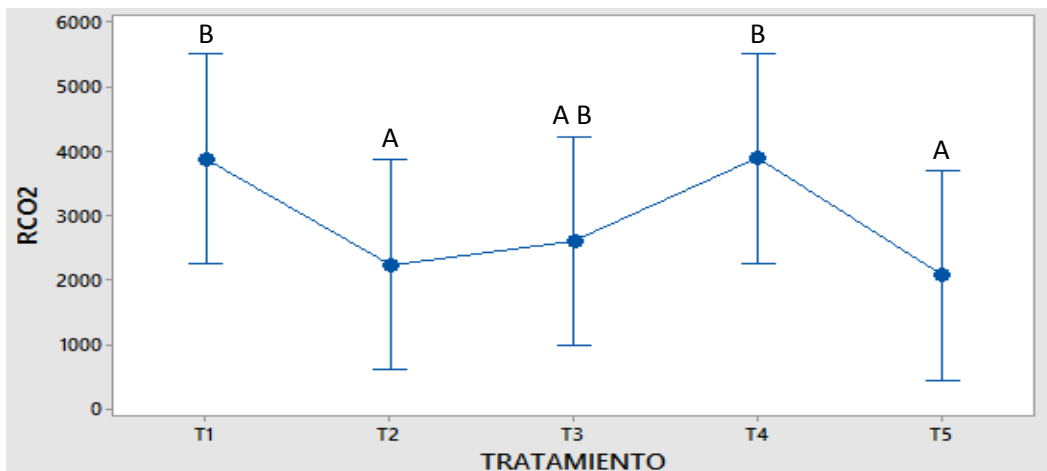


Figura 10 Comportamiento de la tasa respiratoria del chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación del recubrimiento comestible a base de goma xantana.

Figuroa (2011) menciona que el proceso de deterioro de los alimentos postcosecha está relacionado con la tasa de respiración, ya que una vez cosechado el producto este es capaz de seguir siendo metabólicamente activo y realizar procesos químicos. Orrego (2011) también dice que la respiración en los productos hortofrutícolas está relacionada con la pérdida de peso, debido a que este proceso incrementa la temperatura durante el almacenamiento de dichos productos, generando con ello evaporación de agua y producción de CO₂.

Con lo mencionado anteriormente se puede concluir que los tratamientos 2 y 4 fueron los que mostraron una mejor tasa de respiración evitando la reacción de procesos químicos que pudieran afectar la calidad del chile habanero.

4.3 Firmeza

De acuerdo a los análisis de varianza realizados y comparación de medias por Fisher ($P=0.05$) se obtuvo que a lo largo de los 15 días si se generó una pérdida significativa de la firmeza del chile habanero y en cuanto a los tratamientos aplicados y recubrimiento empleado se logra apreciar que no hubo diferencia significativa a lo largo del periodo que duro el análisis. Sin embargo, cabe mencionar que se logra ver que existen mínimas diferencias numéricas.

En la figura 11 se puede observar que hubo una merma de la firmeza que presentaba la muestra de chile habanero el día 1 y la que presento al finalizar los 20 días, pasando de una firmeza de 6.40 N a 4.77 N. Son estos valores se puede decir que se presentó una diferencia significativa muy mínima a lo largo del período de análisis de las muestras.

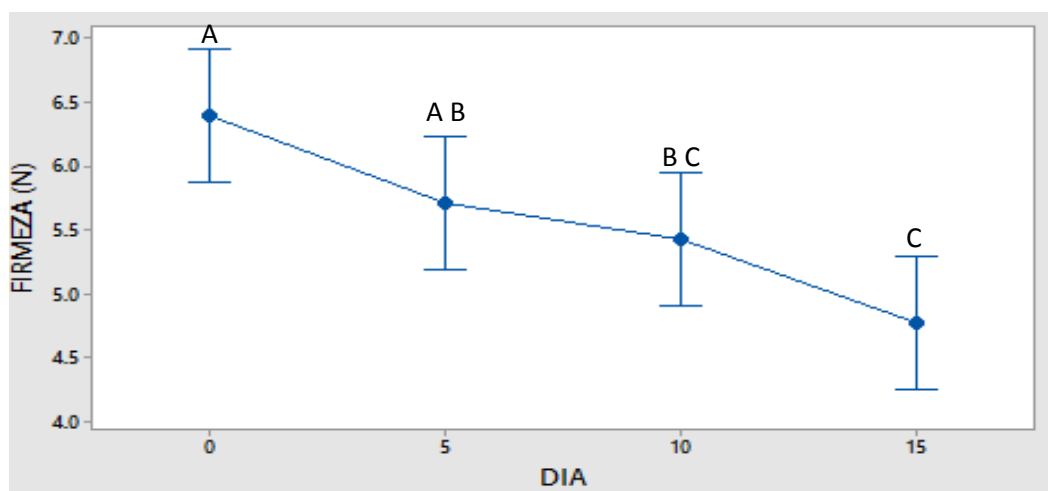


Figura 11 Comportamiento de la firmeza medida en Newton de chile habanero en relación al periodo de análisis.

En la figura 12 se aprecia el comportamiento que presentó la firmeza del chile habanero en relación a los tratamientos expuestos y recubrimiento aplicado. Se puede observar que todos los tratamientos pertenecen al mismo grupo (A), no presentando diferencia significativa entre ellos, pero cabe recalcar que la firmeza en el T2 fue mejor que la firmeza de la muestra testigo aumentando de 5.69 N a 5.88 aumentando mínimamente este parámetro. El resto de los tratamientos de igual manera mostraron valores muy cercanos a la muestra testigo, pero todos estos por debajo.

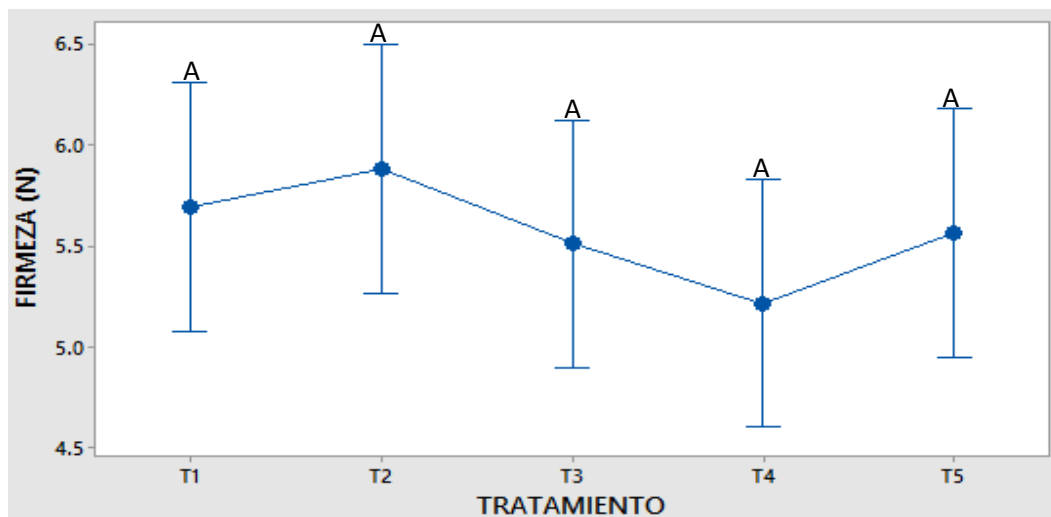


Figura 12 Comportamiento de firmeza de chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación del recubrimiento comestible a base de goma xantana.

