



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Extensión de la vida útil post cosecha de chile jalapeño
(*Capsicum annum L.*) utilizando un recubrimiento de
quitosán y Citrol-K Ultra**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

ALAN INGVAR SILVA SOLANO

ASESOR: Dra. Susana Patricia Miranda Castro

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

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

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

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



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

Extensión de la vida útil post cosecha del chile jalapeño (*Capsicum annum L.*) utilizando un recubrimiento de quitosán y Citrol-K Ultra.

Que presenta el pasante: Alan Ingvor Silva Solano
Con número de cuenta: 409071193 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 15 de Agosto de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Susana Patricia Miranda Castro	
VOCAL	M. en C. Ana María Soto Bautista	
SECRETARIO	M. en C. Ana María Sabina de la Cruz Javier	
1er. SUPLENTE	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	
2do. SUPLENTE	M. en C. Ana Elvia Sánchez Mendoza	

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

LMCF/cga*

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mi gran familia, a la familia SILVA SOLANO y a mi abuelita Catalina Solano Carranza, a ella, por todo su amor y cariño que hasta los últimos días de su vida me enseñó que la vida está llena de tropiezos. Gracias abuelita por enseñarme a ser la persona que soy.

Agradecimientos

A Dios por darme la paciencia, la fuerza y el valor para llegar a este punto, para siempre preservar y no morir en el intento. Por estar conmigo en cada paso que doy.

Sólo cuando compartimos las metas alcanzadas con las personas que amamos, es cuando esos logros adquieren su verdadero valor. Han sido mis seres queridos los que me han impulsado para llegar a metas que parecían inalcanzables, en especial a mi mamá, Juana Catalina, por todo el tiempo de tu vida que has invertido en mí, eres la mujer más valiente que ha estado a mi lado y gracias por ser paciente conmigo, por confiar en mí, por ser parte de mi esencia, estoy feliz de compartir mi vida contigo.

A mi abuelita Catalina, le agradezco por enseñarme a soñar, a escuchar y a esperar, aunque ya no estamos juntos, la recuerdo con una gran sonrisa. A mi abuelo Agustín el hombre más fuerte que he conocido, le agradezco por alegrarme, por mostrarme el valor de la humildad, por regalarme el más ferviente saludo que he recibido, me enorgullecen los frutos de su arduo trabajo.

A todos los miembros de mi familia que han compartido conmigo experiencias enriquecedoras y momentos inolvidables que forman parte de lo que soy. Gracias a mi tía Tere y a mi tío Toño por su ayuda en los momentos difíciles; gracias a mi tía Paty y a mi tío Oscar, porque siempre me he sentido querido y apoyado por ustedes.

A la familia Matias Rangel, porque nunca dudaron de mi capacidad y siempre me incentivaron a seguir adelante. Gracias por el cariño, amor y por el espacio que me brindaron en su hogar, en especial a Ariadna Matias Rangel por apoyarme desde el momento en que nos conocimos, por cada aventura que vivimos, por cada risa, desvelo y todas las cosas que compartimos juntos, por alentarme a ser una mejor persona día tras día y ayudarme a alcanzar mis metas.

A mi asesora de tesis Dra. Susana Patricia Miranda Castro le agradezco porque desde el día que la conocí me ha apoyado y ha creído en mí, gracias por que en todo momento me brindo todo lo necesario para mi proyecto. He aprendido mucho de usted y sé que con esmero y dedicación se logran los objetivos que uno se propone, la admiro por la pasión que le tiene a su profesión.

A todos mis amigos y compañeros que estuvieron conmigo a lo largo de este ciclo en el cual, no solo crecimos como profesionistas, también crecimos como personas, en especial a María Fernanda Vázquez Valenzuela, Eliot Flores Rangel, José María Rodríguez Cruz y Pavel Antonio Gallardo Ortega por estar conmigo en cada momento en el que los necesite, por ayudarme, aconsejarme, motivarme y sobre todo por cada risa, aventura y buenos momentos que pasamos juntos. Los quiero.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por otorgarme la oportunidad de ser parte de su comunidad y formarme como profesionista, un orgullo para mi haber pertenecido a la máxima casa de estudios.

Índice General

Índice de figuras	IV
Índice de tablas	VI
Introducción	1
Capítulo I: Antecedentes.....	3
1.1. Chile Fresco	4
1.1.1. Historia de género <i>Capsicum</i>	4
1.1.2. Morfología y taxonomía del género <i>Capsicum Annuum</i>	6
1.1.3. Composición Química de <i>Capsicum Annuum</i>	8
1.1.4. Producción Internacional	10
1.1.5. Producción Nacional.....	11
1.1.6. Normatividad.....	13
1.1.7. Enfermedades	13
1.2. Pérdidas postcosecha.....	15
1.2.1. Principales hongos.....	15
1.2.2. Principales bacterias.....	18
1.2.3. Principales virus.....	20
1.3. Tecnología postcosecha	25
1.4. Generalidades de quitina y quitosán	27
1.4.1. Obtención de quitosán.....	28
1.4.2. Aplicaciones del quitosán.....	29
1.4.3. Quitosán como recubrimiento	30
1.4.4. Actividad antimicrobiana y fungicida del quitosán	31
1.5. Extractos Cítricos.....	32
Capítulo II: Metodología.....	35
2.1 Definición de objetivos.....	36
2.2 Cuadro Metodológico.....	37
2.3 Actividades Preliminares	38
2.3.1. Obtención de quitosán a partir del exoesqueleto del camarón	38
2.3.2. Evaluación de la vida útil del chile jalapeño.....	38

2.3.3. Selección de materia prima.....	38
2.3.4. Clasificación del chile jalapeño de acuerdo al tamaño según el pliego PC-011-2004.....	38
2.4. Diseño Experimental	39
2.4.1. Obj .Particular 1. Control.....	39
2.4.2. Obj .Particular 2. Recubrimiento con quitosán	40
2.4.3. Obj .Particular 3. Recubrimiento con Citrol K-Ultra	40
2.4.4. Obj .Particular 4. Mezcla	40
2.5. Métodos Analíticos.....	41
2.5.1. Determinación de parámetros físicos.	41
❖ Tamaño.....	41
❖ Color	41
❖ Firmeza	42
2.5.2. Determinación de parámetros fisicoquímicos.	43
❖ Sólidos Solubles.....	43
❖ pH	44
❖ Acidez Titulable	45
2.5.3. Determinación de parámetros fisiológicos	46
❖ Pérdida de peso.....	46
2.5.4. Determinación de parámetros microbiológicos.....	46
2.3.5. Identificación de Mohos y Levaduras.....	48
2.6. Análisis Estadístico	49
Capítulo III: Resultados y Análisis.....	51
3.1. Actividades Preliminares.....	52
3.1.1. Obtención del quitosán.....	52
3.1.2. Evaluación de la vida útil	52
3.1.3. Clasificación del chile jalapeño de acuerdo al tamaño según el pliego PC-011-2004.....	52
3.2. Métodos Analíticos.....	53
3.2.1. Parámetros físicos	53
❖ Tamaño.....	53
❖ Color	54
❖ Firmeza	57
3.2.2. Parámetros fisicoquímicos	59

❖ Sólidos Solubles.....	59
❖ pH.....	61
❖ Acidez Titulable.....	62
3.2.3. Parámetros fisiológicos.....	63
❖ Pérdida de peso.....	63
3.2.4. Parámetros microbiológicos.....	64
❖ Mohos y levaduras.....	64
Conclusiones.....	68
Bibliografía.....	69

Índice de figuras

Figura 1.	Anatomía del Chile.....	8
Figura 2.	Volumen de la producción nacional 2004-2014 de chiles verdes.....	11
Figura 3.	Evolución del comercio exterior (millones de dólares).....	12
Figura 4.	Producción mensual nacional (%)......	13
Figura 5.	Fruta afectada por <i>Erwinia</i> después de 12 horas de ser cosechada.....	19
Figura 6.	Fosa para enterrar el chile con pudrición blanda o picudo.....	20
Figura 7.	Síntomas de virosis en follaje y fruto de chile.....	22
Figura 8.	Síntomas del “Dorado del fruto” en chile jalapeño.....	23
Figura 9.	Recubrimiento de quitosán y Citrol-K Ultra en chile jalapeño.....	40
Figura 10.	Colorímetro Minolta CR-300.....	41
Figura 11.	Penetrómetro manual.....	42
Figura 12.	Refractómetro digital SPER SCIENTIFIC.....	44
Figura 13.	Potenciómetro HORIZON Modelo 5997-20.....	45
Figura 14.	Placas 3M® Petrifilm™ para el recuento de mohos y levaduras.....	46
Figura 15.	Proceso gráfico para el recuento de mohos y levaduras.....	48
Figura 16.	Extracción de colonia para identificación microscópica.....	48
Figura 17.	Ejemplificación para transferencia de colonia.....	49
Figura 18.	Mohos y levaduras en diferentes etapas de germinación.....	49
Figura 19.	Porcentaje de tamaño obtenido en los chiles jalapeños.....	53
Figura 20.	Efecto de la interacción en la reducción de tamaño.....	53
Figura 21.	Efecto de interacción para luminosidad.....	55
Figura 22.	Efecto de interacción para tono.....	56
Figura 23.	Efecto de interacción para croma.....	57
Figura 24.	Efecto de interacción para dureza.....	58
Figura 25.	Efecto de interacción para sólidos solubles.....	60
Figura 26.	Efecto de interacción para pH.....	61
Figura 27.	Efecto de interacción para acidez titulable.....	62
Figura 28.	Efecto de interacción para % de pérdida de peso.....	64
Figura 29.	Efecto de interacción para mohos y levaduras.....	66

Figura 30.	Chile infectado con <i>Alternaria spp.</i> y vista microscópica.....	66
Figura 31.	Chile infectado con <i>Botrytis cinérea</i> y vista microscópica.....	67

Índice de tablas

Tabla 1.	Escala Scoville para determinar las unidades de capsaicina.....	6
Tabla 2.	Clasificación taxonómica.....	7
Tabla 3.	Composición Química del chile jalapeño.....	9
Tabla 4.	Comparativo producción mundial 2011-2014.....	10
Tabla 5.	Principales entidades productoras.....	12
Tabla 6.	Principales enfermedades postcosecha en el cultivo del chile.....	14
Tabla 7.	Principales causas de las pérdidas postcosecha.....	15
Tabla 8.	Tecnologías postcosecha en chile jalapeño.....	26
Tabla 9.	Tamaños de chile jalapeño.....	52



Introducción

El chile jalapeño tiene su centro de origen en Mesoamérica, pertenece al género *Capsicum* y la especie *annuum* es considerada como la más conocida y difundida en el mundo (Laborde & Pozo, 1982), el cultivo del chile es importante en la historia, tradición y cultura del país y es, además, un producto agrícola con alta demanda mundial, ya que se ubica entre las siete hortalizas más cultivadas en el mundo con una producción mundial estimada en 26 millones de toneladas (Pérez, Castañón & Mayek, 2008). Los principales países productores son China con 15.8 millones de toneladas y México con 2.2 millones de toneladas, actualmente, el chile es el séptimo cultivo de mayor importancia en la capital por su valor de la producción ya que ocupa el decimotavo lugar por la superficie sembrada (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015).

En la comercialización de frutas y hortalizas, si el producto se vende inmediatamente después de la cosecha, no hay problema con las posibles pérdidas, el problema surge cuando ocurre algún imprevisto o el traslado es muy largo y hay que conservar el producto hasta que ocurra la comercialización; cuando el chile jalapeño se exporta lo almacenan a temperatura de refrigeración controlada para evitar la podredumbre. Los productos hortofrutícolas presentan pérdidas postcosecha de 5 a 25% en los países desarrollados y de 20 a 50% en los países en vías de desarrollo (Polit, 2013) y en algunos casos los chiles pueden llegar al 100% por daños mecánicos o de almacenamiento presentando pudrición, maduración o deshidratación (United State Agency International Development, 2006).

Las causas más comunes son: manejo inapropiado del producto, incorrecto flujo de proceso postcosecha o uso de empaques inadecuados (Kitinoja & Kader, 1995) entre los organismos causantes de pudrición en los chiles se encuentran *Rhizopus*, *Botrytis*, *Alternaria*, pudriciones de mohos y bacterias como *Erwinia carotovora* que causa una pudrición general de la fruta en menos de 24 horas (Lardizábal, 2002). Otros defectos comunes de postcosecha es el daño mecánico en los chiles como aplastamiento, perforaciones causadas por astillas, raspaduras, pues, este daño físico no solo afecta a la calidad visual de los chiles sino que conlleva una mayor pérdida de peso y pudriciones, por lo que repercute en la calidad y es determinada por la similitud de forma, firmeza o por la ausencia de daños mecánicos y biológicos (Cámara Agropecuaria y Agroindustrial de el Salvador, 2005) para evitar esto existen varios métodos de conservación por ejemplo: el empleo de temperaturas bajas o de refrigeración es el tratamiento



físico más generalizado para disminuir el desarrollo de las pudriciones en postcosecha, almacenamiento en atmósfera controlada (AC), aplicación de irradiación, impulsos de luz, tratamientos con fungicidas y aplicación de desinfectantes; otro tratamiento postcosecha es el uso de quitosán como recubrimiento el cual es un carbohidrato natural obtenido por desacetilación de la quitina [poli- β -(1 \rightarrow 4)-N-acetil-D-glucosamina], un componente principal de las conchas de los crustáceos tales como cangrejos, camarones (No et al., 2007), las cubiertas del quitosán son claras y flexibles, poseen propiedades antimicrobianas y pueden mejorar la apariencia, además de conferir protección al alimento de un deterioro fúngico (Miranda & Lizarraga, 2012).

Aplicar desinfectantes de ningún modo garantiza la eliminación de los microorganismos, un producto ya contaminado es prácticamente imposible reducir a la mínima expresión su carga microbiológica contenida en la superficie, por lo tanto el objetivo principal de la desinfección es prevenir la infección por patógenos y de manera secundaria ayudar a reducir su carga contenida (Comite Estatal de Sanidad Vegetal de Baja California, 2013).

Este proyecto busca comparar el efecto conservador del recubrimiento de quitosán y de un desinfectante a base de extractos cítrico para alargar la vida útil del chile jalapeño.



Capítulo I: Antecedentes



1.1. Chile Fresco

Chile es el nombre común de una planta y su fruto, pertenecientes a la familia de las Solanáceas que constituye uno de los productos más típicos de la alimentación en México. Las plantas están compuestas por un tallo leñoso, tipo arbusto; las flores casi siempre son blancas y a veces verdosas en la mayoría de las variedades; el fruto: técnicamente una baya, varía en coloración y tamaño de acuerdo a la variedad; puede ser de forma cónica alargada o esférica, a veces terminan en puntiagudo o aplanado (Codex Alimentarius, 2008).

1.1.1. Historia de género *Capsicum*

El conjunto de especies de *Capsicum* fue descrito por primera vez por Joseph Pitón de Tournefort en 1700, siendo motivo de controversia el origen de la denominación, en este sentido, Fuchs en 1542 y otros tratadistas señalaron que en el siglo XIII el naturalista Actuarius le dio al género el nombre latino de “*Capsicon*” por su relación con “*capsa*” o “*capsula*”, lo cual significa cesto o caja, haciendo alusión a la forma de los frutos; otro grupo de investigadores señaló que el nombre se deriva de las palabras griegas “*kaptein*” o “*kapto*” que significa “morder”, debido a la pungencia de las bayas, la cual es causada por la presencia de uno o más de los 14 alcaloides conocidos como capsaicinoides, atributo condicionado genéticamente cuya expresión se ve afectada por el ambiente (Medina, Lobo & Farley, 2006).

Los frutos de este conjunto de especies fueron conocidos con diversos nombres por parte de las comunidades ancestrales del neotrópico, así, en las Antillas los frutos fueron llamados “*axi*” en el extinto lenguaje Arawak del Caribe, palabra de la cual se derivó el nombre españolizado *ají*, *agí* o *ajé*; en la publicación de Orbo Novo, escrita en el siglo XVI, se señaló que los nativos llamaban “*boniatum*” a los *axi* dulces y “*caribe*” a los *axi* picantes, lo cual significaba fuertes (Andrews, 1995); las especies también fueron nominadas “*chili*”, palabra del idioma Náhuatl de los Aztecas, a partir de la cual se derivaron los vocablos *chile*, *chili* y *chilli* (Bosland, 1996). En México el chile se cultiva y usa como alimento en la dieta diaria de la población, se le considera uno de los principales centros de domesticación del género *Capsicum*, en particular de la especie *annuum*, que es la más importante, en el país se cultivan diferentes tipos que tienen forma, tamaño, color y sabores muy diversos, siendo más importantes los de mayor área sembrada y volumen de producción (Laborde & Pozo, 1982).

Los especialistas en la evolución del chile lo han clasificado en cinco especies domesticadas (Codex Alimentarius, 2008):



- *Capsicum annuum* var. *annuum* es la especie domesticada en México y Guatemala.
- *Capsicum frutescens* con centro de origen la Cuenca del Amazonas.
- *Capsicum chinense* con centro de origen la Cuenca del Amazonas.
- *Capsicum pubescens* con centro de origen en los Andes (Perú-Bolivia).
- *Capsicum baccatum* var. *pendulum* con centro de origen en las Zonas bajas de Bolivia.

La especie *Capsicum annuum* var. *annuum* que es originaria de México, es la que presenta mayor variabilidad de formas cultivadas, se encuentra distribuida en todo el mundo y tiene amplia diversidad de tamaños, formas, colores, rango de maduración y grado de pungencia; la pungencia o picor es una característica única del chile (*Capsicum spp.*) y su nivel depende de la concentración en el fruto de los alcaloides denominados capsaicinoides [principalmente la capsaicina (8-metil-N-vanillil-6-nonenamida, $C_{18}H_{27}NO_3$)], pues, es cien veces más picante que la pimienta y es la responsable de la sensación de ardor, e incluso dolor, en la mucosa oral, estimula las secreciones gástricas y se sabe que esta molécula es capaz de actuar sobre fibras no mielinizadas delgadas, activando a ciertas sub-poblaciones de neuronas sensoriales. La capsaicina también posee cualidades descongestivas y, a concentraciones adecuadas, favorece en el cerebro la producción de endorfinas que incrementan el metabolismo liberando más saliva y sudor (López, 2013).

La escala Scoville es una medida de picor en los chiles, el número de unidades Scoville (SHU, del inglés *Scoville Heat Units*) indica la cantidad presente de capsaicina, muchas salsas picantes usan esta escala para publicitarse en los centros comerciales.

Esta escala fue nombrada por Wilbur Scoville, quien desarrolló “el examen organoléptico Scoville en 1912”, originalmente consistía en extracto del chile diluido en agua azucarada, el comité de examinadores (normalmente cinco) tenía que beber la solución a sorbos, incrementando la concentración de dilución hasta alcanzar el punto en el cual el líquido no provocaba ardor en la boca; entonces le asignaban un valor numérico basado en la cantidad que se había diluido antes de que se perciba alguna pungencia (Universidad de las Américas Puebla, 2005).

El nivel de picante puede variar de una planta a otra, debido a las condiciones medioambientales y del suelo en que se encuentra la planta, esto se puede apreciar en la Tabla 1, así, un pimiento verde, que no contiene capsaicina, tiene cero en la escala Scoville, sin embargo, entre los chiles más picantes se encuentra el Carolina Reaper con 2,200,000 unidades Scoville y este se produce



en Carolina del Sur, EUA; mientras que el chile jalapeño cuenta con 5,000 unidades Scoville, esto indica que el extracto fue diluido 5,000 veces antes que la capsaicina fuese indetectable (Eslava & Zepeta, 2011).

Tabla 1

Escala Scoville para determinar las unidades de capsaicina que contienen los diferentes tipos de chiles

Unidades Scoville	Tipo de Chile
15,000,000	Capsaicina pura
2,000,000–5,300,000	Gas pimienta
1,569,300–2,200,000	Carolina Reaper HP22B (Carolina del Sur, EUA)
1,200,000–2,009,321	Trinidad Moruga Scorpion Red (Trinidad y Tobago)
1,169,058–1,850,000	7 Pot Chocolate (Trinidad y Tobago)
800,000–1,382,118	Naga Viper (Inglaterra)
800,000–1,001,300	Bhut Jolokia ó Chile Fantasma (India)
350,000–575,000	Habanero Savinas Roja (California, EUA)
100.000–350.000	Chile habanero (Yucatán, México)
100.000–200.000	Jamaican Hot Red (Jamaica)
50.000–100.000	Chile Thai, Chile Malagueta, Chile Chiltepín, Chile Piquín
30.000–50.000	Pimienta Roja o de Cayena, Chile Picante Peruano, Chile Tabasco, algunos Chiles Chipotle
10.000–23.000	Chile Serrano, algunos Chiles Chipotle
5.000–8.000	Variedad de Nuevo México del Chile Anaheim, Chile Húngaro de cera
2.500–5.000	Chile Jalapeño , Pimiento de Padrón, Salsa Tabasco
1.500–2.500	Chile Rocotillo
1.000–1.500	Chile Poblano
500–1.000	Chile anaheim
100–500	Pimiento, pepperoncini
0	No picante, Pimiento Verde

Fuente: Escala Scoville de Pimientos Picantes, 2015.

1.1.2. Morfología y taxonomía del género *Capsicum Annuum*

El fruto en algunas variedades se hace curvo cuando se acerca a la madurez, el color verde de los frutos se debe a la alta cantidad de clorofila acumulada; los frutos maduros tornan color rojo o amarillo debido a la presencia de otros pigmentos. Dentro de las especies cultivadas de los chiles *Capsicum annuum L.* es la más ampliamente conocida y la de mayor importancia económica, ya que presenta una distribución mundial, México es el país que presenta la mayor variabilidad de formas cultivadas y silvestres, esta diversidad ha sido descrita con base en la clasificación comercial de los frutos, realizada dentro de los diversos tipos de chile (Cabrera & Rivera, 2015). La taxonomía de esta planta se muestra en la Tabla 2.

Nombre científico: *Capsicum annuum L.*

**Tabla 2***Clasificación taxonómica*

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>C. annuum</i>

Fuente: Nuez, Gil & Costa, 1996.

Planta: herbácea perenne con ciclo de cultivo anual de porte variable entre los 0,5 metros (en determinadas variedades de cultivo al aire libre) y más de 2 metros (gran parte de los híbridos cultivados en invernadero).

Sistema radicular: pivotante y profundo (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 centímetros y 1 metro.

Tallo principal: tiene crecimiento limitado y erecto, a partir de cierta altura (“cruz”) emite dos o tres ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo.

Hoja: entera, lampiña y lanceolada, con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un peciolo largo y poco aparente. El haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad) y brillante.

Flor: aparecen solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas, son pequeñas y constan de una corola blanca.

Fruto: baya hueca, semi cartilaginosa y deprimida, de color variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco); algunas variedades van pasando del verde al anaranjado y al rojo a medida que van madurando, su tamaño es variable, pudiendo pesar desde escasos gramos hasta más de 500 gramos; las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central. Son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 centímetros (Comité Nacional Sistema Producto Chile, 2014).

El fruto *Capsicum* se observa en la figura 1, este se comprende de 8 partes que son: el pericarpio, placenta, ápice, cáliz, hombro, glándulas de capsaicina, semillas y pedúnculo; el pericarpio es la pared del fruto que conforma aproximadamente el 38% del *Capsicum*, en él se distinguen 3 capas: el exocarpio es la capa externa, delgada y poco endurecida, el mesocarpio es una capa



intermedia y carnosa, el endocarpio que es la capa interior y de consistencia poco leñosa; en promedio, la placenta comprende el 2% del chile, 56% de semillas y un 4% de pedúnculo; el ápice es la punta del fruto, el cáliz es la parte inferior del pedúnculo que está en contacto con el pericarpio, que a su vez a esta parte del pericarpio se llama hombro y por último las glándulas de capsaicina que se encuentran en el punto de unión de la placenta y la pared del pericarpio, por lo que la capsaicina se extiende de modo no uniforme a través del interior del fruto y se concentra mayormente en el tejido placentario y en el pericarpio (UDLAP, 2005).

1.1.3. Composición Química de *Capsicum Annuum*



Figura 1. Anatomía del Chile (Manrique, 2013).

En este fruto se lleva a cabo la síntesis de numerosos compuestos, denominados metabolitos primarios y metabolitos secundarios, entre estos últimos se encuentran: aceites volátiles (limoneno), ácidos orgánicos (ascórbico, cítrico), alcaloides (capsaicina, eugenol), carotenoides (capsantina), luteína y tocoferol.

Los capsaicinoides como la capsaicina y la dihidrocapsaicina, entre otros, son los responsables de la pungencia; la capsaicina es un metabolito secundario, se trata de un compuesto orgánico de nitrógeno de naturaleza lipídica, es un vaniloide natural (químicamente es 8-metil-N-vanilil-6-nonamida), aunque en muy baja concentración en los pimientos morrones, puede sobrepasar el 1% en las especies muy picantes (Cabrera & Rivera, 2015).



Otros componentes presentes en este fruto son los tocoferoles (α -tocoferol), que son precursores de la vitamina E, a la que se le atribuye la capacidad de reducir la oxidación enzimática de lípidos, además están presentes vitaminas como: la niacina, el retinol (vitamina A) y un alto contenido de ácido ascórbico o vitamina C, la que en ocasiones en cantidades de 50 y hasta 360 mg/100g. Por otra parte, una sustancia altamente benéfica presente en los chiles picantes es el triptófano, un aminoácido esencial difícil de encontrar en los vegetales, pero abundante en la carne animal, el cual interviene en los procesos intelectuales. Además contiene grasas vegetales, hidratos de carbono, calcio, hierro y fósforo (Waizel & Camacho, 2016). La composición química por 100 gramos de fruto se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3
Composición Química del chile jalapeño

Componente	Cantidad por cada 100 g
Valor energético (kcal)	23
Agua (%)	92.30
Proteína (g)	1.20
Grasa total (g)	0.10
Carbohidratos (g)	5.30
Cenizas (g)	0.70
Minerales (mg)	
Calcio	25
Hierro	2.00
Potasio	340
Sodio	7
Zinc	0.30
Vitaminas (mg)	
Tiamina	0.06
Riboflavina	0.04
Niacina	0.60
Vitamina C (mcg)	72
Vitamina A (mcg)	20
Vitamina B6	0.28
Ácidos grasos (g)	
Mono-insaturados	0.00
Poli-insaturados	0.05
Saturados	0.01

Fuente: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 2012.

Importancia Económica

El chile es el saborizante más utilizado en México y a nivel mundial, por lo tanto se ubica entre las siete hortalizas más cultivadas; esto se debe a los diferentes tipos de chiles cultivados y silvestres; además tiene diversos usos que se da a los frutos, para consumo como alimento



directo o procesado en salsas, polvo o encurtido, la importancia económica de este cultivo es evidente (Baltazar, 1998). Entre la gran variedad de chiles, el chile Jalapeño (*Capsicum annum L.*) es uno de los de mayor importancia económica por su amplio consumo, alta rentabilidad y gran demanda de mano de obra.

1.1.4. Producción Internacional

Actualmente el chile, en sus diferentes variedades, es una especie importante a nivel mundial; una de cada cuatro personas consume diariamente chile. El auge mundial se debe a la variabilidad de usos y consumos ya sea de frutos en estado fresco (verde y maduro) o en encurtidos, salsas, secos, polvos, etc.

El cultivo de chile se ha consolidado con una tendencia creciente en los últimos años, en el 2013, a nivel mundial, México registra el segundo lugar en la producción con 2, 294,400 ton., China ocupa el primer lugar con 15,800,000 ton siendo 7 veces más grande la producción que la mexicana (FAO, 2015).

En un comparativo entre los años 2014, 2013, 2012 y 2011 China ha mantenido el primer lugar, su producción ha crecido 300,000 Ton en estos años. México ha presentado un crecimiento de 162,660 Ton. Mientras que Turquía creció 184,079 Ton lo cual representa un mayor crecimiento que el registrado en tres años por México, aunque el segundo lugar en producción mundial lo ha mantenido ver Tabla 4.

Tabla 4
Comparativo producción mundial 2011-2014

Países	Producción (Ton) 2011	Producción (Ton) 2012	Producción (Ton) 2013	Producción (Ton) 2014
China Continental	15,500,000	15,600,000	15,800,000	16,120,406
México	2,131,740	2,379,736	2,294,400	2,732,635
Turquía	1,975,269	2,042,360	2,159,348	2,127,944
Indonesia	1,483,079	1,656,243	1,726,382	1,875,095
España	921,089	970,296	999,600	1,130,340
Estados Unidos de América	991,373	1,014,098	889,269	914,490
Egipto	670,434	650,054	655,442	601,289
Nigeria	449,594	500,000	510,000	539,599
Países Bajos	380,000	345,000	325,000	340,000
República de Corea	262,257	302,015	298,885	270,983

Fuente: FAO, 2015.



1.1.5. Producción Nacional

El chile es el 8° cultivo con mayor valor generado en la agricultura nacional, alcanzando alrededor de 13 mil millones de pesos anualmente, con un volumen de producción promedio de 2.2 millones de toneladas (2004 a 2014) como se observa en la figura 2, del cual se exportan cerca de 900 mil toneladas de chiles frescos, secos y en preparaciones (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación & Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2015).

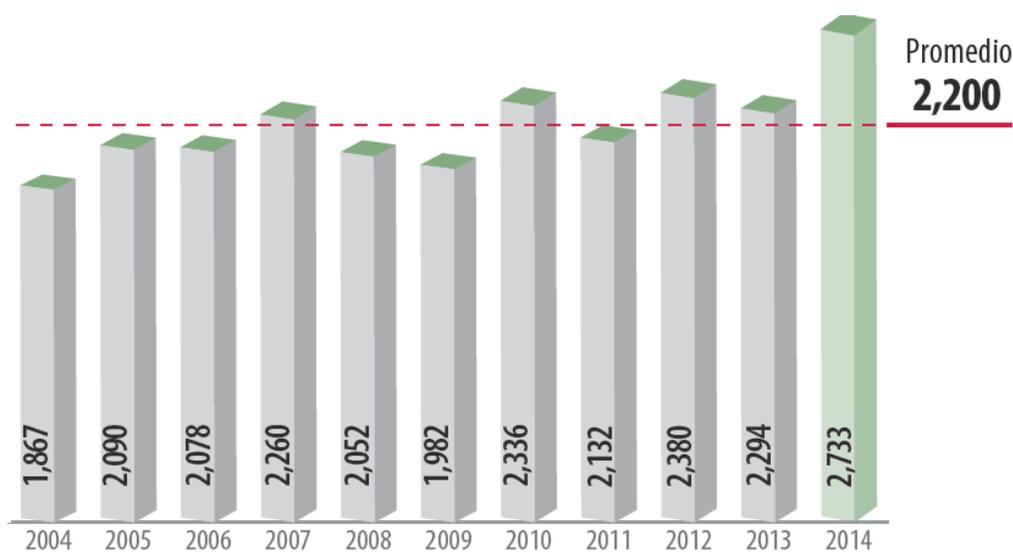


Figura 2. Volumen de la producción nacional 2004-2014 de chile verde (miles de toneladas) (SAGARPA & SIAP, 2015).

El volumen de las exportaciones nacionales de chile se incrementó 40 por ciento en los últimos seis años, lo que coloca al país como el principal exportador de variedades como el chile verde o el habanero a nivel mundial. La balanza comercial de chile verde superavitaria en 2014, ya que las exportaciones de poco más de 845 mil toneladas permitieron el ingreso de divisas por 560 millones de dólares, en comparación con los 55.2 millones de dólares obtenidos en las importaciones Figura 3. Estados Unidos, Canadá y España son los principales destinos de las exportaciones mexicanas de chile verde, aunque Rusia podría ser un mercado potencial para el chile verde mexicano, porque adquiere más de 100 mil toneladas anuales de frutos picantes (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2015).

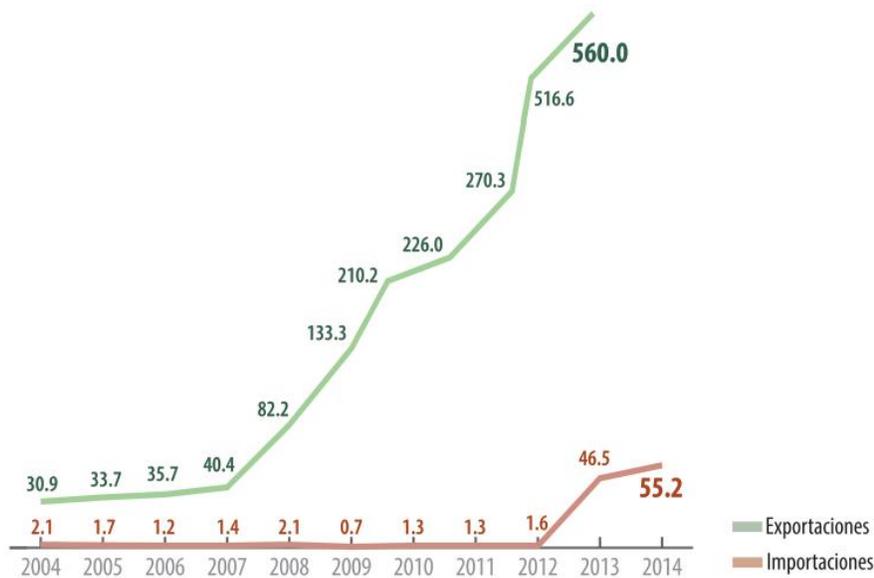


Figura 3. Evolución del comercio exterior (millones de dólares) (SAGARPA & SIAP, 2015).

El estado de Chihuahua es el principal productor de este fruto con 722 mil toneladas al año; le sigue los estados de Sinaloa con 604 mil y el estado de Zacatecas con 295 mil toneladas, en la Tabla 5 se nombran las principales en entidades productoras de Chile y se estima que el consumo anual per cápita es de 16 Kg (Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2016).

Tabla 5
Principales entidades productoras

Rank	Entidad Federativa	Volumen (Toneladas)	Variación (%) 2013-2014
1	Chihuahua	722,709	36.6
2	Sinaloa	604,774	9.5
3	Zacatecas	295,120	5.5
4	San Luis Potosí	169,230	-3.8
5	Michoacán	154,839	200.4
6	Jalisco	121,934	22.9
7	Sonora	109,732	55.8
8	Tamaulipas	106,077	15.7
9	Guanajuato	73,643	-6.3
10	Baja California Sur	59,197	82.6

Fuente: SAGARPA & SIAP, 2015.



1.1.6. Normatividad

La importancia del cultivo de chile en México es evidente tanto por la amplia distribución como por su consumo en el país, además, de un rango ambiental que permite su producción durante todo el año como se aprecia en la Figura 4 que desde septiembre a noviembre se cosecha poco más del 40% de la producción del chile (SAGARPA & SIAP, 2015).



Figura 4. Producción mensual nacional (%) (SAGARPA & SIAP, 2015).

A nivel nacional la norma NMX-FF-025-SCFI-2014 establece las condiciones, características y especificaciones de calidad que deben cumplir los chiles enteros en estado fresco (*Capsicum spp*) de las variedades chilaca, de árbol, habanero, jalapeño, manzano, poblano y serrano, destinados para consumo humano que se producen y comercializan en el territorio nacional.

La presente norma mexicana coincide básicamente con la norma internacional CODEX STAN 307-2011 que se aplica a las variedades comerciales de chiles (ajíes picantes) obtenidos de *Capsicum spp*, de la familia *Solanaceae*, que habrán de suministrarse frescos al consumidor, después de su acondicionamiento y envasado. Se excluyen los chiles destinados a la elaboración industrial.

1.1.7. Enfermedades

El cultivo del chile (*Capsicum annum L.*) es de gran importancia en México, debido a que nuestro país se considera como centro de origen de algunas especies, identificándose una gran diversidad de tipos que se encuentran ampliamente distribuidos en el territorio nacional; las principales plagas que afectan el cultivo de chile son: pulgones, araña roja, barrenillo del chile y moscas blancas, como todos los cultivos, el chile es susceptible de presentar daños físicos en cualquier etapa de su desarrollo; las enfermedades bióticas son causadas por hongos, bacterias, nematodos y virus, mientras que las enfermedades no bióticas o no infecciosas son causadas por factores extremos como temperatura, luz, humedad del suelo y por desbalance nutricional (Chew et al., 2008).

Aunque no todas las enfermedades se presentan en las diferentes regiones en donde se cultiva chile, éstas reducen la producción y calidad del fruto, por lo que su diagnóstico es el primer paso



para un manejo adecuado de las mismas, ya que de ello dependen las estrategias a seguir. Las enfermedades postcosecha más importantes se describen en la Tabla 6.

Tabla 6
Principales enfermedades postcosecha en el cultivo del chile

Enfermedad	Agente Causante	Síntomas	Métodos de control
<p>Alternariosis</p> 	<i>Alternaria</i> spp	El daño se inicia sobre la placenta, semillas y cara interna del fruto. Aparecen lesiones que en un principio son de color oscuro, pequeñas y de forma circular, con los márgenes bien definidos, posteriormente se agrandan y se puede observar un moho gris.	<ul style="list-style-type: none"> *Uso de semilla de frutos sanos. *Aspersiones foliales con funguicidas.
<p>Antracnosis</p> 	<i>Colletotrichum gloesporioides</i>	Inicia con una pequeña lesión de color blanquizco, que se torna hundida, amarillenta, de forma circular con un diámetro que puede variar de 1.0 a 3.5 cm, que comprende del 10 al 25% de la superficie del fruto.	<ul style="list-style-type: none"> *Eliminar los residuos de la cosecha anterior. *Rotación de cultivos. *Semillas sanas. *Aspersiones foliales a base de Mancozeb.
<p>Podredumbre blanda de los frutos</p> 	<i>Erwinia carotovora</i>	Depresiones acuosas y blandas en cualquier parte del fruto siempre y cuando exista alguna lesión física, mecánica o por insectos en la epidermis del fruto. Inicia por el pedúnculo y emigra a la parte carnosa de la epidermis del chile, produciendo una masa flácida totalmente acuosa.	<ul style="list-style-type: none"> *Evitar siembras continuas en un mismo lote. *Rotaciones de cultivo. *Trasplantes de chile en suelos de textura franca (suelta).
<p>Enfermedades de naturaleza viral</p> 	<p>Virus Jaspeado del Tabaco (VJT)</p> <p>Virus Mosaico del Tabaco (VMT)</p> <p>Virus Mosaico del Pepino (VMP)</p>	<p>VJT: Deformaciones del fruto</p> <p>VMT: Frutos con manchas o moteados amarillos, disminución del tamaño, deformaciones.</p> <p>VMP: Deformaciones de los frutos, manchas de color verde oscuro, maduración irregular.</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Semilla desinfectada. *Barreras vivas.

Fuente: López, 2007.



1.2. Pérdidas postcosecha

Todas las frutas, hortalizas y raíces son parte de plantas vivas que contienen de un 65 a un 95 por ciento de agua y cuyos procesos vitales continúan después de la recolección, su vida después de la cosecha depende del ritmo al que consumen sus reservas almacenadas de alimento y del ritmo de pérdida de agua, cuando se agotan las reservas de alimentos y de agua, el producto muere y se descompone, cualquier factor que acelere el proceso puede hacer que el producto se vuelva incomedible antes de que llegue al consumidor; es difícil calcular las pérdidas de producción en los países en vías de desarrollo, pero algunas autoridades estiman las pérdidas en productos hortofrutícolas de 20 a 50% y en países desarrollados presentan pérdidas postcosecha de 5 a 25% (Polit, 2013).

En la Tabla 7 se presentan las principales causas de las pérdidas postcosecha, aclarando que todas están relacionadas entre sí, y en ellas influyen condiciones externas tales como la temperatura y la humedad relativa.