Ramírez (2018) realizó un cultivar de chiles habaneros obteniendo como resultado que el peso del fruto es de 6.5 a 10 g y estos presentaron una media de firmeza de 58.3 N cm⁻², indicando que con este valor los chiles habaneros presentan mayor solidez lo que les proporciona una mayor y mejor vida de anaquel.

Zavala-León (2013) menciona ciertas características con las que debe cumplir esta variedad de chile, entre ellas se encuentra la firmeza mencionado que los valores que debe presentar este producto en cuanto a este parámetro son de 8.6 a 9.7 N cuando los frutos están verdes y de 5.1 a 6.6 N cuando estos están maduros.

El rango de firmeza de chile habanero que se obtuvo cuanto a los tratamientos y recubrimiento aplicado van de 5.69 a 5.22 N, se puede decir que se está hablando de un chile maduro. En cuanto a los datos de firmeza obtenidos en relación a los 20 días se puede decir que al término del periodo de análisis la firmeza que presentaban las muestras de chile habanero, ya se encontraban por debajo de la firmeza aceptada por el consumidor.

La firmeza es uno de los principales parámetros que son evaluados por el consumidor para definir la calidad del producto que desea consumir, ya que en muchas ocasiones está relacionada con la madurez de los productos hortofrutícolas.

4.4 Sólidos Solubles Totales (SST)

Al realizar los análisis de varianza y la comparación de medias por Fisher ($P=0.05$) se obtuvo que hubo una diferencia significativa en cuanto a los °Brix que presentaban las muestras de chile habanero el día que inició el análisis y los °Brix que presentaron al finalizar el análisis de las muestras. En cuanto a los tratamientos se observa el mismo comportamiento ya que también se generó una diferencia significativa en los valores obtenidos en cada uno.

En la figura 13 se puede apreciar el comportamiento de la pérdida de SST durante el periodo de análisis, observando un intervalo que va desde 0.52 a 0.70 ° Brix. Del día 0 al día 5 hubo una baja significativa de este indicador, pero después del día 5 este parámetro comenzó a aumentar y al finalizar los 15 días presentó un valor por debajo pero muy cercano al que se obtuvo al día 0, esto quiere decir que hubo una pérdida de los °Brix al inicio del análisis, pero conforme el paso de los días hubo una recuperación del mismo.

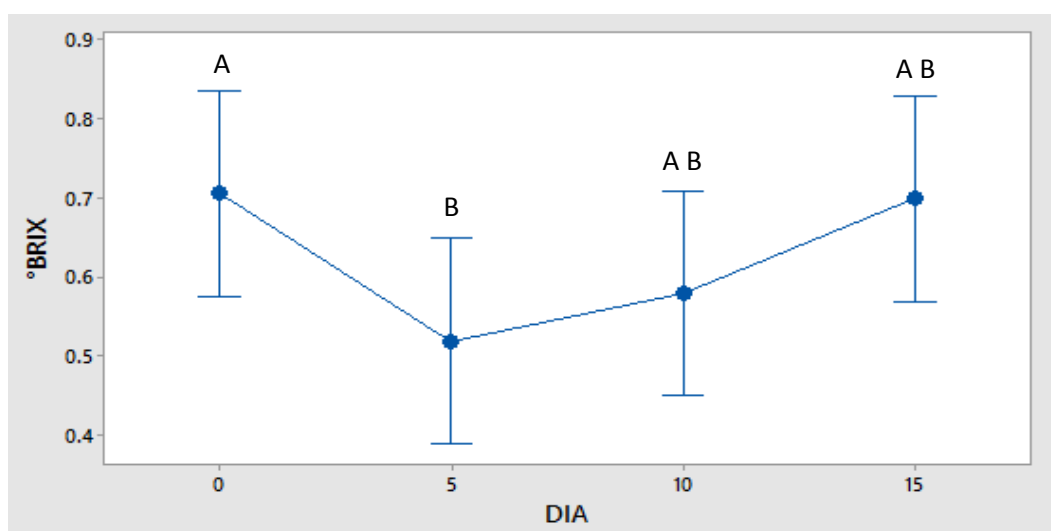


Figura 13 Comportamiento de los Sólidos Solubles Totales (SST) en °Brix de Chile habanero en relación con los días de análisis.

El aumento en el contenido de SST, podría atribuirse a la pérdida de humedad de los frutos y a la conversión de ácidos orgánicos a azúcares, mientras que la disminución durante el periodo de 0 a 5 días podría decirse que es debido a que las células utilizan los sólidos presentes en el fruto. Para poder llevar a cabo el proceso de la respiración, es bien sabido que entre más largo sea el tiempo de respiración de la fruta mayor será la tasa de consumo de azúcares y ácidos (Atta-Aly y Brecht, 1995).

En la figura 14 se puede apreciar el comportamiento que presentaron los SST presentes en el chile habanero en relación con el tratamiento al que fue expuesto y al recubrimiento a base de goma xantana que le fue aplicado. La muestra testigo en cuanto al recubrimiento (T1) fue la que presentó el valor más alto de SST en °Brix, de acuerdo a la comparación de medias por Fisher ($P=0.05$). Los tratamientos 1, 2, 3 y 4 no presentan diferencia significativa entre ellos y lo mismo ocurre con los tratamientos 2, 3, 4 y 5. La diferencia significativa se puede observar entre el T1 y T5, este último presenta el valor más bajo de SST.