Tabla 7

Principales causas de las pérdidas postcosecha

Causas	Características
Deterioro fisiológico	Se intensifican cuando intervienen condiciones que aceleran el proceso natural de deterioro, cuando se expone a temperaturas extremas, a modificaciones de la composición de la atmósfera o a contaminación y daños físicos, sufre un deterioro fisiológico anormal, que puede causar sabores desagradables, la detención del proceso de maduración u otras modificaciones de los procesos vitales, y puede dejar de ser apto para el consumo.
Daños mecánicos	La manipulación negligente del producto fresco es causa de magulladuras internas, aplastamientos, perforaciones causadas por astillas y raspaduras que dan lugar a un deterioro fisiológico anormal o a hendiduras y grietas de la piel, que aumentan rápidamente la pérdida de agua y aceleran el proceso normal de modificaciones fisiológicas. Las grietas en la piel también propician las infecciones por los organismos patógenos causantes de la descomposición.
Enfermedades y Plagas	Toda materia viva está expuesta a ataques de parásitos, el producto fresco puede quedar infectado, antes o después de la cosecha, por enfermedades difundidas por el aire, el suelo y el agua, algunas enfermedades pueden atravesar la piel intacta del producto, mientras que otras solo pueden producir infecciones cuando ya existe una lesión, ese tipo de daños es probablemente la causa principal de pérdidas de producto fresco.

Fuente: Cabrera & Rivera, 2015.

1.2.1. Principales hongos

Los géneros *Alternaria*, *Botrytis*, *Colletotrichum* y *Fusarium*, son conocidos como algunos de los principales causantes de las alteraciones más frecuentes en chiles, especialmente las referidas al aspecto físico, valor nutricional, características organolépticas y dificultad de conservación,



así como las alergias e intoxicaciones en los consumidores, debido a que producen estructuras especializadas que se depositan sobre el producto, penetran, invaden y eventualmente colonizan masivamente el tejido para causar daño y posteriormente segregar sustancias, consecuencia de su metabolismo secundario (Trigos, Ramírez & Salinas, 2008).

1.2.1.1. *Alternaria spp.*

Alternaria es un género fúngico muy común, donde se incluyen numerosas especies saprofitas, endofíticas y patógenas ampliamente distribuidas en el suelo y la materia orgánica en descomposición, incluye especies patógenas que pueden invadir los cultivos vegetales antes y después de la recolección y es responsable de considerables pérdidas económicas, debido a que reduce el rendimiento de las cosechas y produce alteraciones en los frutos durante su almacenamiento (Pavón et al., 2012).

La enfermedad causada por *Alternaria spp* es conocida como Alternariosis se caracteriza porque su daño lo inicia sobre la placenta, semillas y cara interna del fruto; por lo cual es sumamente difícil determinar la presencia de este patógeno en frutos en madurez fisiológica o comercial, destinados para la venta y solo es posible detectar síntomas por la infección de este patógeno en los frutos destinados para la producción de semilla, ya que es en esta fase donde se pueden apreciar lesiones, que en un principio son de color oscuro, pequeñas y de forma circular, con los márgenes bien definidos. Paulatinamente las lesiones o manchas se agrandan, se hunden ligeramente y se puede observar un moho gris oscuro o negro que puede cubrir parcial o totalmente la lesión.

Las esporas de *Alternaria* en campo, se desarrollan óptimamente cuando se registran temperaturas medias diarias de 15 a 20°C y existe alta humedad relativa en el ambiente; condiciones que generalmente se presentan en los días nublados, durante la temporada de lluvias.

Para evitar las infecciones por semilla es conveniente utilizar aquella procedente de frutos sanos, en caso contrario es conveniente e indispensable la desinfección de la misma, utilizando para tal fin el fungicida Clorotalonil en dosis de 100 gramos por kilogramo de semilla.

En almacén y centros de comercialización se recomienda realizar una manipulación cuidadosa de los frutos, para evitar daños mecánicos que sirvan de entrada al patógeno, eliminar frutos



infectados y dañados por picudo. Asimismo, es conveniente guardar los canastos en sitios sombreados, ventilados, cubiertos con telas a base de fibras naturales y evitar almacenamientos prolongados (Agrios, 1995).

1.2.1.2. *Colletotrichum gloeosporioides*

Colletotrichum es un género que comprende un número de especies importantes, los cuales se encuentran entre los patógenos fúngicos más prevalentes que causan enfermedades de postcosecha en los frutos de Chile; prácticamente todos los cultivos en todo el mundo son susceptibles a una o más especies de *Colletotrichum*, es un patógeno postcosecha ya que las infecciones latentes, que se iniciaron antes de la cosecha, no se activan hasta después de que la fruta ha sido almacenada o aparezca en el mercado. Hasta el 100% de la fruta almacenada se puede perder como resultado de la enfermedad *Colletotrichum* (Prusky, 1996).

Generalmente, la enfermedad causada por *Colletotrichum gloeosporioides* es comúnmente conocida como antracnosis o manchado del fruto y se presenta durante la temporada de lluvias y principalmente en frutos maduros tanto en campo, como en los centros de comercialización. El daño puede ocurrir en cualquier parte del fruto, sin embargo, es más frecuente observarla en el tercio superior del Chile, el síntoma inicial consiste en una pequeña lesión de color blanquizco, que conforme avanza en su desarrollo se torna hundida, amarillenta de forma circular con diámetro que puede variar de 1.0 a 3.5 centímetros, que comprende del 10 al 25% de la superficie del fruto. En un principio la lesión es de consistencia acuosa y finalmente necrótica y blanda. La periferia de la lesión puede presentar un anillo de color amarillo, seguido de otro de color negro (López, 2007).

Cuando las condiciones ambientales favorecen el desarrollo del patógeno, la infección se extiende hasta el interior del fruto dañando y contaminando todas las semillas. Estas presentan manchas ligeramente hundidas en la testa, de tamaño variable y de color café oscuro; además en exterior del fruto pueden observarse masas de esporas de *C. gloeosporioides* de color naranja o ligeramente cafés que generalmente forman anillos concéntricos.

Este patógeno generalmente inverna en forma de spora en los residuos vegetales de la cosecha anterior. Como spora y/o micelio sobre la testa de las semillas y dentro de la semilla como



micelio en los chiles infectados y se desarrolla particularmente en la época de altas precipitaciones y por lo tanto alta humedad relativa.

Para disminuir los daños de la antracnosis del chile, es importante destruir los residuos de la cosecha anterior y realizar la rotación de cultivos por lo menos durante cuatro ciclos de mayor impacto, para el tratamiento de las semillas de chile se recomienda el uso de Benomil en dosis de 100 gramos por kilogramos de semilla (López, 2007).

1.2.1.3. *Botrytis cinerea*

Uno de los organismos más comunes que causan pudrición en los chiles es *Botrytis cinérea* y la enfermedad ocasionada por este microorganismo se llama moho gris o podredumbre gris ya que produce abundante micelio gris y conidióforos largos y ramificados, las células apicales son redondeadas, contienen conidios ovoides, unicelulares de color gris.

En frutos la lesión se inicia en la intersección del pedicelo y por contacto con hojas o flores enfermas o con el suelo, en el fruto aparece como una mancha circular, blanda, de color marrón claro, más tarde oscura y se puede extender en toda la fruta; en postcosecha los frutos con daños por frío o en conservación por frío suelen ser atacados, se visualiza una masa de esporas de color gris (Rosas, 2011).

Se recomienda como método de control evitar humedades altas, riego por aspersión, bajas temperaturas y exceso de abono nitrogenado, se debe asegurar aireación y aplicación de fungicidas, también se puede reducir su presencia manteniendo la higiene en el campo y evitando los daños por el manejo; se puede controlar efectivamente, sin dañar los frutos, mediante inmersiones de los chiles en agua caliente (55°C) durante 4 minutos. (CAMAGRO, 2005). Los fungicidas utilizados son: captan, tiram, carbendazim, vinclozolin, benomilo, procimidona, iprodiona, diclofluanidam, clortalonil, etc. Se han reportado buenos resultados en la aplicación al follaje *Trichoderma* spp., inhibidores de etileno y antitranspirantes.

1.2.2. Principales bacterias

Las enfermedades por bacterias necesitan de heridas en epidermis o estomas para poder entrar en el fruto, viven en tejido vivo y en materia orgánica muerta.



1.2.2.1. *Erwinia carotovora*

Este microorganismo causa una enfermedad que se le conoce con el nombre de pudrición blanda del fruto, por lo general se presenta durante el ciclo de producción primavera-verano, los daños de la bacteriosis se presentan sobre el fruto en forma de depresiones acuosas y blandas, pueden observarse en cualquier parte del fruto, siempre y cuando exista una lesión física, mecánica o por insectos en la epidermis del chile; en la planta la infección de la bacteria inicia por el pedúnculo del fruto de donde emigra a la parte carnosa de la epidermis del chile, para continuar creciendo a lo largo del fruto y si las condiciones ambientales le son favorables en un periodo no mayor a 96 horas, infecta completamente el chile (López, 2007).

La pudrición de los frutos es una enfermedad que tiene como agente causal a la bacteria *Erwinia carotovora*; la cual, inverna en los frutos infectados en campo o almacén y se disemina fácilmente por el viento, salpicado del agua de lluvia, aperos de labranza, agua de riego y el hombre mismo; sin embargo, para que infecte a los frutos necesariamente requiere de una abertura, ya sea natural o inducida. La mayor incidencia de la bacteriosis ocurre, cuando los frutos presentan lesiones del picudo y en el ambiente prevalecen días lluviosos y nublados ver Figura 5.



Figura 5. Fruta afectada por *Erwinia* después de 12 horas de ser cosechada (Lardizábal, 2002).

Para el control de la pudrición blanca de chile se recomienda lo siguiente:

- Evitar siembras continuas en un mismo lote.
- Realizar rotaciones de cultivo con ajo, maíz, sorgo o alfalfa.
- Realizar un estricto control de picudo o barrenillo del chile.



- No cosechar si el fruto esta húmedo o está lloviendo.
- Cubrir el jalapeño en los camiones durante el transporte para protección contra la lluvia.
- Recolectar y enterar todos los chiles que presenten síntomas de la infección Figura 6.
- Tratar con agua clorada los chiles destinados para la producción de semilla.

Con la ejecución de estas actividades culturales y sanitarias, se pueden disminuir considerablemente las infecciones por *E. carotovora* en campo, a tal grado que no excede niveles de incidencia del 5%.

En los centros de comercialización para evitar mayores pérdidas lo más conveniente es la eliminación de los frutos que presenten daños físicos, mecánicos o por insectos, principalmente, aquellos que tengan orificios ocasionados por el picudo o barrenillo de chile.



Figura 6. Fosa para enterrar el chile con pudrición blanda o picudo (Lardizábal, 2002).

1.2.3. Principales virus

Casi todas las enfermedades virales causan cierto enanismo en la planta y una reducción total de la producción y generalmente las plantas infectadas tienen un ciclo vegetativo más corto, los síntomas más comunes causados por los virus incluyen enanismo, mosaicos, moteados, necrosis, clorosis y deformaciones (Agrios, 1995). A nivel nacional se han reportado 13 especies de virus, incluyendo TEV (Virus jaspeado del tabaco), CMV (Virus mosaico del pepino), TMV (Virus del mosaico del tabaco), PVY (Virus Y de la papa), PMMoV (Virus moteado atenuado del chile), INSV (Virus mancha necrótica del impaciente), PepMV (Virus moteado del chile), AMV



(Virus del mosaico de la alfalfa), TbRV (Virus cascabel del tabaco), TBSV (Virus del achaparramiento arbustivo del tomate), TRSV (Virus mancha anular del tabaco) y TSWV (Virus de la marchitez manchada del tomate) (Pérez et al., 2004; Robles et al., 2010).

Con los virus se tiene una capacidad de control limitada, no se pueden aplicar métodos directos químicos ya que son tóxicos a las plantas, en algunos casos los síntomas son suficientes para identificar ciertas especies de virus; sin embargo, para su identificación plena, es fundamental el uso de métodos más confiables y rápidos como ELISA, PCR y RT-PCR; la técnica de ELISA se ha convertido en una valiosa herramienta de detección, debido a que su sensibilidad permite detectar concentraciones muy bajas del patógeno y, además se puede procesar muchas muestras al mismo tiempo; la técnica RT-PCR es muy confiable y tiene como función obtener millones de copias a partir de una mínima cantidad de ARN en pocas horas (Lehninger & Cox, 2006). La virosis del chile representa un riesgo importante para la producción del cultivo en México, ya que no sólo afecta el rendimiento del cultivo sino también la calidad del fruto.

En México se reportan las primeras enfermedades virales en 1966 en la región de las Huastecas, en la actualidad, afectan calidad del fruto y rendimiento en todas las áreas productoras del país, con niveles de infección que varían de 20 a 100% de daño (Chew et al., 2008), a continuación se describen algunos de los virus más frecuentes en el cultivo de chile.

Virus Mosaico del Pepino (CMV: Cucumber mosaic virus)

Los síntomas provocados por la infección del CMV pueden ser muy variables, dependiendo de la variedad infectada y de la edad de la planta al momento de la infección. La sintomatología atribuida a la infección por este virus ha sido investigada principalmente en plantas de chile de los tipos Serrano, Jalapeño, Bell y Anaheim y existe poca información acerca de los síntomas.

En las plantas de chile inoculadas artificialmente con este virus bajo condiciones de campo se observaron lesiones locales cuyos síntomas comprendían anillos necróticos y patrones en forma de hoja de encino; también se produjeron lesiones sistemáticas en hojas que mostraron un mosaico verde amarillo y exhibían menor tamaño y fueron más angostas, los frutos de las plantas inoculadas fueron de menor tamaño, deformes y de color verde pálido aunque también se observaron frutos con manchas oscuras hundidas (Agrios, Walker & Ferro, 1985). Los primeros síntomas sistémicos típicamente incluyen una clorosis de las hojas jóvenes que pueden



presentarse en la porción basal de la hoja o cubrirla enteramente; las hojas nuevas emergen mostrando un mosaico clorótico que tiene a cubrir la hoja entera; las siguientes hojas pueden mostrar diversos grados de deformación así como venas prominentes y un color verde opaco en contraste con el verde oscuro brillante de las hojas en plantas sanas, ver Figura 7.



Figura 7. Síntomas de virosis en follaje y fruto de chile (Chew et al., 2008).

Las plantas infectadas pueden mostrar enanismo aunque este síntoma será más severo si la infección ocurre en etapas tempranas de desarrollo de la planta, en los frutos se pueden observar manchas anilladas o áreas ásperas que conducen a la pérdida de valor comercial.

El Virus Mosaico del Pepino se dispersa y transmite por más de 60 especies de áfidos, pero los más eficientes son *Aphis gossypii*, *A. fabae*, *Macrosiphum euphorbiae* y *Myzus persicae*. La transmisión se efectúa de una manera no persistente; los pulgones necesitan alimentarse de plantas infectadas solo por unos segundos para adquirir al virus y posteriormente transmitirlo a otras partes de la planta o a plantas cercanas; la habilidad para transmitirlo se pierde en poco tiempo (aproximadamente 2 horas) (Chew et al., 2008).

Virus Mosaico del Tabaco (TMV: Tobacco mosaic virus)

Los síntomas causados por este virus pueden cambiar de acuerdo con la temperatura, intensidad lumínica, edad de la planta al momento de la infección, cepa del virus y variedad de chile, sin embargo, un mosaico clorótico y distorsión de hojas son los síntomas más comunes. También



se ha indicado la necrosis de las yemas y deformación de los frutos, los cuales son más pequeños que los de las plantas sanas (Arcos et al., 1998).

Las principales fuentes de inóculo son residuos de plantas infectadas, aunque se puede transmitir mecánicamente, pueden ser acarreado por cualquier objeto que se ponga en contacto con las plantas o residuos infectados como maquinaria, herramienta y trabajadores especialmente si fuman.

Dorado del fruto

En la parte de Durango que conforma la Comarca Lagunera reportan una incidencia (porcentaje de frutos dañados) de esta enfermedad que oscila entre 5 y 60%, la sintomatología involucra principalmente a los frutos de chile jalapeño y consiste en una apariencia de tostado o quemado de los frutos como se observa en la Figura 8 (Velásquez et al., 2013).



Figura 8. Síntomas del “Dorado del Fruto” en chile jalapeño (Chew et al., 2008).

Virus Jaspeado del Tabaco (TEV: Tobacco etch virus)

En la República Mexicana no existe información sobre las pérdidas provocadas por este virus, sin embargo, en el estado norteamericano de Georgia el promedio de incidencia de este patógeno



durante un periodo de cinco años fue de 90 hasta 100% mientras que las pérdidas en ese mismo periodo variaron entre 15 y 50% (Kuhn, Nutter & Padgett, 1989).

Se han observado síntomas como mosaicos y bandas anchas de color verde oscuro en las hojas. Las plantas infectadas también pueden mostrar enanismo y distorsión foliar (Black et al., 1991). Los frutos producidos en plantas infectadas se deforman y toman una coloración amarillenta que reduce su calidad (Robles et al., 2010).

La diseminación primaria y secundaria del TEV ocurre por medio de áfidos o pulgones que lo transmiten de manera no persistente; más de 60 especies de estos insectos han sido identificados como vectores del virus; ente ellos destacan *M. persicae*, *M. euphorbiae*, *A. gossypii*, *A. citricola*, *A. craccivora*, *A. spiraecola* y *A. fabae*. El TEV generalmente produce deformaciones del fruto; sin embargo en los lotes de producción de chile lo más frecuente es la presencia de dos o más virus dañando los frutos (Velásquez et al., 2013).

En las parcelas de chile, como se señaló anteriormente, es frecuente encontrar más de un virus ocasionando los daños a la planta o los frutos, por lo cual las medidas de control deben contemplar una integración de prácticas, actividades o técnicas que permitan mantenerlos en los índices que sus daños no sean significativos, es decir se requiere de una cultura que permita la convivencia entre el hombre y las enfermedades de naturaleza viral. En función a ello se recomienda:

1. Semilla: Utilizar semilla desinfectada, esto se puede realizar por el tratamiento de Imidacloprid, en dosis de 90 gramos por kilogramo de semilla.
2. Producción de plántula: Las plántulas de chile se producirán en charolas de unicel y se debe utilizar un sustrato orgánico aséptico y estéril. Esto debe hacerse de preferencia en invernaderos, a fin de favorecer el rápido crecimiento y desarrollo de las plantas de chile.
3. Barreras vivas: Establecer de dos a cinco surcos de maíz o sorgo alrededor del cultivo, 20 o 25 días antes del trasplante, la barrera tiene como objetivo “limpiar” el aparato bucal de los áfidos que transmiten virus no persistentes y sirven como barreras físicas contra la mosquita blanca.
4. Época de trasplante: El trasplante se debe realizar cuando no exista una alta incidencia de los insectos vectores de virus. Se puede realizar durante todo el año; sin embargo, en



los trasplantes de mayo a julio ocurre la menor incidencia de enfermedades de naturaleza viral (Agrios, 1995).

5. Densidad de trasplante: Con el incremento de la densidad de población se busca una distribución homogénea del vector en el cultivo, es decir, al aumentar el número de plantas por vector la probabilidad de infección disminuye. En Chile se sugiere una densidad de 94,500 plantas por hectárea, la cual se logra estableciendo dos plantas por mata cada 30 centímetros, en surcos con una separación de 70 centímetros.
6. Aplicaciones pos trasplante: Al aplicar Imidacloprid proporciona un eficiente y eficaz control de los insectos vectores de virus y garantiza los bajos niveles de incidencia y severidad de virosis, hasta por 75 días después del trasplante. Por ello, la aplicación de este producto se debe realizar inmediatamente después del trasplante (hasta 4 días), empleando 1.0 L/ha e inyectándolo en el área del sistema radial.
7. Control de maleza: Mantener el cultivo libre de maleza, dentro y alrededor del mismo, durante todo el ciclo, a fin de evitar la oviposición, emergencia, desarrollo y migración de los vectores de virus.
8. Trampas amarillas: La trampa consiste en un bote cilíndrico de cualquier tamaño (1-20L) pintado de color amarillo y untado con grasa transparente, la distribución de las trampas puede ser en todo el cultivo con espaciamiento de 20m, o más; esta es una medida de control para áfidos y mosca blanca, consecuentemente disminuyen la incidencia de enfermedades por virus en el cultivo.