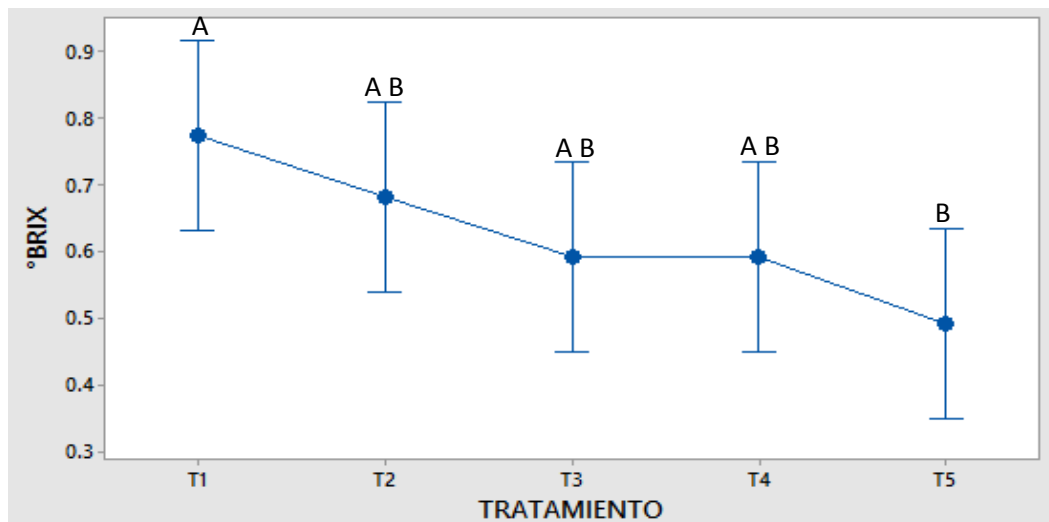


Figura 14 Comportamiento de los Solidos Solubles Totales (SST) de chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación del recubrimiento comestible a base de goma xantana.

4.5 Vitamina C

El ácido ascórbico, también conocido como vitamina C, es un nutrimento hidrosoluble que se encuentra en ciertos alimentos.

En el análisis de varianza realizado junto con la comparación de medias por Fisher ($P=0.05$), se pudo observar que, los resultados de la Vitamina C en chile habanero si presentaron una diferencia significativa durante los días que se estuvieron analizando las muestras; no sucedió lo mismo en cuanto a los tratamientos y el recubrimiento aplicado

En la figura 15 se puede apreciar el comportamiento de la vitamina C en relación a los días, presentando un intervalo que va desde 18.09 a 74.71 % de ácido ascórbico; hubo un aumento considerable desde el día 0 hasta el día 10, aumentando un 56.65% de vitamina C a lo largo de este periodo, pero al paso del día 10 el nivel de concentración de este nutriente comenzó a disminuir, al finalizar los 15 días el contenido de ácido ascórbico fue de 52.86% este valor se encuentra por encima de resultado obtenido el primer día, lo que nos indica que no hubo pérdida de este compuesto.

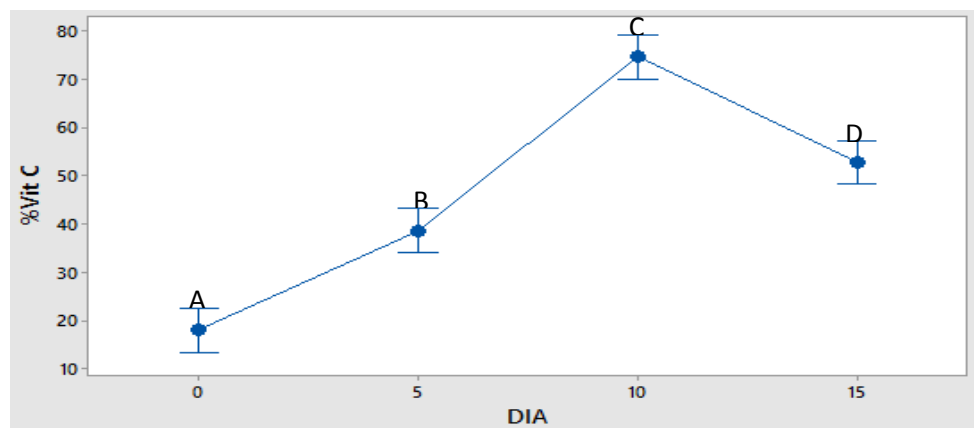


Figura 15 Comportamiento de la vitamina C en chile habanero en relación con los días de análisis.

La figura 16 nos muestra como fue el comportamiento de la vitamina C en cuanto a los tratamientos aplicados durante su producción y el recubrimiento que se le colocó; como se puede apreciar no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, mencionando que el T1 (100% Z + testigo en cuanto al recubrimiento) fue el que mostró un mejor porcentaje de esta vitamina, siguiéndole el T2 (100% P + recubrimiento), este fue el que dio un mejor valor en cuanto a las muestras que se les aplicó el recubrimiento, siendo las muestras del T5 (100% P – 1000% NPsZnO + recubrimiento) las que obtuvieron los valores más bajos de este nutriente.

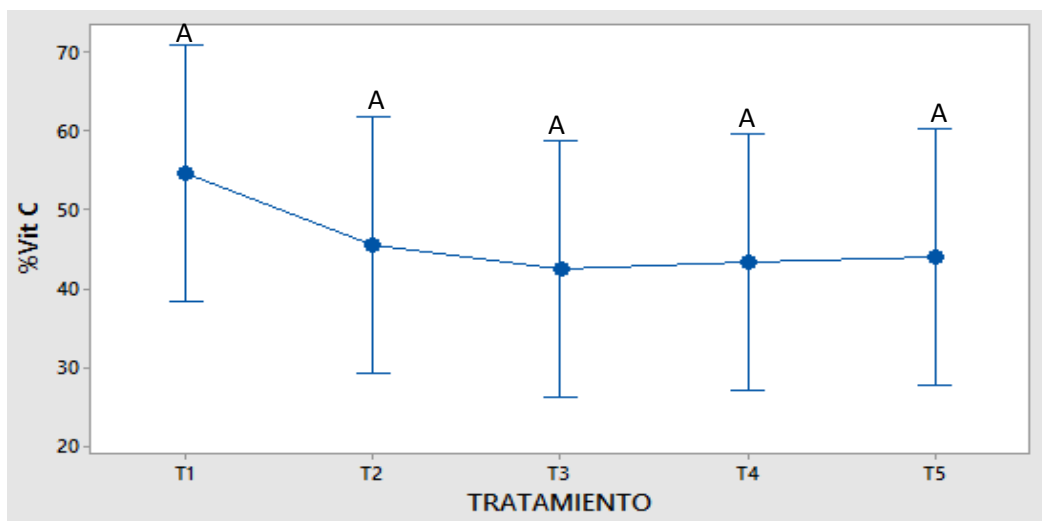


Figura 16 Comportamiento de la vitamina C en chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación del recubrimiento comestible a base de goma xantana

El chile habanero es considerado el chile más picoso del mundo con una pungencia desde 150 hasta 350 mil SHU, es una excelente fuente de vitamina A y presenta el doble de vitamina C que los cítricos (Martínez, 2011).

Las muestras de chile habanero presentaron valores muy elevados de contenido de vitamina C, lo que nos indica que en efecto estos productos son ricos en ácido ascórbico. Las muestras fueron capaces de aumentar el contenido de esta vitamina aun después de haber sido cosechadas y de haber permanecido a temperaturas de 20 a 25 °C por más de 10 días, el recubrimiento aplicado fue capaz de conservar estas características.

4.6 Acidez Titulable (AT)

En el análisis de varianza realizado junto con la comparación de medias por Fisher ($P=0.05$), se obtuvo que a lo largo de los 15 días se produjo un aumento de acidez en el chile habanero mostrando una diferencia significativa del día 0 hasta el día 15.

En la figura 17 se puede observar el comportamiento del grado de acidez en el chile habanero en relación a los días en que se estuvieron analizando las muestras. Durante los primeros días este parámetro se mantuvo en el mismo valor, pero a partir del quinto día se comenzó a observar un aumento considerable de éste, paso de tener 1.93 a 2.82 % de acidez, aumentando casi el doble del contenido inicial.

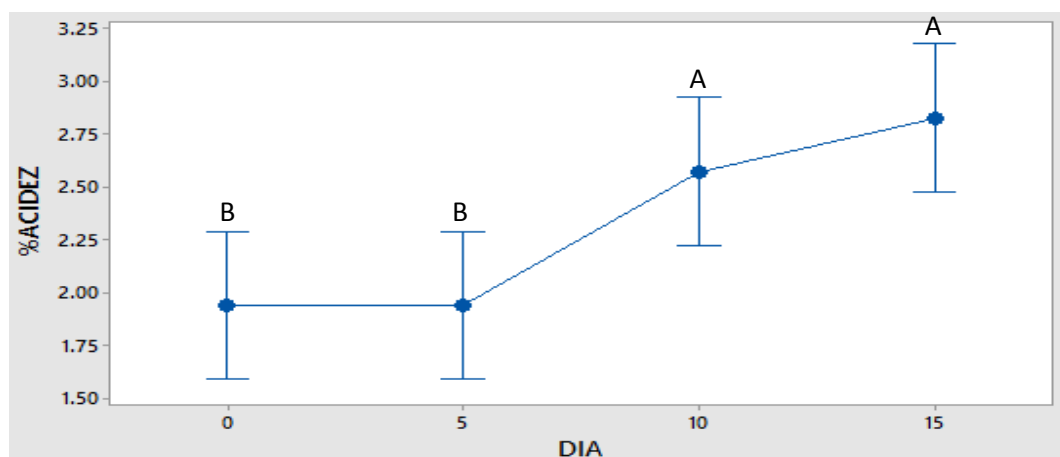


Figura 17 Comportamiento de la acidez del chile habanero en relación con los días de análisis.

Los valores de la acidez por días presentados en la figura 17, donde claramente se puede observar que existe un crecimiento, lo que coincide con (Mendoza-Sánchez, 2015), evaluaron las propiedades físicas y químicas de muestras de chile jalapeño durante su maduración de verde a rojo cada 5 días durante 30 días, entre las propiedades evaluadas se encuentra la acidez, obteniendo una diferencia significativa ($P=0.05$) del día 1 al día 30 aumentando de una concentración de 0.09 % a 0.15 %.

En la figura 18 se puede ver en análisis de varianza realizado y la comparación de las medias por Fisher ($P=0.05$), de acuerdo a estos resultados se puede decir no hubo diferencia significativa en cuanto al grado de acidez que presentaron las muestras en los diferentes tipos de tratamientos que se les aplicaron, pero si existe una pequeña diferencia numérica entre estos, mencionando que los chiles habaneros de los tratamientos 1 (100% Z + testigo en cuanto a recubrimiento) y 5 (100% P – 1000% NPsZnO + recubrimiento) fueron los que tuvieron un valor de acidez más elevado en comparación con el resto; en ambos caso fue de 2.57%, las muestras de chile habanero de los tratamientos 2 (100% P + recubrimiento) y 3 (50% Z + 50% P + recubrimiento) fueron las que presentaron los valores más bajos de acidez que fue de 2.09% para los dos tratamientos, como se observa no hay una gran diferencia entre el valor más bajo y el más elevado.

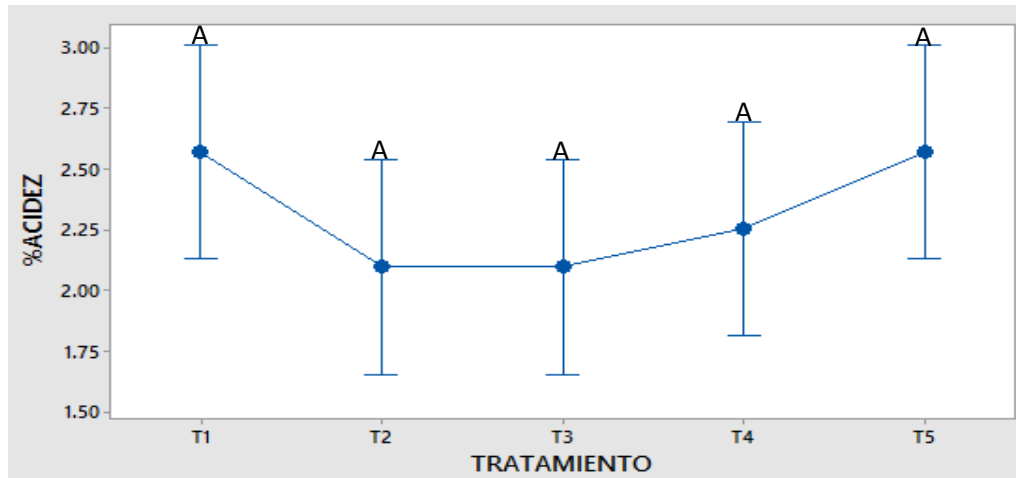


Figura 18 Comportamiento de la acidez en chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación del recubrimiento comestible a base de goma de xantana.

4.7 Carotenoides

Los carotenoides son compuestos que se encuentran presentes en las plantas de manera natural, y son los responsables de brindar el color a las flores y frutos.

En el análisis de varianza realizado y la comparación de medias por Fisher ($P=0.05$), se obtuvieron resultados con un alto grado de diferencia significativa en cuanto a la variación de concentración de estos compuestos durante el periodo de análisis, lo mismo ocurrió con los tratamientos aplicados al chile habanero durante su producción el recubrimiento que se le puso una vez cosechado.

En la figura 19 se puede observar la conducta que tuvieron estos pigmentos durante 20 días de análisis, mostrando una disminución del día 5 al día 10 bajando de una concentración de 1535 mg/100g a 1003 mg/100g. También se puede ver que al pasar el décimo día los carotenoides tuvieron un aumento en su concentración y durante los últimos 5 días de análisis estos presentaron una disminución considerable de su contenido llegando a una concentración de 802.7 mg/100g.