1.3. Tecnología postcosecha

Son técnicas que se pueden aplicar al fruto, después de cosecharlo. El fin de la tecnología postcosecha es el desarrollo de métodos que disminuyan en cuanto sea posible, el deterioro de los productos durante el periodo entre la recolección y su consumo (Wills et al., 1999).

En la Tabla 8 se muestran los principales tratamientos postcosecha aplicados en Chile para preservar la calidad.

**Tabla 8***Tecnologías postcosecha en chile jalapeño*

Método de Conservación	Principio	Ventajas
Altas temperaturas	Se fundamenta en la aplicación de agua, aire o vapor caliente que se aplica para el control de insectos y enfermedades. La técnica de inmersión en agua caliente es más eficaz que el aire caliente, debido al alto factor de transferencia de calor y es más fácil mantener una temperatura de 48 a 55°C por periodos de 3 a 15 min.	*Se utiliza en productos sensibles a daños por frío. *Controla plagas de insectos y enfermedades.
Refrigeración	Mantiene a los alimentos entre 0 y 5°C inhibiendo durante algunos días el crecimiento microbiano. Somete al alimento a bajas temperaturas sin llegar a la congelación. La temperatura debe mantenerse uniforme durante el periodo de conservación, dentro de los límites de tolerancia admitidos, en su caso, y ser la apropiada para cada tipo de producto. Las tecnologías y tratamientos disponibles solo pueden considerarse como complementos.	*Reducción de la velocidad metabólica del fruto. *Reduce la síntesis y acción del etileno. *Controla varios insectos y microorganismos.
Atmósferas controladas	Se refiere a todas aquellas atmósferas que son estrictamente controladas durante el periodo de almacenamiento o transporte de los productos hortofrutícolas. Se fundamenta en la aplicación de una atmósfera con concentraciones bajas de O ₂ y/o altas de CO ₂ , pero también otros gases pueden ser manipulados como son CO, etileno y propileno, entre otros.	*Mantienen la calidad nutricional de frutas y hortalizas. *Retardan la maduración y senescencia para prolongar la vida postcosecha. *Prevenir y/o controlar algunos desórdenes fisiológicos como son el daño por frío y el escaldado, entre otros. *Controlar enfermedades o pudriciones ocasionadas por microorganismos.
Irradiación	Es un método físico de conservación, consiste en exponer el producto a la acción de radiaciones ionizantes durante un cierto lapso, que es proporcional a la cantidad de energía que deseamos que el alimento absorba. Esta cantidad de energía por unidad de masa de producto se define como dosis, y su unidad es el Gray (Gy). Se aplica normalmente para inhibir los patógenos de las superficies de los productos de postcosecha y para proteger la calidad del producto. Por desgracia, son necesarias dosis muchos mayores que 1 kGy para destruir esporas, virus, levaduras y mohos. Estas dosis elevadas pueden provocar ablandamiento y el desarrollo de sabores extraños en los productos frescos y sobre todos pérdida de vitamina C.	*Inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos, sin introducir sustancias extrañas. *No afecta la estructura del fruto. *Prolonga el tiempo de comercialización, posibilitando alcanzar mercados internos y externos más lejanos.

**Tabla 8 (Continuación)***Tecnologías postcosecha en chile jalapeño*

Método de Conservación	Principio	Ventajas
Recubrimientos comestibles	Son películas biodegradables que se adhieren a la superficie del alimento creando una barrera semipermeable a gases como O ₂ , CO ₂ y al vapor de agua, lo que permite mantener la integridad del producto, mejoran sus propiedades mecánicas y retienen los compuestos volátiles.	*Al cubrir los frutos con una película comestible, se crea una atmósfera modificada en el interior del fruto que reduce la velocidad de respiración, y por tanto, el envejecimiento.

Fuente: Navarrete, 2009; Yahia & Ariza, 2001.

1.4. Generalidades de quitina y quitosán

Los polisacáridos son extremadamente comunes en la naturaleza y la celulosa es el compuesto orgánico más común en el planeta. Se dice que el segundo polisacárido más común del mundo después de la celulosa es la quitina. "La quitina es para los mariscos lo que la celulosa es para los árboles". La quitina es una molécula grande compuesta de -beta-1,4-N-acetilglucosamina (GlcNAc) monómeros. Hay tres formas de quitina: α , β y γ quitina. La forma α se obtiene principalmente de cangrejo y camarón. Tanto la quitina como el quitosán α y β están comercialmente disponibles (Miranda & Lizarraga, 2012).

Actualmente la mayor parte de la producción comercial de quitina se basa en su extracción del exoesqueleto de camarón, langostino, cangrejo y otros crustáceos. Esta fuente contiene un alto porcentaje de material inorgánico, principalmente CaCO₃ y un cálculo aproximado indica que para cada tonelada de quitina producida, se liberan 0,8 toneladas de CO₂ al medio ambiente. En vista de las preocupaciones actuales sobre el calentamiento global esto no puede ser considerado como un proceso realmente amigable con el medio ambiente (Roberts, 2006).

A pesar de la amplia difusión de la presencia de quitina, hasta ahora las principales fuentes comerciales de quitina han sido las cáscaras de cangrejo y camarón; en el procesamiento industrial, la quitina se extrae de los crustáceos mediante tratamiento ácido para disolver carbonato de calcio seguido de extracción alcalina a proteínas solubilizadas. Además, a menudo se añade una etapa de decoloración para eliminar los pigmentos sobrantes y obtener un producto incoloro. Estos tratamientos deben adaptarse a cada fuente de quitina pero por desacetilación parcial en condiciones alcalinas, se obtiene quitosán (Rinaudo, 2006). El quitosán es un copolímero compuesto por unidades de N-acetil-D-glucosamina y D-glucosamina, se obtiene



de tres maneras diferentes, desacetilación termoquímica de quitina en presencia de álcali, por hidrólisis enzimática en presencia de quitin desacetilasa, o se encuentra naturalmente en ciertos hongos como parte de su estructura. Los principales parámetros que influyen en las características del quitosán son su grado de desacetilación y su peso molecular, que afectan a la solubilidad, propiedades reológicas y físicas (Lárez, 2006).

Estos polisacáridos, tiene infinidad de aplicaciones, se describen algunas, mostrándose estas debido a la utilidad que pudieran tener en el desarrollo de áreas vitales como: agricultura (revestimiento de semilla, recubrimiento de hojas, liberación controlada de fertilizantes, biopesticida, bioinsecticida, etc.), tratamiento de aguas (floculantes, coagulantes, agentes de desmetalización, atrapamiento de colorantes), medicina (producción de glucosamina, cremas cicatrizantes, regeneración de tejido, piel artificial), cosméticos (adelgazantes, agente hidratante, aditivo bactericida en jabones) y alimentos (recubrimientos para agentes patógenos) (Miranda & Lizarraga, 2012).

1.4.1. Obtención de quitosán

El uso creciente de la quitina, así como se sus derivados, ha sido motivado al hecho de que al contrario de los derivados del petróleo, esta se obtiene de los subproductos de las industrias pesqueras, fuente naturalmente renovable, no tóxica y no alergénica; además, antimicrobiana y biodegradable.

La quitina es altamente insoluble en agua, esta propiedad limita sus aplicaciones; se disuelve rápidamente en ácidos concentrados, en algunos fluoroalcoholes y soluciones al 5% de cloruro de litio, lo que la hace poco práctica para su aplicación y presenta baja reactividad. Otras propiedades relevantes de este biopolímero son su alto peso molecular y su estructura porosa favoreciendo una levada absorción de agua (Tamura, Nagahama & Tokura, 2006).

La quitina obtenida se somete a un proceso llamado “desacetilar”, que significa quitar de la quitina parte de su estructura, el grupo acetilo, por tratamiento con álcali fuerte a altas temperaturas para obtener quitosán (Mármol et al., 2004).

La presencia de grupos aminas en la cadena polimérica ha hecho del quitosán uno de los materiales versátiles que se estudian desde hace ya algún tiempo, por la posibilidad de realizar una amplia variedad de modificaciones, tales como la reacciones de anclaje de enzimas, reacciones de injerto, obtención de películas entrecruzadas, etc., de las cuales se obtienen



materiales con propiedades adecuadas para aplicaciones inmediatas en biotecnología, biomedicina y agricultura (Lárez, 2003).

1.4.2. Aplicaciones del quitosán

Las aplicaciones de la quitina y quitosán son muy amplias, existiendo sectores en los que su utilización es habitual y conocida, y otros en los que constituye actualmente una interesante vía de investigación. A continuación se muestran algunas de las aplicaciones de estos biopolímeros.

- 1. Industria de Alimento y bebidas:** Tiene usos como aditivo en los alimentos (espesante, gelificante y emulsificante), como recubrimientos protectores comestibles en pan, huevo, frutas y hortalizas; el quitosán posee capacidad antioxidante y puede retardar la oxidación de lípidos e inhibir el crecimiento de bacterias de descomposición en la carne durante el almacenamiento. En el proceso de jugos de fruta clarificados se ha demostrado que el quitosán con carga positiva parcial posee propiedades aglutinantes de ácido (Imeri & Knorr, 1988), y es eficaz para ayudar a separar las partículas coloidales y dispersas de los desechos de procesamiento de alimentos.
- 2. Biomedicina:** Aplicaciones potenciales del quitosán solo pueden ser explotadas si sus formas utilizables se desarrollan y preparan adecuadamente, en solución y gel, puede usarse como un agente bacteriostático, fungistático y de revestimiento, los geles y suspensiones pueden desempeñar el papel de portadores para liberación lenta o acción controlada de fármacos, como medio de inmovilización y un material de encapsulación. La película y las membranas se utilizan en diálisis, lentes de contacto, apósitos y la encapsulación de células de mamífero, incluyendo cultivos celulares; las esponjas de quitosán se usan en los apósitos y para detener el sangrado en las membranas mucosas; las fibras de quitosán se usan como suturas reabsorbibles, no tejidas para apósitos y como portadores de fármacos en forma de fibras huecas (Miranda & Lizarraga, 2012).
- 3. Tratamiento de aguas:** Una de las áreas de mayor importancia ya que la quitina y el quitosán son amigables con el ambiente, entre los principales usos se tiene: coagulante primario para aguas residuales de alta turbidez y alta alcalinidad; como floculante para remoción de partículas coloidales sólidas y aceites; para la captura de metales pesados y pesticidas en soluciones acuosas (Mármol et al., 2011).



4. Agricultura: Debido a las propiedades antifúngicas, antibacterianas y antivirales del quitosán se ha utilizado con éxito en la agricultura en los últimos años: en protección de plantas, como promotor de crecimiento, en la corrección del suelo, potenciador de la producción de metabolitos secundarios y activador de mecanismos de defensa por mencionar algunos.

Todavía se requieren más investigaciones para encontrar más aplicaciones de quitosán en la agricultura, hoy en día este polímero significa ser un material barato y de fácil acceso para hacer frente a los problemas de cultivos antes, durante y después de la cosecha.

1.4.3. Quitosán como recubrimiento

El quitosán se ha utilizado como recubrimiento de frutas y hortalizas para inhibir el crecimiento microbiano, se ha propuesto y ensayado desde hace más de 15 años debido a sus propiedades bactericidas y fungicidas, su capacidad para formar películas y su baja toxicidad en seres humanos. En principio, la capacidad del quitosán para formar películas favorece la preservación de los productos debido a la modificación de la atmósfera interna y a la disminución de las pérdidas por transpiración (Miranda & Lizarraga, 2012). El quitosán es un biopolímero capaz de formar películas que presentan un gran potencial como materiales de empaque en alimentos debido a que es natural, no tóxico y biodegradable, además está aprobado para aplicaciones alimentarias en Japón, Italia y Finlandia y ha sido aprobado por la FDA para su empleo en alimentos (Bégin & Calsteren, 1999; Miranda & Lizarraga, 2012).

Este actúa principalmente en las etapas iniciales de crecimiento, retardando la germinación de esporas, puesto que el efecto inhibitorio se hace más modesto una vez que el hongo entra en la etapa de crecimiento apical (Plascencia et al., 2006). Se han encontrado beneficios como la disminución en las pérdidas por transpiración, se conserva una mejor textura con el tiempo, y la carga microbiológica a lo largo del tiempo permaneció más baja en los sistemas tratados con quitosán (Lárez, 2008).

Su uso podría ser una alternativa viable a los métodos de conservación, debido a sus características de biocompatibilidad y biofuncionalidad, aunado a sus propiedades de viscosidad. Además de ser completamente biodegradable y no tóxico (Miranda & Lizarraga, 2012).



1.4.4. Actividad antimicrobiana y fungicida del quitosán

Los hongos fitopatógenicos generan pérdidas económicas, son controlados frecuentemente por fungicidas sintéticos, los cuales presentan un efecto negativo en la biosfera y provoca el desarrollo de cepas fúngicas resistentes, actualmente, se buscan alternativas ecológicas para el control de plagas y enfermedades; el quitosán constituye una alternativa para controlar enfermedades postcosecha.

El quitosán es un compuesto que presenta características biofuncionales, por lo que podría ser una alternativa viable para sustituir los métodos de control de microorganismos tradicionales además, puede utilizarse sin problemas para elaborar recubrimientos comestibles (González et al., 2005).

El mecanismo de la actividad antimicrobiana de quitosán aún no sido completamente aclarado, se ha sugerido que el carácter policatiónico de este biopolímero que se forma a partir de soluciones ácidas inferiores a pH 6,5 es un factor crucial. Por lo tanto, se ha propuesto que los grupos amino cargados positivamente de las unidades de glucosamina interactúan con componentes cargados negativamente en las membranas celulares microbianas, alterando sus propiedades de barrera e impidiendo así la entrada de nutrientes o causando la fuga de contenidos intracelulares (Fernandez, Ocio & Lagaron, 2010; Ganan, Carrascosa & Martínez-Rodríguez, 2009) . Otro mecanismo informado implica la penetración de quitosán de bajo peso molecular en la célula, la unión al ADN y la posterior inhibición de la síntesis de ARN y proteínas (Hadwiger et al., 1986). También se ha demostrado que el quitosán activa varios procesos de defensa en tejidos vegetales e inhibe la producción de toxinas y crecimiento microbiano debido a su capacidad para quelar iones metálicos (Cuero, Osuji & Washington, 1991; El-Ghaouth et al., 1991).

El quitosán inhibe multitud de especies de hongos, siendo menos efectivo con aquellas que lo poseen en sus paredes celulares (Roller & Covill, 1999), como cabría esperar. Los hongos que poseen quitosán como componente de sus paredes celulares deberían ser menos sensibles a la aplicación de dosis razonables de éste por dos razones: a) La presencia natural de quitosán en las paredes celulares no genera efectos adversos para el microorganismo y b) Las interacciones electrostáticas del quitosán añadido (exógeno), cargado positivamente, deberían verse menos



favorecidas con paredes celulares que poseen quitosán endógeno que cuando estas poseen material con cargas negativas (Lárez, 2008).

Existen evidencias de que la sensibilidad de los hongos patógenos hacia el quitosán puede cambiar en los diferentes estados de su desarrollo. Un estudio ha demostrado que el quitosán es más efectivo sobre los conidios que sobre las hifas de algunos hongos fitopatógenicos (Palma et al., 2008).

Otros autores reportan que el grado de acetilación es de gran importancia en la actividad antifúngica in vitro del quitosán, en este sentido (El-Ghaouth et al., 1992), demostraron que el grado de polimerización similar y diferente grado de acetilación presentan actividad inhibitoria sobre el crecimiento de algunos hongos, correspondiendo las mayores inhibiciones con el menor grado de acetilación.

En otros reportes se observó que la sensibilidad a la acción del quitosán depende del género y especie ya que los hongos *Botrytis cinérea*, *Alternaria alternata*, *Colletotrichum gloeosporoides* y *Rhizopus stolonifer* redujeron marcadamente su crecimiento radial aplicando una elevada concentración de quitosán (Hernández, 2004).

Las ventajas del quitosán como fungicida protector contra enfermedades postcosecha radican en la capacidad para formar películas semipermeables compatibles con el recubrimiento céreo que se aplica a frutos y vegetales, y a sus propiedades combinadas de inhibir el crecimiento in vitro de hongos fitopatógenos y estimular reacciones defensivas en tejidos vegetales.

La actividad antimicrobiana del quitosán contra las bacterias, podría ser atribuida a la naturaleza policationica de su molécula, la cual permite interacción y formación de polielectrolitos complejos con polímeros ácidos producidos en la superficie de la célula bacteriana. Recubrimientos y películas a base de quitosán probados sobre *Listeria monocytogenes* mostraron efecto inhibitorio sobre el crecimiento de dicha bacteria (Hernández, 2004).

1.5. Extractos Cítricos

Los extractos y aceite esenciales se obtienen de material vegetal como: flores, brotes, semillas, hojas, ramas, corteza, hermas, madera, frutos y raíces, que pueden obtenerse por fermentación, extracción o destilación, siendo este método el comúnmente usado para la producción comercial de los aceites, que están constituidos por una mezcla de compuestos que incluyen terpenos, alcoholes, cetonas, fenoles, ácidos, aldehídos y esteres (Nychas, 1995).



El uso de antimicrobianos que garanticen la inocuidad de los productos ha ido en aumento; en ese sentido, los extractos cítricos se han utilizado por su poder viricida, bactericida, antiparasitario y fungicida en procesos de desinfección de granjas de diferentes especies animales, incluyendo estanques de peces y camarones.

Los extractos cítricos son una mezcla de aceites esenciales obtenidos de las semillas de diferentes variedades de cítricos como la toronja (*Citrus paradisi*), mandarina (*Citrus reticulata*), limón (*Citrus lemon*) y naranja dulce (*Citrus sinensis*). Esta mezcla de frutos aporta gran cantidad de ácido ascórbico, ácido cítrico y bioflavonoides cítricos (naringina, hesperidina, rutina, quercetina) que actúan sinérgicamente en reacciones como antioxidantes, controlando la cantidad de radicales libres a nivel celular (Boylan, 2004).

Los extractos cítricos son sustancias multicomponentes, dentro del fruto tienen funciones biológicas específicas, al extraerse se modifican para encontrar diversos usos en la industria, siendo uno de los más recientes, el de agente bactericida y fungicida.

Los aceites esenciales de cítricos contienen entre un 85% y 99% de compuestos volátiles y del 1 al 15% de componentes no volátiles. Los componentes volátiles son una mezcla de monoterpenos (limoneno) y cadenas hidrocarbonadas de sesquiterpenos así como sus derivados oxigenados incluyendo: aldehídos (cital), cetonas, ácidos, alcoholes (linalol) y ésteres (Flamini, Tebano & Cioni, 2007; Rodríguez & Sampedro, 2011; Smith et al., 2001).

En virtud de lo anterior, se han encontrado amplias ventajas en el uso de estos compuestos en comparación con los productos de síntesis química. Las principales son su inocuidad y biodegradabilidad, ya que la mayoría de los productos tratados con desinfectantes químicos se han convertido en compuestos tóxicos y de alto riesgo para la salud humana; del mismo modo, el ambiente sufre grandes y severos impactos al ser enfrentados ante productos sintéticamente creados y que no pueden ser incluidos como parte del ecosistema. La industria está aceptando productos naturales y biodegradables, gracias a que estos generan un mínimo de corrosión a los equipos sin daño al personal que los emplea y su efecto residual es fácilmente controlable.

Entre los usos que se le dan en la agroindustria, está la disminución o eliminación de riesgos microbiológicos ya que al ser productos que actúan por contacto pueden aplicarse a través de aspersiones, inmersiones, nebulizaciones y mezclas con otros productos afines, asegurando la eficiencia de estos. Dada su versatilidad, los extractos cítricos han encontrado en el ambiente agrícola, pecuario e industria de proceso sustituyendo a los agentes químicos de uso común en



las contaminaciones fúngicas y bacterianas, sin afectar a la materia prima y/o a los consumidores finales, de lo anterior, surge que el producto a consumir es seguro y sano pues fue tratado con agentes orgánicos donde los extractos cítricos juegan un papel importante.