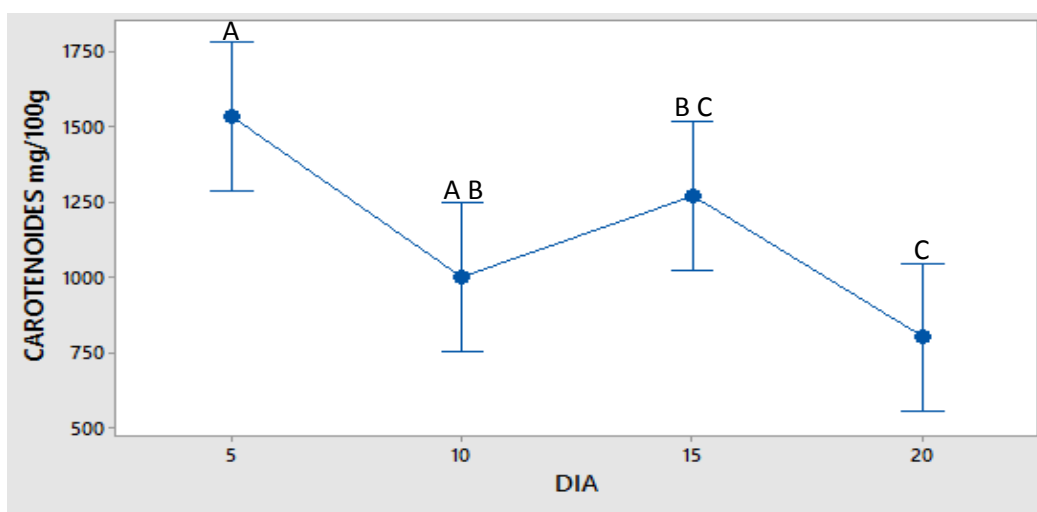


Figura 19 Comportamiento de los carotenoides en chile habanero durante los días de análisis.

Se evaluó la calidad de chiles habaneros en cuanto a la cantidad de carotenoides, obteniendo como resultados que el contenido de estos no se vio afectado por ningún proceso al que fueron sometidas las muestras, pero menciona que los carotenoides tendieron a disminuir conforme aumentaban sus días de almacenamiento, afirmando que para el día 10 las muestras presentaban 2796.73 mg/g y a los 70 días 1076.68 mg/g (habiendo una disminución de un 38.5%) (Cols, 2011).

Como ya se mencionó anteriormente la presencia de carotenoides totales presentaron tres tendencias, la primera fue una disminución, después un aumento y finalmente una disminución, la disminución de este compuesto probablemente se debió al desvanecimiento de la clorofila y luteína durante la maduración temprana o a la transformación de cloroplastos en cromosomas resultado de una inhibición de biosíntesis bloqueando la fotosíntesis. Y el aumento de este pigmento pudo ser a causa de los procesos metabólicos que ocurre en los frutos y que dan lugar a la conversión de pigmentos existentes y a la composición de nuevos carotenoides. (Mendoza-Sánchez, 2015).

En la figura 20 se puede observar las concentraciones de carotenoides en los distintos tratamientos aplicados, mostrando que existe una diferencia significativa entre los tratamientos 1, 3 y 5, lo mismo ocurre con los tratamientos 2, 4 y 5. De acuerdo a las concentraciones el T1 (100 % Z + testigo en cuanto a recubrimiento) fue el que presentó mayor contenido de carotenoides con una concentración de 1441 mg/100g, siguiendo de este con una cantidad en carotenoides de 1872 mg/g el T4 (100 % Z – 1000 % NPsZnO + recubrimiento), las muestras de estos tratamientos fueron las que presentaron valores más elevados y las muestras del T5 (100% P – 1000% NPsZnO + recubrimiento) fueron las que tuvieron cantidades más bajas de pigmentos con un valor de 786.0 mg/100g, los tratamientos 2 y 3 tuvieron valores que se encontraron dentro del rango (1441-786 mg/100g).

Estos resultados indican que las muestras con mejor coloración fueron las que pertenecían al T1 Y T2, mientras que las de menor coloración o falta de clorofila fueron las del T3.

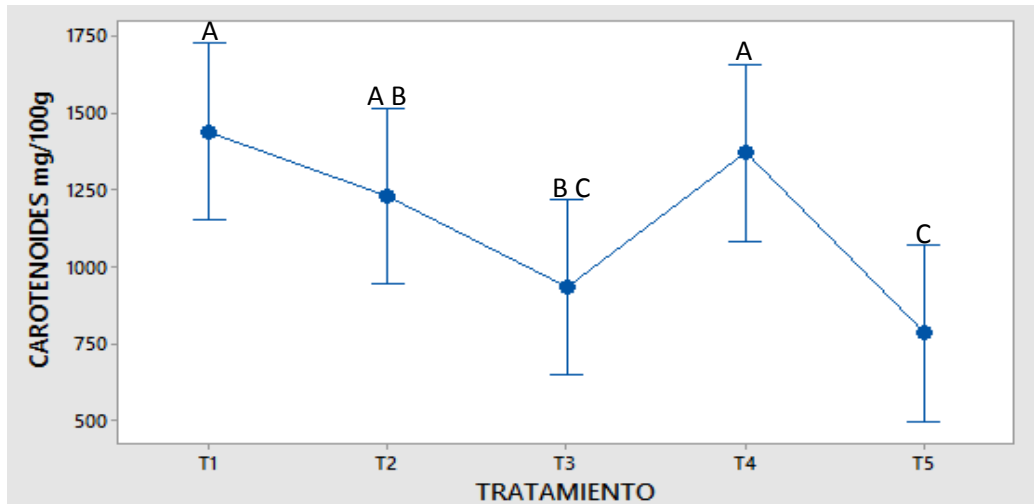


Figura 20 Comportamiento de los carotenoides en chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación de recubrimiento comestible a base de goma xantana.

4.8 Color

El color es uno de los parámetros más importantes para seleccionar la mayoría de los productos hortofrutícolas. Existen tres parámetros que se pueden evaluar en cuanto al color que presentan los productos hortofrutícolas estos factores son L^* (luminosidad), a^* (+a indica color rojo, -a indica color verde) y b^* (+b indica color amarillo, - b indica color azul).

De los análisis de varianza realizados y la comparación de medias por Fisher ($P=0.05$), se observó que los diferentes parámetros de color L^* , a^* y b^* evaluados en relación con los días presentaron una diferencia significativa en los valores obtenidos, lo mismo ocurrió con los parámetros evaluados en relación a los tratamientos y al recubrimiento aplicado.

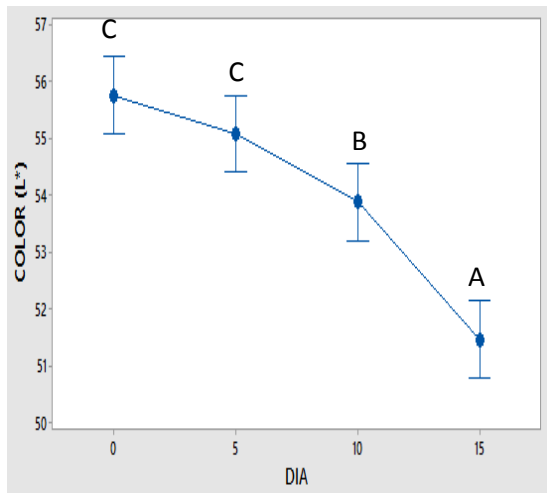
En la figura 21a se logra apreciar la conducta de luminosidad de chile habanero durante 15 días, mostrando que conforme pasaron los días este factor tuvo una

disminución pasando de 55.75 a 51.46 L*, esto indica que las muestras de Chile perdieron brillantes, durante el periodo de evaluación.

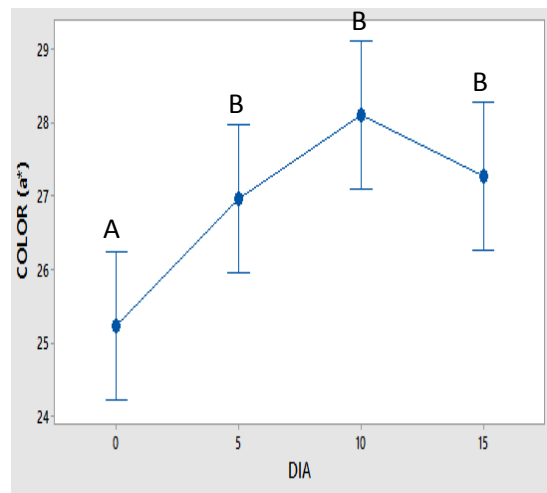
En la figura 21b se puede observar que el comportamiento del factor a* mostró que las muestras evaluadas presentaban coloración rojiza, así mismo, se puede observar que se presentaron dos tendencias, primero hubo un aumento del día 0 al día 10 pasando de 39.51 a 37.01 a*, subsecuentemente después del día 10 se generó una disminución llegando a 37.01 a*, valor que sigue estando por encima del registrado el primer día, estos cambios pudieron deberse a la maduración que presentaban los chiles habaneros en ese momento.

En la figura 21c se muestra el comportamiento que tuvo la variable de color b*, mostrando que si hubo diferencia significativa en a lo largo del periodo de evaluación, como se puede observar durante los primeros cinco días se presentó una disminución mínima de coloración pasando de 39.51 a 38.62 b*, consecuente a este día se presentó un aumento que rebasó la concentración de b* que se registró el día 0 llegando a un valor de 40.46 y posteriormente al día 10 hubo otra disminución que llegó hasta 37.01 b*, siendo este el valor mínimo registrado.

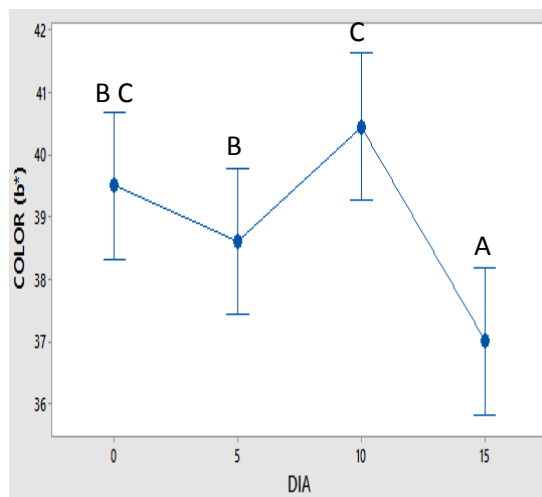
Los valores explicados anteriormente pueden ser comparados con los obtenidos en un estudio realizado sobre las propiedades fisicoquímicas de Chile Jalapeño durante 30 días de almacenamiento a una temperatura de 25 °C, donde se obtuvo que los parámetros a* y b* tuvieron un incremento significativo (P=0.05) entre los primeros 15 días, presentando un cambio de color total de 34.38 unidades. Mencionan que la coloración rojiza es debido a la presencia de carotenoides, ya que se ha reportado que actúan como captadores de radicales libres (Mendoza-Sánchez, 2015)



a)



b)



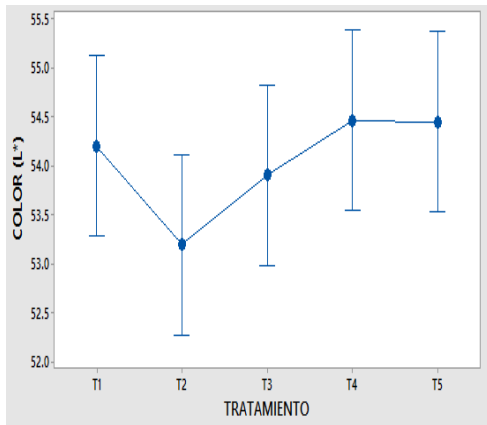
c)

Figura 21 Comparación de los parámetros de color de chile habanero en relación a los días de análisis a) parámetro L* b) parámetro a* y c) parámetro b*.

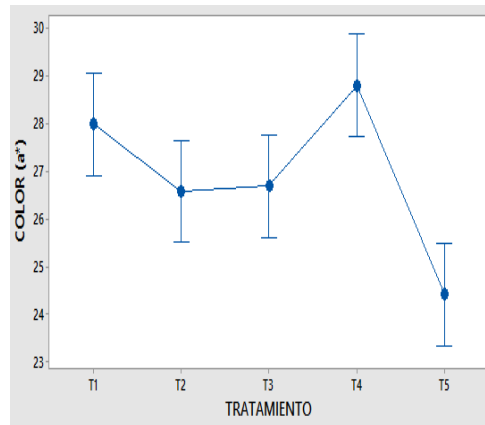
En la figura 22 se aprecia la conducta que presentaron los parámetros de color L* (figura 22a), a* (figura 22b) y b* (figura 22c). Se puede ver que el parámetro de luminosidad fue mejor para los tratamientos 4 (100 % Z – 1000 % NPsZnO + recubrimiento) y 5 (100% P – 1000% NPsZnO + recubrimiento) ya que fueron los que mostraron que sus muestras presentaban mejor brillo dando un resultado de 54.47 y 54.45 respectivamente, siguiendo de estos podemos ver que el T1 (100% Z y muestra testigo en cuanto al recubrimiento) también tuvo valores elevados de luminosidad dando un valor de 54.21, consiguiente a estos se encuentran el T2 (100% P + recubrimiento) y T3 (50 % Z + 50 % P – 1000 % NPsZnO + recubrimiento) con valores de 53.19 y 53.91 respectivamente.