El Citrol-K Ultra es un conservador y desinfectante, elaborado a partir de extractos cítricos de la marca CorpoCitrik S.A. de C.V. Cuenta con un amplio efecto contra bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, hongos, levaduras y esporas bacterianas. Es de aspecto líquido transparente, ligeramente viscoso, olor ligero a cítrico, libre de partículas en suspensión y es completamente soluble en agua y alcohol.

Tiene como características principales: no cambiar las propiedades sensoriales del producto (olor, color y sabor), prolongar la vida de anaquel, es estable al calor, es biodegradable, su efectividad no depende del pH, además es compatible con otros conservadores y aditivos. Es necesario diluir con agua para facilitar la dispersión en la mezcla final, ya que las dosis utilizadas son muy pequeñas.



Capítulo II: Metodología



2.1 Definición de objetivos

Problema

Reducir las pérdidas post-cosecha durante el almacenamiento del chile jalapeño.

Objetivos

Objetivo General

Comparar el efecto del quitosán y citrol-k ultra aplicado a chile jalapeño mantenido a temperatura de refrigeración (10°C) y temperatura ambiente (26°C) evaluando sus propiedades físicas: color, tamaño y firmeza, fisicoquímicas: acidez, sólidos solubles y pH, fisiológicas: pérdida de peso y microbiológicas: mohos y levaduras para extender su vida útil.

Objetivo Particular 1

Evaluar las propiedades físicas: color, tamaño y firmeza, fisicoquímicas: acidez, sólidos solubles y pH, fisiológicas: pérdida de peso y microbiológicas: mohos y levaduras del chile jalapeño a dos temperaturas 10°C y 26°C como referencia del control del fruto para extender la vida útil.

Objetivo Particular 2

Evaluar las propiedades físicas: color, tamaño y firmeza, fisicoquímicas: acidez, sólidos solubles y pH, fisiológicas: pérdida de peso y microbiológicas: mohos y levaduras del chile jalapeño con tratamiento de quitosán a dos temperaturas 10°C y 26°C para extender la vida útil.

Objetivo Particular 3

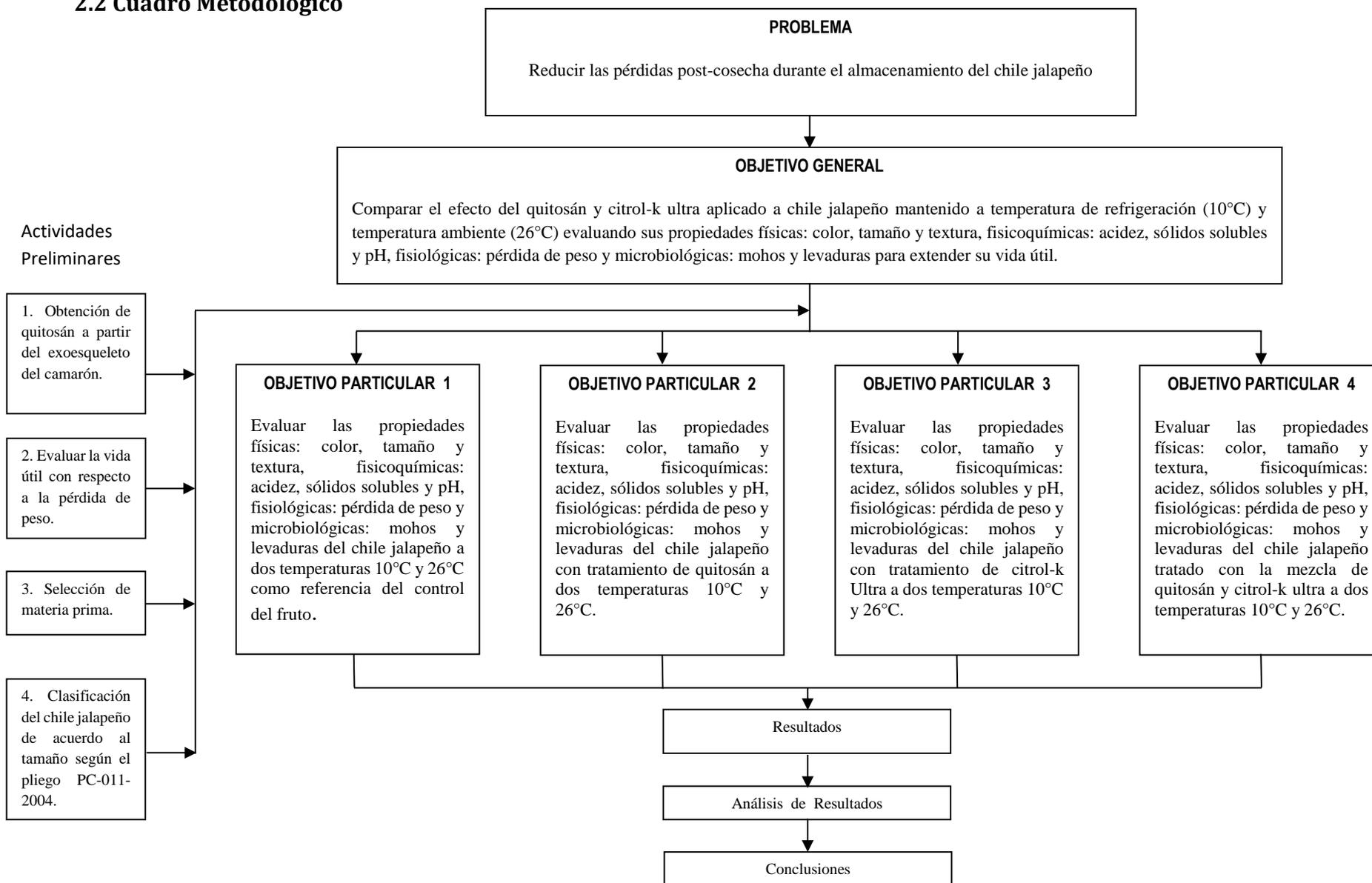
Evaluar las propiedades físicas: color, tamaño y firmeza, fisicoquímicas: acidez, sólidos solubles y pH, fisiológicas: pérdida de peso y microbiológicas: mohos y levaduras del chile jalapeño con tratamiento de citrol-k ultra a dos temperaturas 10°C y 26°C para extender la vida útil.

Objetivo Particular 4

Evaluar las propiedades físicas: color, tamaño y firmeza, fisicoquímicas: acidez, sólidos solubles y pH, fisiológicas: pérdida de peso y microbiológicas: mohos y levaduras del chile jalapeño tratado con la mezcla de quitosán y citrol-k ultra a dos temperaturas 10°C y 26°C para extender la vida útil.



2.2 Cuadro Metodológico





2.3 Actividades Preliminares

2.3.1. Obtención de quitosán a partir del exoesqueleto del camarón

La obtención de quitosán se realizó a partir del exoesqueleto del camarón, las cuales se limpiaron, lavaron, posteriormente se secaron, para finalmente reducir su tamaño a través de una molienda.

La obtención de la quitina es con base a la patente número 293022 “Proceso para la extracción de quitina a partir de crustáceos y su conversión a quitosán” (Miranda, 2011), desarrollada en el Laboratorio de Biotecnología de la FESC en la UNAM.

2.3.2. Evaluación de la vida útil del chile jalapeño

Se evaluó la vida útil del chile jalapeño ya que no se contaba con el dato bibliográfico, por lo que se colocaron en una charola de plástico 4 chiles jalapeños para la incubadora marcados con las letras A, B, C y D; los chiles correspondientes al refrigerador se marcaron con números del 1 al 4. Se les pesó cada tercer día y así obtener el porcentaje de pérdida de peso y poder apreciar que fruto se encontraba apto para su consumo.

2.3.3. Selección de materia prima

Los chiles jalapeños se adquirieron en el Mercado Izcalli ubicado en la calle Tonatico #5, Santiago Tepalcapa, CP. 54760, Cuautitlán Izcalli, Estado de México y se seleccionaron chiles grandes y de textura firme, de color verde intenso y de tamaño uniforme. Se verificó que cada uno de los chiles jalapeños elegidos no presentara defectos, tales como grietas, pudriciones y quemaduras de sol. Posteriormente las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Biotecnología ubicado en el edificio de Posgrado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1; en donde se lavaron con agua y jabón para retirar la capa cerosa que se encuentra de forma natural ya que esto impedía que el recubrimiento se adhiriera.

2.3.4. Clasificación del chile jalapeño de acuerdo al tamaño según el pliego PC-011-2004

De acuerdo al tamaño según el PC-011-2004. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Selecta en chile poblano, serrano y jalapeño. El objeto de este pliego de condiciones, solo tiene un grado de calidad: Calidad Superior.

El producto designado como Calidad Superior es la calidad certificada que presenta un producto agroalimenticio al garantizar el cumplimiento y valor agregado que brinda el empaque,



etiquetado y calidad por atributos (color, sabor, apariencia, textura, etc.), adicionalmente a la minimización y ausencia de riesgos biológicos, químicos y físicos para la salud humana, animal y vegetal.

El chile jalapeño debe de cumplir con las siguientes especificaciones sensoriales:

- Presentar forma y color característico.
- Presentar sabor.
- Presentar fuerte olor característico.
- Estar bien desarrollados, enteros, sanos, limpios, de consistencia firme y textura brillante.
- Cosechados en el grado de madurez óptimo y con pedúnculo.
- Estar sin humedad exterior anormal.
- Estar libres de pudrición o descomposición.
- Estar libres de defectos de origen mecánico, entomológico, microbiológico, meteorológico y genético-fisiológico.
- Estar libre de insectos, hongos y fragmentos de insectos así como de contaminantes de roedores.
- Estar libres de materia extraña.

2.4. Diseño Experimental

MATERIA PRIMA: Para realizar la experimentación se utilizó chile jalapeño fresco, los cuales se seleccionaron de acuerdo al apartado 2.3.3. Se verificó que cada uno de los chiles jalapeños que se utilizaron para experimentar no presentara defectos como grietas, raspaduras, para lograr trabajar solo sobre la superficie y que los compuestos internos del chile jalapeño no influyeran en los resultados.

2.4.1. Obj. Particular 1. Control

A estos chiles jalapeños no se les aplicó ningún recubrimiento ya que fue la muestra control y se colocaron en charolas para almacenarla en la incubadora New Brunswick Scientific que se encontraba a una temperatura de $26 \pm 2^\circ\text{C}$. Otros fueron almacenados a $10 \pm 2^\circ\text{C}$ en un refrigerador American de una puerta.



2.4.2. Obj. Particular 2. Recubrimiento con quitosán

Se realizó el recubrimiento en chile jalapeño con una solución de quitosán a 3%, se preparó a temperatura ambiente. El recubrimiento se realizó por inmersión del chile jalapeño en la solución, posteriormente los chiles se colocaron en un lazo que se sostenían del pedúnculo y ahí se dejaron escurrir durante 15 minutos y se dejaron secando a temperatura ambiente ver Figura 9, al secarse completamente el recubrimiento se colocaron en charolas para almacenarla en la incubadora New Brunswick Scientific que se encontraba a una temperatura de $26 \pm 2^\circ\text{C}$. Otros fueron almacenados a $10 \pm 2^\circ\text{C}$ en un refrigerador American de una puerta.

2.4.3. Obj. Particular 3. Recubrimiento con Citrol K-Ultra

Se realizó el recubrimiento al chile jalapeño con una solución de citrol k ultra el cual es un producto comercial donde se indica la concentración de 0.02% para cada litro de agua destilada. El recubrimiento se realizó por inmersión del chile jalapeño en la solución, se dejó escurrir durante 15 minutos y secando a temperatura ambiente, al secarse el recubrimiento se dividieron en dos charolas, una para la incubadora y otra para refrigeración.

2.4.4. Obj. Particular 4. Mezcla

Se realizó el recubrimiento en chile jalapeño con una solución de quitosán a 3% y citrol k ultra a una concentración de 0.02% como medio de disolución, se preparó a temperatura ambiente.



Figura 9. Recubrimiento de quitosán y Citrol-K Ultra en chile jalapeño



2.5. Métodos Analíticos

2.5.1. Determinación de parámetros físicos.

❖ Tamaño

Se realizó la caracterización física del tamaño en chile jalapeño para conocer la calidad del producto de acuerdo a la clasificación de tamaño del fruto.

Se colocó el chile jalapeño en una superficie horizontal plana, con un calibrador vernier, graduado en milímetros, se realizó la medida de la base al ápice del fruto sin considerar el pedúnculo, expresando el resultado en % de pérdida de tamaño durante su almacenamiento.

❖ Color

Para la variable color se utilizó un colorímetro Minolta CR-300 ver Figura 10, en la escala CIE $L^*a^*b^*$ se empleó para obtener el cambio de color en cada evaluación, ya que determina la aceptación en el mercado. Los parámetros de color, donde L^* representa la luminosidad y representa una escala de valores de 0 a 100 donde 0 es una oscuridad total u opacidad y 100 corresponde al blanco o máxima brillantes. Por su parte a^* y b^* son coordenadas donde a^* (valores +) indica color rojo, a^* (valores -) indica color verde, b^* (valores +) indica color amarillo, b^* (valores -) indica el color azul. Con los valores de a^* y b^* se calcularon el ángulo de tono (HUE) y el índice de saturación de color (Croma). Se colocó el colorímetro en posición vertical para la calibración del instrumento colocando el cabezal de medida sobre la placa de cerámica, se colocó el sistema en modo de medida oprimiendo el botón “measure” estos valores se midieron directamente sobre la superficie del chile jalapeño. Las mediciones se tomaron en la región central de cada chile (4 chiles por tratamiento). Las evaluaciones se realizaron cada tercer día, lo que implica que las muestras eran las mismas ya que colorimetría no requiere la destrucción de las muestras.



Figura 10. Colorímetro Minolta CR-300



Tono (°Hue): Es el estado puro de color, sin el blanco o negro agregados, y es un atributo asociado con la longitud de onda dominante en la mezcla de las ondas luminosas. El tono es un atributo de color que permite distinguir el rojo del azul, y se refiere al recorrido que hace un tono hacia uno u otro lado del círculo cromático. Las coordenadas representan una coloración rojo-purpura (0), amarillo (90), azul-verde (180) y azul (270).

Su cálculo se realiza empleando la siguiente ecuación:

Ecuación 1:
$$\text{Tono } (^\circ\text{Hue}) = \arctan \frac{b}{a}$$

Croma: Describe lo llamativo o lo apagado de un color, en otras palabras, que tan cerca está el color ya sea al gris o al matiz puro. Su cálculo se realiza empleando la siguiente ecuación:

Ecuación 2:
$$\text{Croma} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

❖ Firmeza

La firmeza es un indicador de calidad que está claramente relacionado con el tiempo de conservación de alimentos principalmente en frutas y hortalizas. La determinación de firmeza se realizó mediante el penetrómetro manual, sin marca, modelo y número de inventario.

Es un instrumento elaborado por los Técnicos académicos de la Sección de Ingeniería en Alimentos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1. El equipo se encuentra en el Laboratorio de Control de Alimentos, ubicado dentro de la Nave 2000 de Ingeniería en Alimentos ver Figura 11.



Figura 11. Penetrómetro manual



Las pruebas de penetración se refieren al sumergimiento de un cuerpo o dispositivo en el material de prueba, sometándolo a una combinación de compresión y cizallamiento. Este equipo opera bajo el principio de peso constante y mide la distancia de penetración con el cual se calcula el parámetro a reportar que es la dureza.

Para la determinación de dureza se seleccionó el cono de 45° el cual se colocó en el cabezal y se atornilló. Se mide el espesor del chile jalapeño, se ajusta la caratula secundaria a 0 (cero) con la varilla de altura y la caratula principal con el disco, haciéndola girar hasta que la aguja marque 0 (cero). Se coloca el instrumento a un 10 % por arriba de la base de la muestra. En función del espesor de las muestras y se define la altura de penetración haciendo subir la varilla de altura, la cual se indicará con la carátula secundaria, en la cual cada número marcado indica que ha dado dos vueltas completas a la caratula principal. El dispositivo deberá quedarse al ras de la superficie de la muestra. Se coloca el material debajo del dispositivo en la base del equipo, se ajusta a 0 (cero) la caratula principal haciéndola girar en sentido contrario a las manecillas del reloj, enseguida se presiona el indicador de disparo del cabezal, se toma la lectura de la caratula principal y de la secundaria que se indican con las agujas. Se realizó la prueba por triplicado.

Se realiza el cálculo de dureza sustituyendo los valores obtenidos en la siguiente ecuación:

Ecuación 3:
$$D = \frac{F}{A} = \frac{m_T a_g}{A}$$

Donde:

D= Dureza (Pa)

A= Área total del dispositivo de penetro (m²)

m_T = Peso del dispositivo, varilla y cabezal (Kg)

a_g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

2.5.2. Determinación de parámetros fisicoquímicos.

❖ Sólidos Solubles

La refractometría es un método que se basa en la propiedad de los líquidos de refractar la luz en



proporción a su contenido de sólidos solubles totales; estos están compuestos por los azúcares, ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua presentes en chile jalapeño (NMX-F-103-1982). Se utilizaron los chiles sobrantes del análisis de firmeza, se pesaron 10g de muestra, de los cuales eran 5g de dos chiles diferentes los cuales se homogenizaron y se añadieron 100 ml de agua destilada. Se realizó una agitación mecánica para homogenizar la mezcla posteriormente se filtró y con ayuda de un gotero se colocó dos gotas en el sensor óptico del refractómetro digital (Modelo: 300034, Marca: SPER SCIENTIFIC) que se observa en la Figura 12, anteriormente calibrado con agua destilada que ajusta a 0% los sólidos solubles. Cada tratamiento se evaluó por triplicado y los resultados se reportaron en % de °Brix.

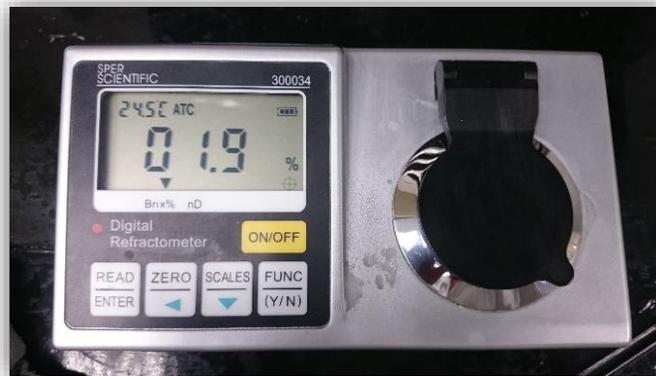


Figura 12. Refractómetro digital SPER SCIENTIFIC

❖ pH

Para la determinación de pH se utilizó un potenciómetro de la Marca: HORIZON, Modelo: 5997-20 el cual cuenta con dos electrodos uno calibrado y otro sensible a los iones H^+ , al activarlo la diferencia de potencial se despliega en una pantalla sobre el valor exacto del pH. Se pesaron 10g de muestra, de los cuales eran 5g de dos chiles diferentes los cuales se homogenizaron y se añadieron 100 ml de agua destilada. Se realizó una agitación mecánica para homogenizar la mezcla posteriormente se filtró y en la solución resultante se sumergió el electrodo y se tomó la lectura de pH como se observa en la figura 13, el procedimiento se realizó por triplicado para cada tratamiento.