Por otro lado, en los parámetros a* y b* se observa que el T4 fue el que presentó valores más elevados para ambos factores, indicando la presencia de una coloración rojiza-amarilla en estas muestras dichos valores fueron 28.21 a* y 40.92 b*. Para el factor a* las muestras del T5 fueron las que presentaron la coloración rojiza más baja de 24.42 a*, mientras que para el parámetro b* fueron las muestras pertenecientes al T2 con un resultado de 36.47 b*. En ambos casos las muestras del T1 fueron las que presentaron el segundo valor más elevado siendo este 27.99 para a* y 39.21 para b*. Como se puede ver existe diferencia significativa entre el valor mayor y menor para estos dos factores.

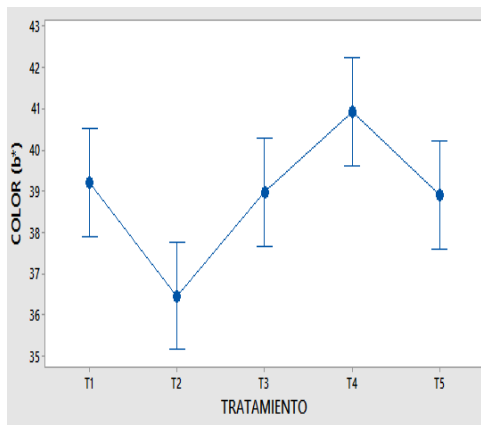
Los resultados anteriormente expuestos muestran que el tratamiento con recubrimiento fue el mejor para la conservación del color en chiles habaneros.



a



b



c

Figura 22 Comparación de los parámetros de color de chile habanero en relación con los tratamientos aplicados durante su producción y la aplicación de recubrimiento comestible a base goma xantana, a) parámetro L*, b) parámetro a* y c) parámetro b* .

V. CONCLUSIÓN

Se evaluaron los parámetros de calidad postcosecha en frutos de chile habanero sometidos a tratamientos durante su producción. El recubrimiento aplicado actuó de diferentes formas en los distintos tratamientos.

En la evaluación de parámetros físicos las muestras de chile habanero que se les aplicó recubrimiento mostraron menor pérdida de color (L^* , a^* y b^*) y retuvieron mejor la firmeza que los frutos testigo. El análisis estadístico realizado mostró diferencia significativa respecto al tiempo de almacenamiento en peso, sólidos solubles totales, vitamina C, acidez titulable y carotenoides, en cuanto al recubrimiento comestible aplicado se mostró diferencia significativa en el peso, tasa respiratoria y carotenoides.

Las muestras testigo obtuvieron mejores resultados en cuanto a la pérdida de peso, cantidad de sólidos solubles totales, vitamina C y carotenoides, mientras que las muestras con RC mostraron mejores resultados en cuanto a la pérdida de color, mejor firmeza, mejores valores de CO_2 , es decir la aplicación de recubrimiento puede actuar como una atmósfera modificada alargando la vida de anaquel en los alimentos.

Finalmente se puede concluir que el RC comestible permitir conservar y en algunos casos aumentar las propiedades de los chiles habaneros.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar C.N. (2015). Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón Mexicano. *Journal of Food*, 13, 17-25.

Alcántar-González G., Santizo-Rincón J. A. (2012). Producción y calidad de chile habanero (*capsicum chinense jacq*) con diferentes relaciones NH_4^+/NO_3^- y tamaño de partículas de sustratos. *Terra Latinoamericana*, 30, 9-15.

Alvarado Marco; Solano Jorge. (2002). Producción de sustratos para viveros. República de China: OIRSA.

Martínez Alvarado César Óscar; Santoyo Juárez Juan Alberto. (2011). Tecnología de producción de chile habanero en casa sombra en el sur de Sinaloa. 22 marzo 2019, de Fundación Produce Sinaloa, A.C Sitio web: <https://www.fps.org.mx/portal/index.php/component/phocadownload/category/31-hortalizas?download=124:tecnologia-de-produccion-de-chile-habanero-en-casa-sombra-en-el-sur-de-sinaloa>.

Andrade Johana C; Acosta Diana L; Bucheli Mauricio A. (2014). Desarrollo de un Recubrimiento Comestible Compuesto para la Conservación del Tomate de Árbol (*Cyphomandra betacea* S.). *Información Tecnológica*, 25 (6), 57-66.

Angioloni Alessandro. (2015). La Goma Xantana en la Industria Alimentaria. 20 marzo 2019, de Emilio Peña, S. A. Sitio web: http://www.aditivosalimentarios.es/php_back/documentos2/archivos/Xantana.pdf

Atta-Aly M. A., J. K. Brecht. 1995. Effect of postharvest high temperature on tomato fruit ripening and quality. pp. 250–256. In: Ait-Oubahou A, El-Otmani (eds) *Proceeding of the International Symposium “Postharvest Physiology, Pathology and Technologies for Horticultural Commodities: Recent Advances”*. Institute Agronomic et Veterinaire Hassan II. Agadir, Moroc.

Bautista-Baños S. (2010). Antimicrobial Compuonds Added in Edible Coatings for Use in Horticultural Products. *Revista de Fitopatología*, 28 (1), 44-57.

Bello, J. (2000). *Ciencia bromatológica: Principio generales de los alimentos*. Ediciones Díaz de Santos. España. 27 Noviembre 2019, de Ediciones Díaz de Santos España Sitio web: <https://books.google.com.mx/books?id=94BiLLKBJ6UC&printsec=frontcover&dq=Ciencia+Bromatologica:+Principios+generales+de+los+alimentos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjArcDitsHjAhWlQs0KHVdRBACQ6AEIKTAA#v=onepage&q=Ciencia%20Bromatologica%3A%20Principios%20generales%20de%20los%20alimentos&f=false>

Cháfer M. (2008). Incorporación de productos naturales en recubrimientos comestibles para la conservación de alimentos. 18 julio 2019, de VIII Congreso

SEAE Bullas Sitio web:
https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2009/eventos-seae/cds/congresos/actas-bullas/seae_bullas/verd/posters/5%20P.%20CALIDAD/calidad3.pdf

Coy Barrera Carlos Andrés. (2013). Actividad antibacteriana y determinación de la composición química de los aceites esenciales de romero (*Rosmarinus officinalis*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y cúrcuma (*Curcuma longa*) de Colombia. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18 (2), 237-246.

Coop, C. C. (2011). Conservación de la calidad postcosecha en chile habanero (*Capsicum chinense*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12 (1), 80-86.

Daybelis Fernández Valdés. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación postcosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias y Técnicas Agropecuarias*, 24, 52-57.