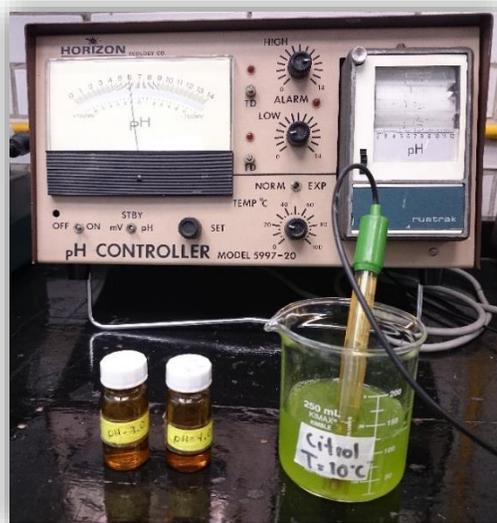


Figura 13. Potenciómetro HORIZON, Modelo: 5997-20

❖ Acidez Titulable

La acidez Titulable se determinó de la siguiente forma: se pesaron 10g de muestra, de los cuales fueron 5g de dos chiles diferentes los cuales se homogenizaron y se añadieron 100 ml de agua destilada. Se realizó una agitación mecánica para homogenizar la mezcla, posteriormente se filtró. A continuación la solución resultante se dividió en tres partes iguales y se agregó el indicador (fenolftaleína al 1% en alcohol al 95%). Se realizó la titulación con hidróxido de sodio al 0.1N, hasta que el vire y cambie de color rosa. Los resultados se expresan (% de ácido cítrico/100 g de fruto fresco) se realizaron por triplicado. El porcentaje de ácido cítrico se determinó con la siguiente ecuación 4:

$$\text{Ecuación 4: } \% \text{ Acidez} = \frac{(\text{Vol.}) * N * (\text{Factor de meq de ácido cítrico})}{\text{ml de muestra}} * 100$$

Donde:

Vol. = Cantidad de ml de NaOH gastados en la titulación.

N= Normalidad de NaOH empleada.



Factor de meq= 0.07005 (ácido cítrico)

ml de muestra= Cantidad de muestra empleada en ml.

2.5.3. Determinación de parámetros fisiológicos

❖ Pérdida de peso

Para la evaluación de esta variable se tomó el peso de cada chile jalapeño al inicio del experimento. Posteriormente cada tercer día se evaluaron 2 chiles por tratamiento (16 chiles totales por evaluación). Para ello el peso se determinó con ayuda de una balanza electrónica (Marca: OHAUS, Modelo: SCOUT-PRO) con capacidad de 600g. Finalmente se obtuvo la diferencia en gramos entre el peso inicial y el peso final en cada una de las evaluaciones. Los resultados se reportaron en gramos y porcentaje de peso perdido por día.

Este parámetro se utiliza como índice de calidad, ya que la pérdida de agua representa un descenso de peso durante su almacenamiento y por lo tanto una disminución de su valor comercial. Las pérdidas de peso con un valor mayor al 10%, hacen que los frutos salgan del mercado.

2.5.4. Determinación de parámetros microbiológicos

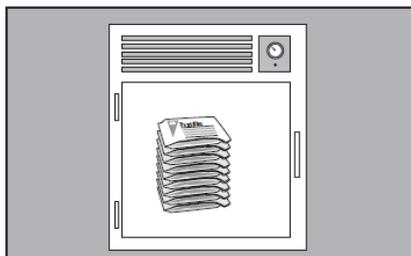
Después de aplicar los recubrimientos a los chiles jalapeños, se colocaron en recipientes para posteriormente realizar análisis microbiológico los cuales se realizaron con kits de análisis microbiológico de la marca 3M, en la Figura 14 se pueden apreciar las placas Petrifilm para el recuento de carga fúngica, en las cuales se pueden identificar la presencia de mohos y levaduras.



Figura 14. Placas 3M® Petrifilm™ para el recuento de mohos y levaduras (3M México, 2004).

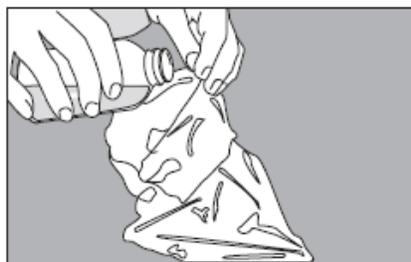


La Placa Petrifilm para el Recuento de Mohos y Levaduras (Yeast & Molds) es un sistema de medio de cultivo listo para ser empleado. Contiene nutrientes de “Sabhi”, dos antibióticos, indicador de fosfatos (BCIP), un agente gelificante soluble en agua fría y un tinte indicador que facilita la enumeración de las colonias. Las placas Petrifilm^{MR} se utilizan en la enumeración de la población total que existe de Mohos y Levaduras en productos, ambientes, superficies, etc.



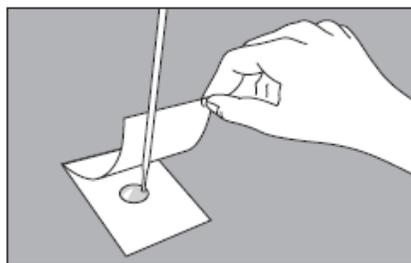
En la Figura 15 se observa el procedimiento para el recuento de mohos y levaduras.

ALMACENAMIENTO: Los paquetes de placas Petrifilm se mantuvieron cerrados a una temperatura menor de 8°C.

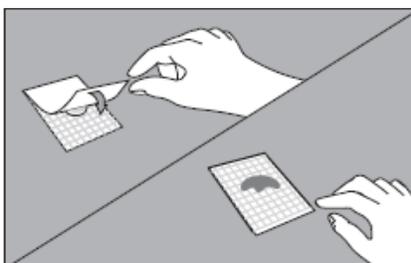


PREPARACIÓN DE LA MUESTRA: Se agregó agua para cubrir el chile jalapeño. Se pipeteo la muestra en una bolsa o cualquier otro contenedor estéril apropiado.

Se adicionó la cantidad apropiada del diluyente estéril: solución salina (0.85 a 0.90%).

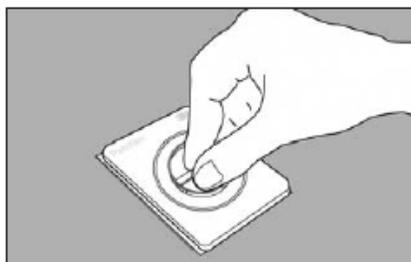


INOCULACIÓN: Se colocó la Placa Petrifilm en una superficie plana y nivelada. Levantando la película semitransparente superior. Con la pipeta perpendicular a la Placa Petrifilm coloque 1 ml de la muestra en el centro de la película cuadrada inferior.



Libere la película superior dejando que caiga sobre la dilución. No deslizar hacia abajo.

Sosteniendo la barra cruzada del dispersor para Mohos y Levaduras, colóquelo sobre la película superior, como atrapando el inóculo.



Presione suavemente el dispersor para para distribuir el inóculo sobre el área circular. No gire, ni deslice el dispersor.

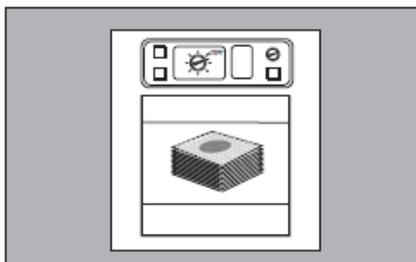
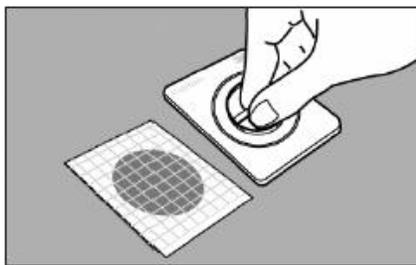


Figura 15. Proceso gráfico para el recuento de mohos y levaduras (3M México, 2004)

Levante el dispersor. Espere por lo menos 1 minuto para permitir que se solidifique el gel y proceda a la incubación.

INCUBACIÓN: Incube las placas cara arriba en grupos de hasta 20 unidades de altura. Incubar 5 días entre 21°C-25°C. Humectar el ambiente de la incubadora con un pequeño recipiente con agua estéril, para minimizar la pérdida de humedad. Los hongos grandes o de crecimiento rápido pueden ocultar el resultado de las placas con altos conteos. Si las placas están con demasiado crecimiento al día 5, registre el resultado obtenido al día 3 como “estimado”. Realizar conteo, con un contador de colonias estándar o con una fuente de luz amplificadora.

2.3.5. Identificación de Mohos y Levaduras

Se realizó mediante identificación microscópica. Para aislar las colonias para su posterior identificación, levantando la película superior de la placa y replicando una colonia de gel, se utilizó un asa o dispositivo similar como se observa en la figura 16.

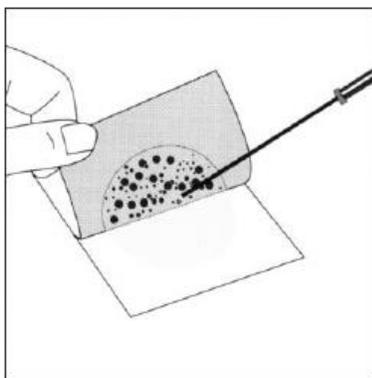


Figura 16. Extracción de colonia para identificación microscópica (3M México, 2004).

Se transfirió la colonia a una gota de agua estéril colocada en un portaobjetos para microscopio y se colocó encima el cubre objetos ver figura 17; para después observarla bajo el microscopio.

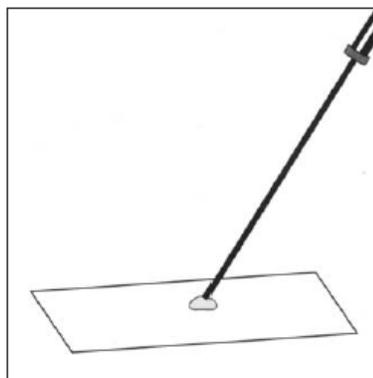


Figura 17. Ejemplificación para transferencia de colonia (3M México, 2004).

Las levaduras típicamente tienen forma ovalada y se pueden ver como brotadas o abultadas, mientras los mohos aparecen como estructuras ramificadas, hilos o filamentosas esto se puede apreciar en la Figura 18.

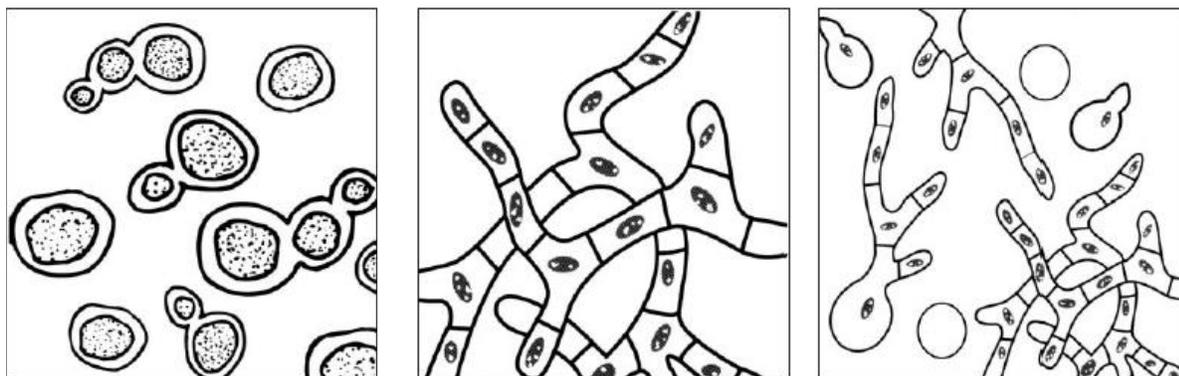


Figura 18. Mohos y levaduras en diferentes etapas de germinación (3M México, 2004).

2.6. Análisis Estadístico

Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que se intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta. Existen varios casos especiales del diseño factorial general que resultan importantes porque se usan en el trabajo de investigación y porque constituyen la base para otros diseños de gran valor práctico.

El análisis estadístico se realizó al término del almacenamiento, en esta experimentación se tomó al tiempo como factor bloque, el factor tratamiento de cuatro niveles que fueron los recubrimientos utilizados (Control, Citrol-K Ultra, Quitosán y la Mezcla (Citrol-K Ultra + Quitosán) las cuales se tomaron como variables independientes, el factor temperatura de 2 niveles que fueron las temperaturas a las cuales se almacenaron (10 y 26°C), como variables dependientes se tomaron las pruebas físicas, fisicoquímicas y fisiológicas. De forma que el



conjunto de experimentos es un diseño factorial 4×2 , esto nos lleva a realizar 8 formulaciones, de las cuales se hicieron por triplicado, teniendo en total 24 corridas.

En el segundo diseño factorial $4 \times 2 \times 2$ se determinó el efecto de los 4 niveles o tratamientos utilizados como variable independiente (Control, Citrol-K Ultra, Quitosán y la Mezcla (Citrol-K Ultra + Quitosán), el factor temperatura de 2 niveles, las temperaturas de almacenamiento (10 y 26°C) y el tiempo como factor de 2 niveles (inicio y final).

A los diseños factoriales se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA), con una significancia del 5%. El objeto de estos diseños es estudiar los efectos individuales y los efectos de interacción entre los factores sobre una o varias respuestas.

Cada uno de los experimentos se realizó por triplicado para poder realizar un análisis estadístico que permitiera establecer la reproductibilidad de los resultados. El paquete estadístico utilizado fue el programa Minitab® 17.



Capítulo III: Resultados y Análisis



3.1. Actividades Preliminares

3.1.1. Obtención del quitosán

Se obtuvieron 750 gramos de caparazones molidos, los cuales se sometieron al proceso para obtención de quitosán con base a la Patente Mexicana No. 293022. Después de llevar a cabo dicho proceso se obtuvieron 192.4 gramos de quitosán, lo que representa un rendimiento de 25.65% con respecto al total de caparazones molidos. Posteriormente fue utilizado en la elaboración de un recubrimiento para prolongar la vida útil de los chiles jalapeños.

3.1.2. Evaluación de la vida útil

Esta prueba fue evaluada al sexto día, los frutos habían perdido más del 10% de su peso, lo que indica que perdieron agua durante su almacenamiento y por lo tanto una disminución de su valor comercial lo que ocasiona que los frutos no salgan al mercado ya que a la vista ya no eran agradables.

3.1.3. Clasificación del chile jalapeño de acuerdo al tamaño según el pliego PC-011-2004

De acuerdo al tamaño según el pliego PC-011-2004, el chile jalapeño se clasifica en chico, mediano y grande como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9
Tamaños del Chile Jalapeño

Tamaño	Longitud (cm)
Chico	5.715 o menos
Mediano	6.35-8.25
Grande	8.89 en adelante

Fuente: Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, 2004.

Se tomó una muestra representativa de 20 unidades (5 chiles de cada tratamiento). El porcentaje de los diferentes tamaños de los chiles jalapeños que se encontraron según el pliego PC-011-2004.

De acuerdo a los resultados obtenidos con respecto al chile jalapeño se obtuvo un 85% de tamaño grande y 15% de calidad mediana, no se encontraron de tamaño chico como se observa en la figura 19.

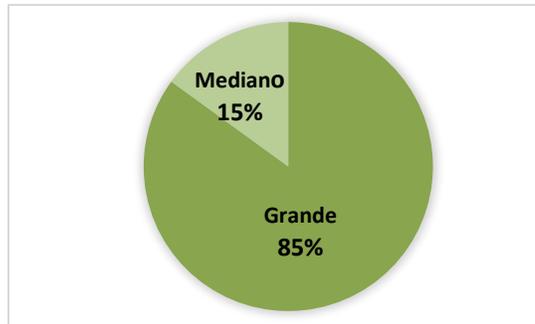


Figura 19. Porcentaje de tamaño obtenido en los chiles jalapeños

3.2. Métodos Analíticos

3.2.1. Parámetros físicos

❖ Tamaño

A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) para el diseño factorial 4x2, en el cual se obtuvo la tasa media de tamaño por día de almacenamiento. El análisis mostró que existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la interacción de los diferentes tratamientos y las temperaturas establecidas.

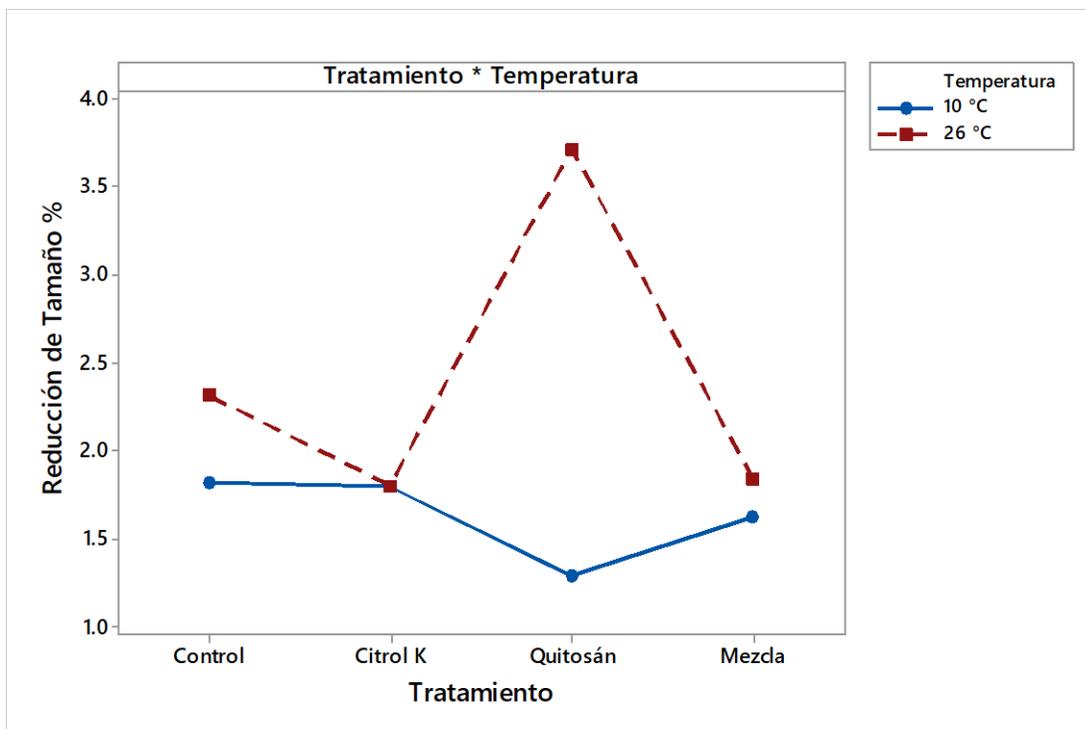


Figura 20. Efecto de la interacción en la reducción de tamaño



Se puede apreciar en la Figura 20, el comportamiento de los diferentes tratamientos, se destaca que los chiles a menor temperatura (10°C) tuvieron una menor reducción de tamaño que los chiles que se almacenaron a temperatura de (26°C). También se observa que los chiles que tuvieron menor reducción de tamaño en comparación con el control, fueron a los que se les aplicó quitosán teniendo una reducción de tamaño total de 3.8% a 10°C y con Citrol-K Ultra una reducción de tamaño total de 4.7% a 26°C. En base a los datos registrados diariamente el recubrimiento de quitosán tuvo una reducción de 10.5% a 26°C al final del experimento (día 24), ya que este tiene una permeabilidad al vapor de agua relativamente alta y genera que se pierda agua, lo cual ocasiona una mayor reducción de tamaño. En el caso del Citrol-K Ultra tuvo una reducción de tamaño de 5.0% a 10°C lo que indica que fue el segundo mejor recubrimiento y esto es ocasionado por los ácidos orgánicos del Citrol-K Ultra, los cuales entran a la pared celular y permiten que el fruto pierda menos agua y respire de manera más lenta.

Los recubrimientos no lograron evitar la reducción de tamaño durante el almacenamiento de chile jalapeño, por el efecto natural de la maduración. El recubrimiento de quitosán actúa como barrera de transferencia de humedad, si bien, en los primeros días no se nota la reducción de tamaño, sin embargo, si se observó un efecto significativo ($p < 0.05$) en la aplicación del recubrimiento con respecto al control.

❖ Color

La pérdida de color verde de los frutos, una vez cosechados y el color final de los chiles depende de la variedad, grado de madurez, condiciones climáticas, época de recolección, técnica de cultivo y condiciones de almacenamiento, pues la temperatura juega un papel importante en la estabilidad de los pigmentos de los frutos (Gómez et al., 1996; Minguez & Hornero, 1994).