Daza-Torres Martha Constanza; Obregón-Portocarrero Nicolás; Díaz-Ortiz Jaime Ernesto. (2016). Efecto de la aplicación de zeolita en la recuperación de nitrógeno y el rendimiento de maíz. *Acta Agronómica*, 65 (1), 24-30.

De Ancos, Begoña y cols. (2015). Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de IV y V Gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16, 8-17.

Díaz Coronel Gorki Teófilo; Sánchez Mora Fernando David; Llerena Ramos Luis Tarquino. (2009). Empleo de zeolitas naturales en la fertilización y producción de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la zona de Quevedo. *Revista Ciencia y Tecnología*, 2 (1), 1-6.

Domínguez-Courtney M.F; Jiménez-Munguía M.T. (2012). Películas comestibles formulas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 110-21.

Fernández Natalia Marcela; Echeverría Diana Carolina. (2017). Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 134-141.

Figueroa Jorge. (2011). Recubrimientos comestibles en la conservación del mango y aguacate, y perspectiva, al uso del propóleo en su formulación. *Revista Colombiana Ciencia Animal*, 3(2), 387-391.

García Carlos; Alzate Diego A. (2009). Evaluación de la fitotoxicidad y la actividad antifúngica contra *Colletotrichum acutatum* de los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*), limoncillo (*Cymbopogon citratus*), y sus componentes mayoritarios. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 16 (1), 116-125.

Gontard, N; Thibault, R; Cuq, B. (1996). Influence of relative humidity and film composition on oxygen and carbon dioxide permeabilities on edible films. *Journal Agric. Good Chem*, 44, 1064-1069

Jiménez-Martínez Cristian; Alamilla-Beltrán Liliana. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionales. *Revista Especializada en Ciencias Químicas-Biológicas*, 21, 30-42.

Krochta M. J. (1997). Edible and Biodegradable Polymer Films: Challenges and Opportunities. *Food Technology*, 2, 61-74.

León-Leyva A.P. (2018). Desarrollo y Caracterización de Películas Comestibles Elaboradas a Partir de Almidón Acetilado por Extrusión y Gelatina. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3, 714-720.

Lin Z. (2004). Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 16, 829-858.

López Luengo Tránsito M. (2006). Propiedades farmacológicas e indicaciones terapéuticas. *Elservier*, 25 (1), 74-77.

Méndez-Argüello B. (2007). Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Revista Electrónica Nova Scientia*, 8 (2), 140-156.

Mendoza-Sánchez, L. G. (2015). Propiedades fisicoquímicas y antioxidantes del chile jalapeño (*Capsicum annum* var. *annuum*) durante almacenamiento. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21 (3), 229-241.

Montalvo C. (2012). Películas comestibles de proteína: características, propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6, 32-46.

Morales Vanessa; Santacruz Stalin. (2017). Uso de Películas Comestibles a Base de Carboximetilcelulosa y Goma Xantana para la Disminución de Absorción de Grasa de Malanga Frita (*Xanthosoma Sagittifolium*). *Revista Politécnica*, 40 (1), 319-325.

Ocampo Thomson Patricia. (2014). Diagnóstico histórico de la producción de Chile Habanero, Papaya, Plátano y Miel en el Sureste de México (Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Chiapas, Tabasco y Veracruz). *Yucatán: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.*

Orrego Carlos E. (2011). Calor de respiración de frutas y vegetales. 23 marzo 2019, de Rev. Depto. de Ciencias Sitio web: <http://bdigital.unal.edu.co/8235/1/carloseduardoorregoalzate.2001.pdf>

Osorio Mora Oswaldo. (2016). Evaluación de un recubrimiento comestible a base de proteínas de lactosuero y cera de abeja sobre la calidad fisicoquímica de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Acta Agronómica*, 65(4), 326-33.

Ospina Mónica M; Sepulveda José U. (2012). Influencia de goma xantana y goma guar sobre las propiedades reológicas de leche saborizada con cocoa. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10 (1), 51-59.

Quintero C. Juan; Falguera Victor; Muñoz, H. Aldemar. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga*, 5, 93-118.

Ramírez-Meraz G. A. (2018). Jaguar: cultivar de chile habanero para México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9 (2), 490.

Regalado Carlos. (2018). Métodos modernos para la caracterización de películas y recubrimientos comestibles. *BioTecnología*, 22 (1), 37-54.

Ruelas-Chacón Xochitl. (2013). Conservación de Frutas y Hortalizas Frescas y Mínimamente Procesadas con Recubrimientos Comestibles. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5 (9), 31-37.

Rojas Armas Juan; Ortiz Sánchez Jose. (2015). Aceite esencial de *Thymus vulgaris* L (tomillo), su combinación con EDTA contra *Cándida albicans* y formulación de una crema. *An Fec Med*, 76 (3), 235-40.

Ruíz-Áltisent M; Barreriro P. (1996). Propiedades mecánicas y calidad de frutos, definiciones y medidas instrumentales. 19 julio 2019, de Departamento de Ingeniería Rural Sitio web: http://oa.upm.es/5379/1/Barreiro_17.pdf

Ruíz-Lau Nancy; Medina Lara Fátima; Martínez Estévez Manuel. (2011). El Chile Habanero: su origen y usos. 22 marzo 2019, de Ciencia Sitio web: https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/62_3/PDF/Habanero.pdf

SAGARPA. (2008). Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en el estado de Tabasco. 22 marzo 2019, de Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Sitio web: [http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/1587/Estudio%20chile_habanero\[1\].pdf](http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/1587/Estudio%20chile_habanero[1].pdf)

SAGARPA. (2014). Producción de Chile habanero en Invernadero. 24 marzo 2019, de Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Sitio web: http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4294/01020_8218900071269_RASPA.pdf?sequence=1

Vázquez-Briones M.C y Guerrero-Beltrán J.A. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas Selectos*, 7 (2), 5-14.

Velázquez-Moreira A; Guerrero Beltrán J.A. (2014). Algunas investigaciones en recubrimientos comestibles aplicados en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8(2), 5-12.

Villarino Fernández Luisa; Martínez Varona Roberto. (2015). Las miniindustrias en la agricultura: un medio para minimizar el impacto negativo del cambio climático. *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(3), 40-46.

Villegas Camilo. (2016). Aplicación y efecto de un recubrimiento comestible sobre la vida útil de la mota de castilla (*Rubus glaucus benth*). *VITAE, Revista de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 23, 202-209.

Zavala-Léon Manuel Jesús; Tutpech Felipe de Jesús; Santamaría Basulto Felipe. (2013). Características de materiales mejorados en chile habanero para la península de Yucatán. 23 marzo 2019, de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Sitio web: http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4036/CIRSE_010208311400054527ok.pdf?sequence=1