▪ Luminosidad

En la Figura 21 se observa que para la temperatura de 10°C el control muestra menor luminosidad en comparación con los demás tratamientos, siendo el Citrol-K Ultra el que pierde menor luminosidad en comparación con el tratamiento de quitosán a lo largo del almacenamiento, este comportamiento se debe a la aplicación del tratamiento que ayudó a mejorar la brillantez de los chiles con respecto a los demás tratamientos. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos y la temperatura de almacenamiento.



Sin embargo, los chiles almacenados a 26°C reportaron una disminución de luminosidad al final del almacenamiento. La luminosidad o brillo del objeto se cuantifica por L*, donde 0 es negro y 100 es blanco (X-rite, 2002).

La estructura y la pigmentación de los productos son las características que determinan el color y la luminosidad (Serrano, 2008).

El envejecimiento y el posible deterioro de los chiles está indicado por una superficie opaca, cáliz y pedúnculo pálidos (Fernández, Liverotti & Sánchez, 1997), por tanto, la reducción reportada por dichos chiles pudo deberse al arrugamiento o deterioro causado por la alta temperatura o pérdida de agua durante el almacenamiento.

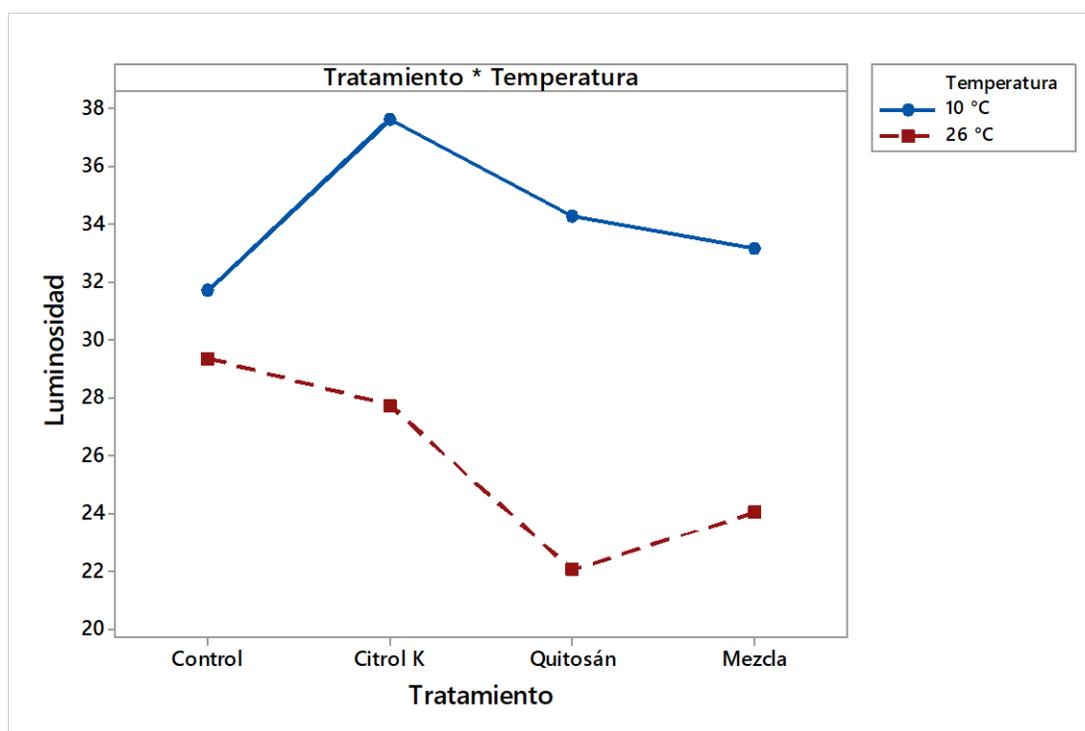


Figura 21. Efecto de la interacción para luminosidad

En investigaciones previas donde se evaluó el desarrollo del chile jalapeño en salmuera, mostraron una luminosidad baja. También menciona que afecta la pérdida de fotosíntesis y con esto la pérdida de la clorofila, tomando tendencia al color oscuro, en este caso pasan de un verde intenso a un verde oliva (López, Nuñez & Valladares, 2010).



▪ Tono

En la Figura 22 se muestran los cambios en el tono ($^{\circ}\text{Hue}$) de los chiles recubiertos con los diferentes tratamientos donde se observa que los valores de tono menores se presentaron en la temperatura de almacenamiento de 26°C . Estadísticamente no presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos y el control. Únicamente se logró identificar que a medida que fue madurando el fruto de chile jalapeño fue perdiendo la coloración verde teniendo una coloración amarilla y roja.

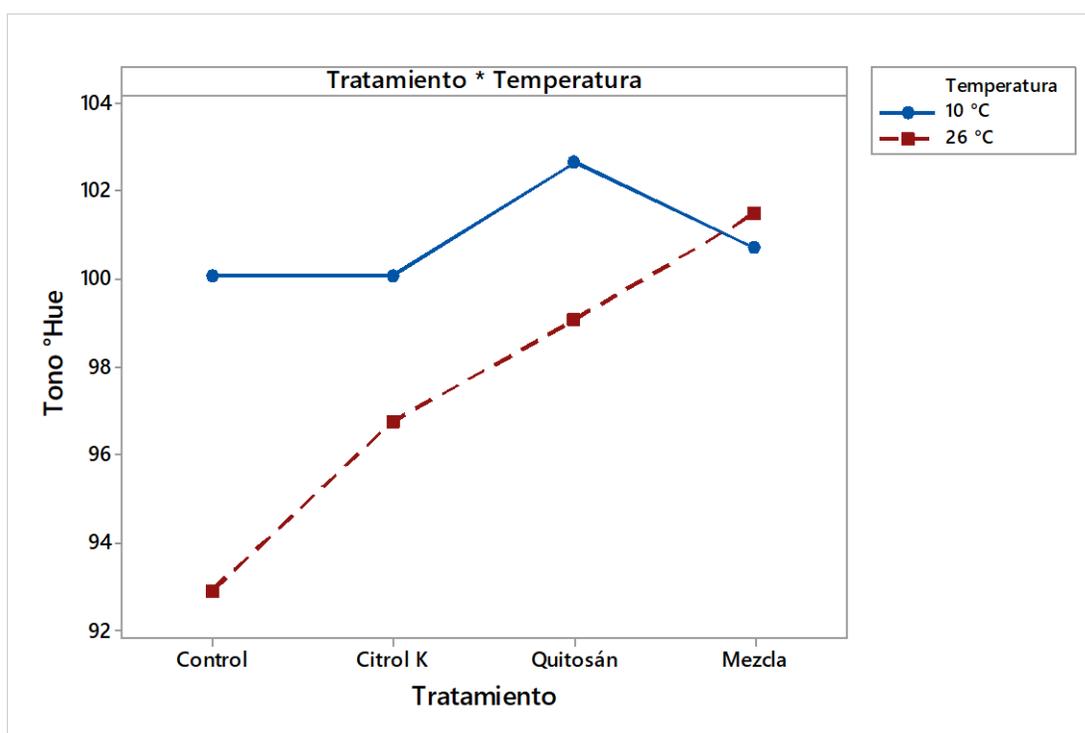


Figura 22. Efecto de la interacción para tono

Los resultados obtenidos presentaron la misma tendencia que el estudio realizado por Barrera et al. (2005) quienes determinaron valores de tono en *Capsicum annuum* de $^{\circ}\text{Hue}=104$ en estado de madurez fisiológica, con un cambio a $^{\circ}\text{Hue}=79$ al llegar al estado de madurez senescente. El color del fruto *Capsicum annuum* está influenciado por la fertilización, ya que bajos niveles de potasio resultan en valores bajos de croma, tono y los bajos niveles de nitrógeno resultan en altos valores de croma y tono (Martinez, Diaz, & Manzano, 2003). En el proceso de maduración los frutos pasan de un color verde intenso, en algunas ocasiones violeta y cambia a un color anaranjado o rojo dependiendo de la variedad.



El color verde en los frutos de *Capsicum annuum* se debe a la presencia de clorofilas y a los carotenoides típicos de los cloroplastos como: violaxantina, neoxantina y luteína además del β -caroteno (Nuez et al., 1996).

▪ Croma

En la Figura 23, se pueden observar los cambios en el parámetro de cromía que nos indica la intensidad del color, este fue evaluado en todos los tratamientos y destaca que el tratamiento de quitosán presenta la media más baja a una temperatura de 26°C, mientras que a temperatura de 10°C las medias son mayores. Y por su parte el tratamiento de quitosán presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto al control lo que indica que el recubrimiento y la temperatura de 10°C mantuvo la cromaticidad del color de la epidermis de los chiles, ya que retardó la degradación de la clorofila.

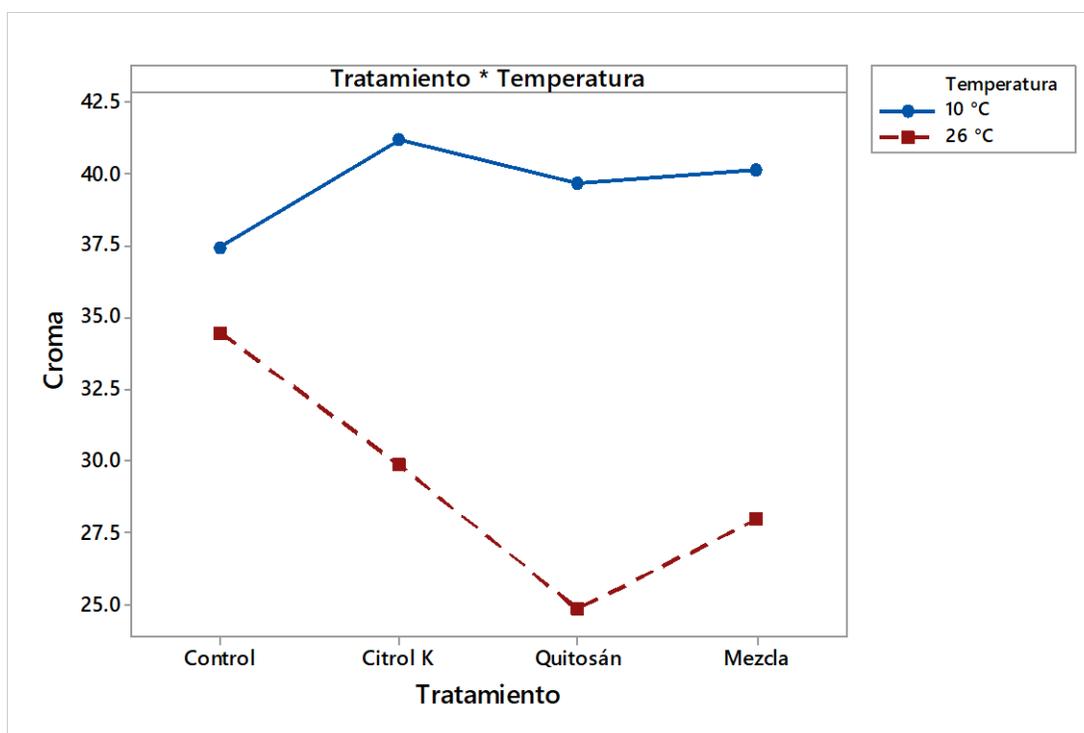


Figura 23. Efecto de la interacción para cromía

❖ Firmeza

La firmeza o resistencia a la penetración del fruto es, en cierta medida, un indicativo del deterioro estructural o ablandamiento del fruto por causa de la desintegración de la pared celular



y la pérdida de turgencia, sufridas por el fruto como consecuencia de su maduración en las diferentes condiciones y tratamiento a que se sometieron.

Como se observa en la Figura 24 el almacenamiento provocó disminuciones en la firmeza de fruto. Esta tendencia fue más acentuada en las condiciones de temperatura de 26°C, lo cual demuestra que el deterioro de la fruta es más acelerado bajo condiciones de temperatura relativamente alta.

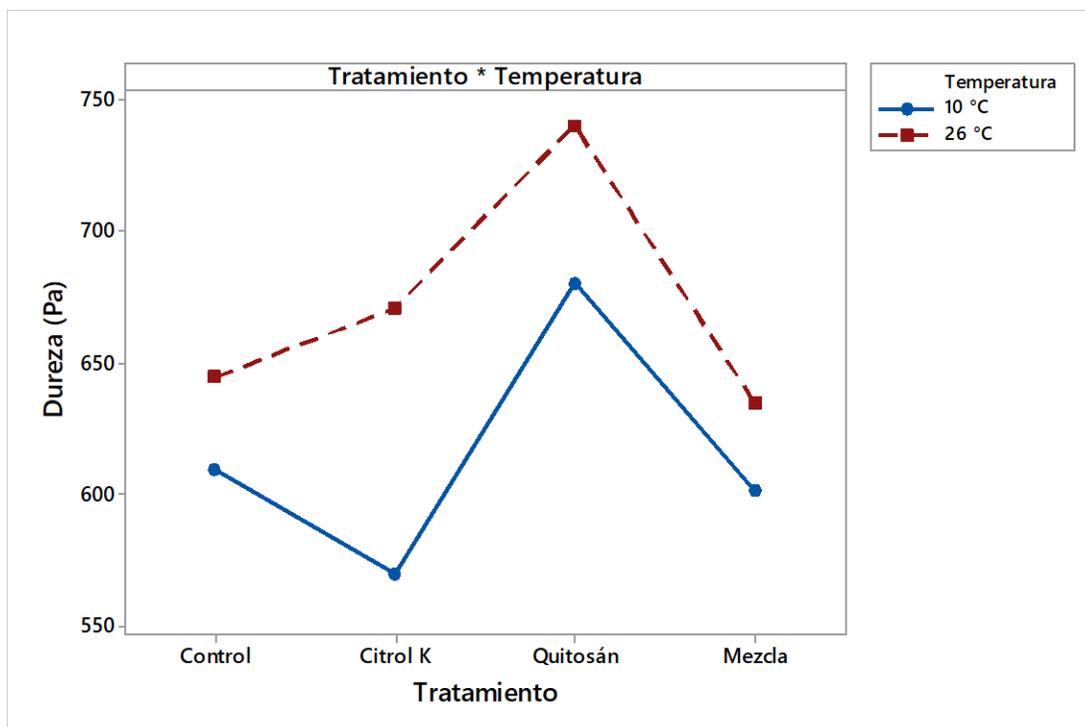


Figura 24. Efecto de la interacción para dureza

Los tratamientos de Citrol-K Ultra y la mezcla presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) en la variable firmeza con respecto al control, en el caso del tratamiento con quitosán no presentó diferencia significativa, se observa que obtuvo valores de dureza mayores en comparación con los demás tratamientos.

Las condiciones óptimas de refrigeración permiten reducir las pérdidas de firmeza en frutos o vegetales debido a desordenes fisiológicos, deshidratación o podredumbres que retrasan la senescencia o maduración, alargando la vida útil (Cáceres et al., s.f.). Los cambios en firmeza y el arrugamiento en la superficie de las frutas y vegetales son problemas causados por la pérdida de peso. La suavidad en chiles es visible al presentar pérdidas de peso mayores al 10%.



La firmeza también tiene relación con el estado de madurez del fruto, dado por la degradación de protopectinas insolubles a pectinas solubles, causando menos dureza (Blandón, 2012). La unión de los compuestos de las paredes celulares de los frutos se pierden durante la maduración y el etileno activa las enzimas hidrolíticas (poligalacturonasa y celulasa) que rompen los enlaces entre los polisacáridos de la pared (Asenjo et al., s.f.).

El ablandamiento excesivo es uno de los procesos de deterioro de los frutos que limitan su transporte y vida postcosecha. La firmeza interesa al consumidor porque habitualmente está relacionada con la madurez de las frutas y hortalizas, con el tiempo de conservación en cámara o con la vida útil del producto. Así mismo puede indicar si la fruta ha experimentado cualquier tipo de deterioro físico, y se trata de uno de los aspectos más trascendentales en el que los consumidores establecen su decisión de compra.

3.2.2. Parámetros fisicoquímicos

❖ Sólidos Solubles

Los sólidos solubles están formados, fundamentalmente por azúcares reductores, no reductores y ácidos orgánicos (Primo, 1997). La concentración de sólidos solubles de los frutos se expresa en °Brix.

Este es un parámetro de los más asociados a la maduración del fruto y se relaciona con la degradación de los carbohidratos en los frutos, tiene efecto de alterar tanto el sabor como la textura del producto. El contenido de sólidos solubles aumenta hasta alcanzar máximo y después se mantiene o disminuye cuando avanza la maduración.

Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los tratamientos de Citrol-K Ultra y Quitosán en los chiles jalapeños respectivamente almacenados a 10°C y 26°C.

En la Figura 25 se observa que los mayores valores registrados de °Brix fueron para los chiles jalapeños almacenados a 26°C, siendo evidente que la alta temperatura aceleró el proceso de maduración.

Existen diferencias significativas en las interacciones de los tratamientos y temperaturas de Citrol-K Ultra a 10 y 26 °C y quitosán a 10 y 26 °C.



En los datos registrados, el día 0 el contenido de sólidos solubles en los chiles jalapeños con recubrimiento de Quitosán a 10°C fue de 1.73 °Brix, aumentando hasta el término del experimento (día 24) un 13.5% (2.00 °Brix), el recubrimiento de Quitosán a 26 °C tuvo un comportamiento similar, mientras que los chiles sin recubrimiento (Control 26 °C) presentaron un contenido inicial de 1.70 °Brix aumentando hasta 2.20 °Brix, es decir, un incremento de 22.72%. Con estos resultados podemos decir que el tratamiento con quitosán retardó el tiempo de maduración del chile.

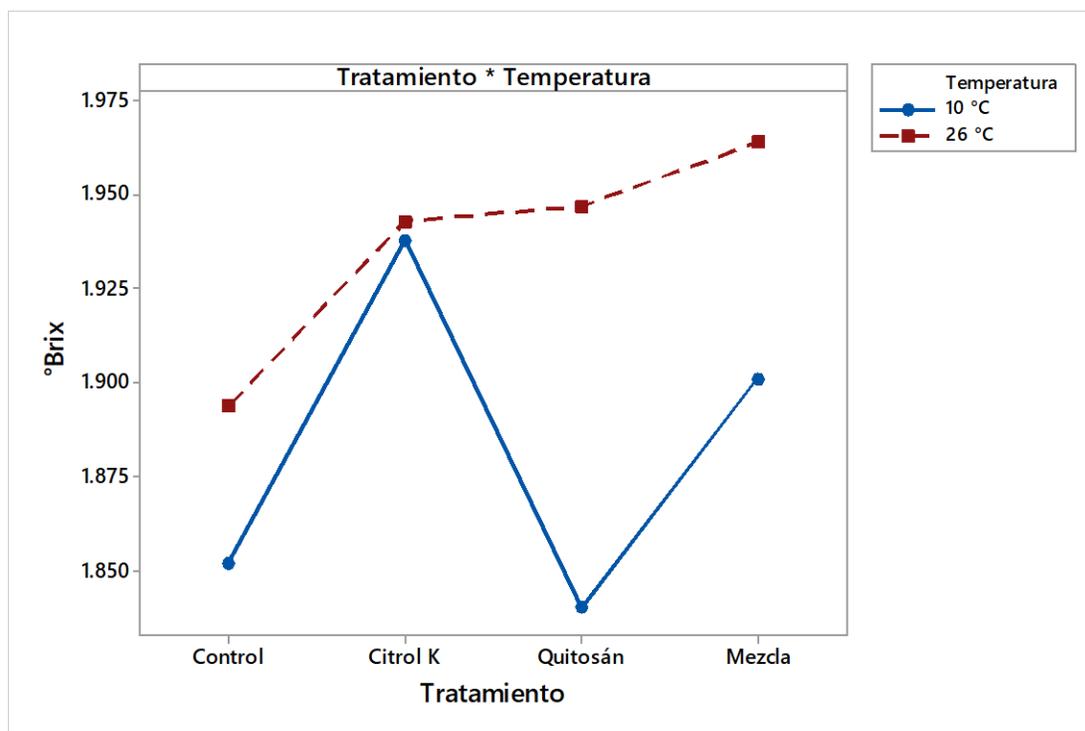


Figura 25. Efecto de la interacción para sólidos solubles

Para el tratamiento con Citrol-K Ultra existe diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto al control en relación a la temperatura y los sólidos solubles, en donde presenta un comportamiento similar a ambas temperaturas experimentales, en el cual tiene un aumento a mayor temperatura (26°C), los dos comportamientos se deben a que el tratamiento a base de ácidos orgánicos sugiere la degradación en las paredes celulares del fruto por una mayor actividad fisiológica, por lo que los tejidos hicieron uso de la sacarosa para mantener su estabilidad en el fruto lo que da resultados bajos de sólidos solubles.

El tratamiento a base de quitosán muestra diferencia significativa ($p < 0.05$) contra el control, esto se debe a la propiedad hidrofílica del quitosán, lo que hace que absorba el contenido de



humedad del chile ya que forma una excelente película semipermeable alrededor del chile, la atmósfera interna del producto se modifica reduciendo O_2 y/o elevando CO_2 y suprimiendo la producción de etileno (Rohani, Zaipun & Norhayati, 1997).

❖ pH

La evaluación del pH en los diferentes tratamientos mostró diferencias significativas el tratamiento con quitosán y la mezcla a las temperaturas de 10 y 26°C.

El pH se mantuvo entre 5.63 y 6.80 y mostró diferencias significativas entre los tratamientos a lo largo del periodo de almacenamiento. En la Figura 26 se puede apreciar que el pH de los chiles jalapeños durante el almacenamiento a temperatura de 10°C se mantuvo bajo para los tratamientos a excepción del quitosán que tiene una media más alta a temperatura baja, en comparación al quitosán de 26°C.

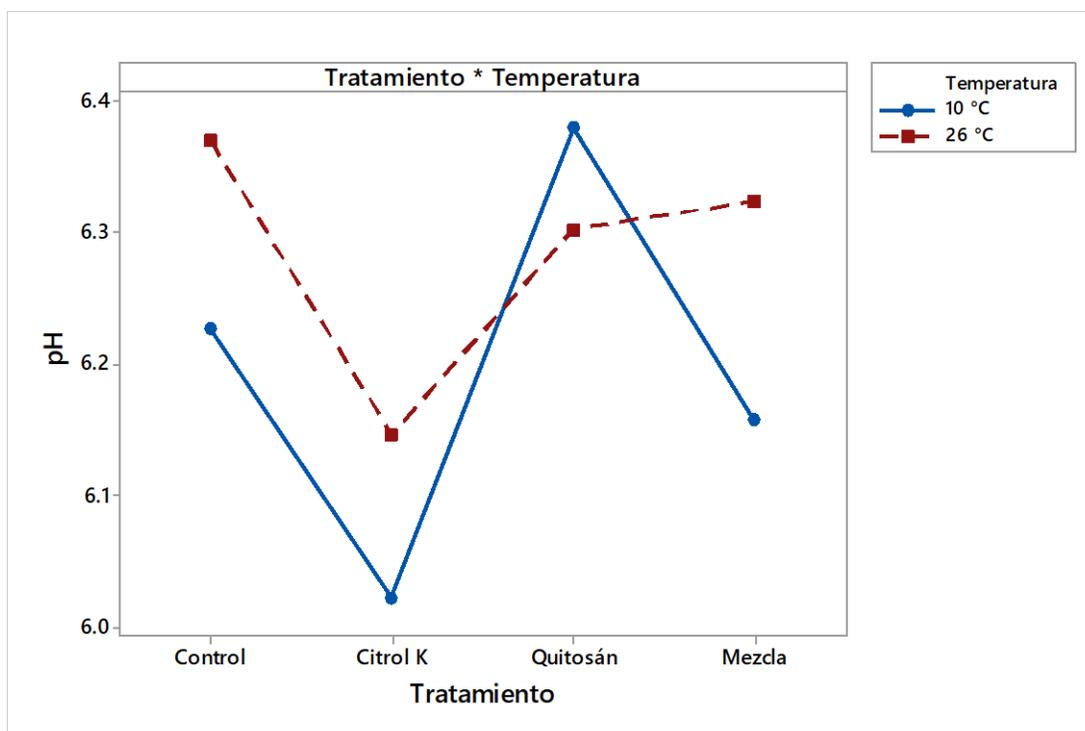


Figura 26. Efecto de la interacción para pH

Tanto el tratamiento de quitosán y la mezcla tiene una diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto al control y esto se debe al efecto que tiene el recubrimiento de quitosán sobre los chiles, va retardando el proceso metabólico del ácido cítrico y el ácido ascórbico presentes y conforme avanza la maduración su concentración va aumentando. El pH se comporta de acuerdo



a la variación en la acidez titulable, ya que aumenta cuando la acidez desciende y viceversa, lo cual ha sido reportado para algunos frutos (Tucker, 1993), y en general este comportamiento se observó en frutos de pimiento morrón (Morales, 2013).

❖ Acidez Titulable

A medida que el contenido de sólidos solubles se va incrementando por la acción de la hidrólisis del almidón transformándose en azúcares más simples, la acidez del fruto va disminuyendo viéndose reflejado en un incremento del pH, que va incrementando conforme avanza la maduración del chile sin llegar a valores alcalinos.

En la Figura 27 se observa que los chiles control a menor temperatura (10°C) su porcentaje de acidez presentan una media más alta, en comparación con la media a temperatura alta (26°C), esto es debido a la pérdida de ácidos orgánicos (ácido cítrico) por efecto natural de la maduración y los cambios que desencadena la etapa de senescencia en frutos no climatéricos.

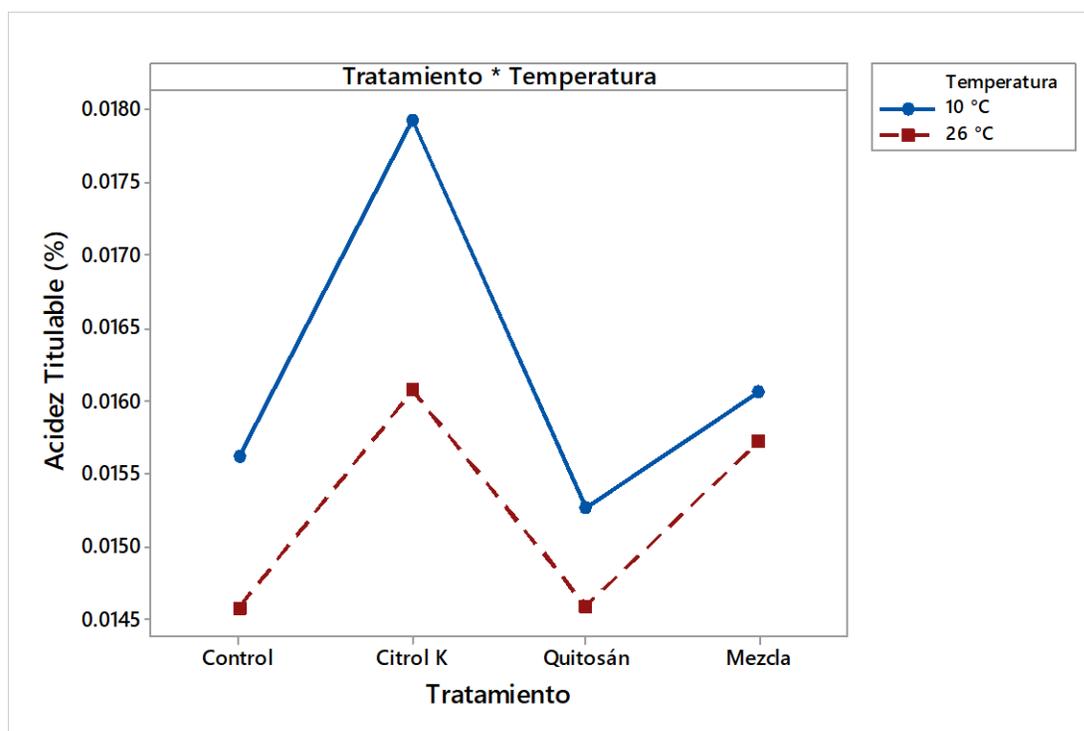


Figura 27. Efecto de interacción para acidez titulable

La acidez titulable en los chiles jalapeños tiene una tendencia descendiente conforme transcurre el tiempo de almacenamiento. A pesar de que el tratamiento de Citrol-K Ultra en el gráfico



pareciera tener algún efecto, estadísticamente no mostró significancia este parámetro contra el control.

Se puede apreciar que el porcentaje de acidez titulable en frutos de chile jalapeño disminuyó gradualmente hasta el final de su vida postcosecha. Lo anterior coincide con Nunes et al. (1995) quienes mencionan que en el fruto del chile, durante el proceso de maduración a senescencia, ocurre una disminución en ácidos orgánicos y fenólicos lo que produce astringencia y acidez, lo cual le proporciona al fruto su sabor característico.

3.2.3. Parámetros fisiológicos

❖ Pérdida de peso

La pérdida de agua es uno de los principales problemas post cosecha de los chiles, debido a su actividad transpiratoria. Esta pérdida de agua es favorecida por la gran superficie que tienen estos frutos, así como la migración que tiene lugar a través del cáliz y del pedúnculo. Su consecuencia, además de una reducción de peso, es el arrugamiento de la superficie y ablandamiento de la carne. El límite aceptable de pérdida de peso a través de la deshidratación está entre el 5 y 10% (Coop et al., 2011).

En la figura 28 se observa que los chiles almacenados a temperatura de 26°C presentaron mayor porcentaje de pérdidas de peso, esto se debe a que la humedad relativa del almacenamiento fue muy baja (61%HR). El tratamiento de Citrol-K Ultra muestra una diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto al control, los chiles recubiertos con este tratamiento registraron una pérdida de peso de 20.7% al final de la experimentación (día 24) a temperatura de 10°C y 39.1% a una temperatura de almacenamiento de 26°C esto se debe que durante el almacenamiento, el proceso de respiración de las frutas y vegetales tienden a aumentar la temperatura superficial, produciendo mayores pérdidas de peso relacionadas a la evaporación y generación de CO₂ (Orrego, 2001).

La temperatura está directamente relacionada con la tasa de respiración, es decir, a mayor temperatura, mayor es la tasa de respiración (Wilson, Boyette & Estes, 1999) y por lo tanto mayor pérdida de peso, que es lo que ocurrió a la temperatura de 26°C.

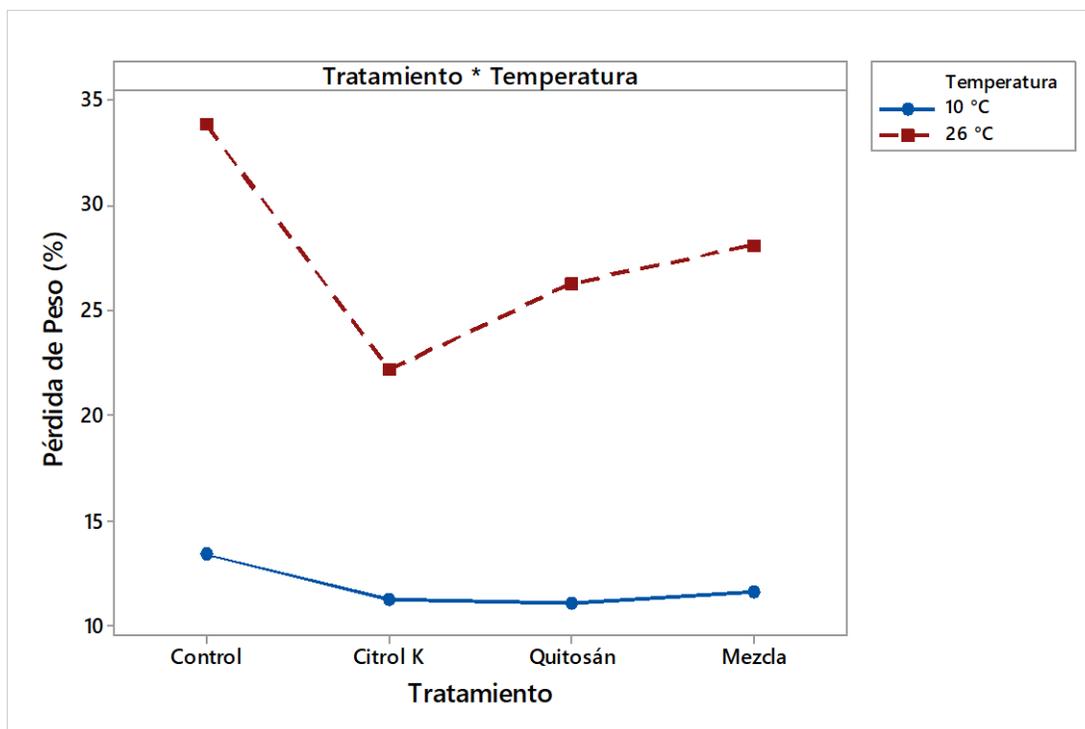


Figura 28. Efecto de interacción para % de pérdida de peso

Es por ello, que a temperaturas frías en este caso 10°C se reduce los procesos fisiológicos y por ende la pérdida de vapor de agua (Vinicio, Castro, & González, 1991). La diferencia de presión de vapor de agua en el interior y exterior del fruto, determinó la velocidad de pérdida de agua. Esta diferencia entre presiones de vapor de agua provoca desplazamiento del agua desde el protoplasma de las células a través de las membranas y células hasta la superficie del tejido de las frutas y vegetales (Vargas, 1987).

El empleo de quitosán sólo como recubrimiento da como resultado una pérdida de tamaño y esto asociado a la pérdida fisiológica de peso. Esto es debido al carácter hidrofílico del quitosán ya que tiende a establecer equilibrio en las humedades relativas del fruto y del ambiente.

3.2.4. Parámetros microbiológicos

❖ Mohos y levaduras

Los mohos y las levaduras se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente, pueden encontrarse como flora normal de un alimento, o como contaminantes en equipos mal sanitizados. Ciertas especies de hongos y levaduras son útiles en la elaboración de algunos alimentos, sin embargo también pueden ser causantes de la descomposición de otros alimentos.



Debido a su crecimiento lento y a su baja competitividad, la presencia de hongos y levaduras en frutas y vegetales se manifiesta en donde el crecimiento bacteriano es menos probable o presente daños mecánicos, físicos o desorden fisiológico (Camacho et al., 2009).

Como se observa en la Figura 29 la mayor cantidad de mohos y levaduras creció a temperatura de 26°C, esto se debió a las condiciones dentro de la incubadora como por ejemplo la temperatura y la humedad. La temperatura ideal de crecimiento de hongos y levaduras es de 20 a 25°C. Además, el alto contenido de humedad crea condiciones favorables para el crecimiento de los mismos.

El desarrollo de enfermedades causadas por hongos y levaduras puede surgir durante el manejo postcosecha, en la mayoría de las veces es el resultado de un mal manejo pre cosecha, mientras que las infecciones postcosecha ocurren ocasionalmente cuando las frutas sanas se presionan contra la lesión de una fruta enferma (Productores de Hortalizas, 2004).

Los chiles recubiertos con el tratamiento de Citrol-K Ultra mostraron tener diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto al control y esto se debe al mecanismo de acción de los desinfectantes orgánicos, que se lleva a cabo a través del rompimiento de las membranas celulares de los microorganismos, dañando así el ciclo vital de la célula e interrumpiendo su multiplicación.

El tratamiento de quitosán demostró tener diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto al control, lo que demuestra la acción inhibidora de hongos al aplicar el recubrimiento de quitosán y esto se debe a que los grupos amino cargados positivamente de las unidades de glucosamina interactúan con carga negativa de los microorganismos.

Los componentes presentes en las membranas celulares alteran las propiedades que los microorganismos tienen como barrera e impiden la entrada de nutrientes o causan la fuga de contenidos intermoleculares de los mismos. También se ha demostrado que el quitosán activa varios procesos de defensa en tejidos vegetales e inhibe la producción de toxinas y crecimiento microbiano debido a su capacidad para quelar iones metálicos (Miranda & Lizarraga, 2012).

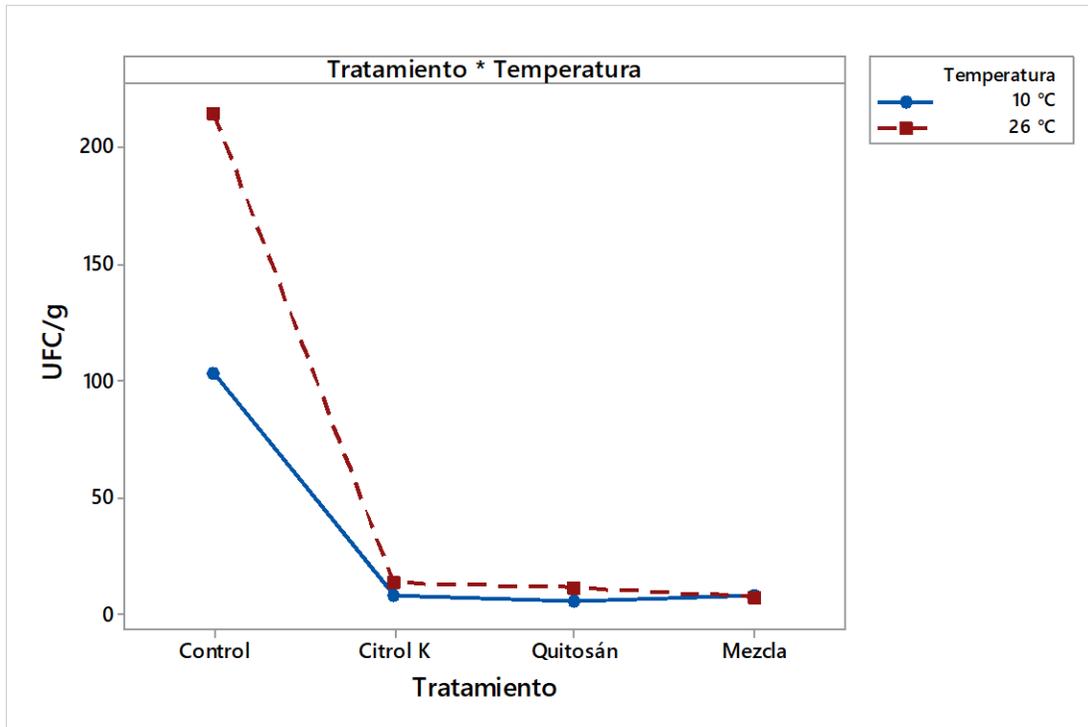


Figura 29. Efecto de interacción entre tratamiento y temperatura para Mohos y Levaduras

Se detectó la presencia de *Alternaria spp* que causó lesiones de color oscuro en la superficie e interior de los frutos almacenados a temperatura de 10°C, este microorganismo se aisló en cajas Petri con Agar Papa Dextroxa para después ser visualizados en el microscopio, como se puede observar en la Figura 30, es probable que las lesiones se desarrollaran a partir de infecciones provenientes del campo.



Figura 30. Chile infectado con *Alternaria spp*. y vista microscópica



El daño de la *Botrytis cinerea* conocida como podredumbre gris, ocurrió principalmente en los frutos control a temperatura de 26°C, este microorganismo se desarrolló durante la experimentación y se aisló en cajas Petri con Agar Papa Dextrosa, creando micro cultivos para ser visualizados en el microscopio como se aprecia en la Figura 31.



Figura 31. Chile infectado con *Botrytis cinerea*. y vista microscópica



Conclusiones

El tratamiento de Citrol-K Ultra prolonga la vida útil en 4 días (10 días totales), mientras que el recubrimiento de quitosán extendió su vida útil en 6 días (12 días totales), con respecto a los 6 días del control, es decir, que el tratamiento de quitosán al día 13 de almacenamiento y el Citrol-K Ultra al día 11 de su almacenamiento, obtuvieron valores mayores al 10 % en pérdida de peso, este parámetro se utiliza como índice de calidad y ocasiona que los frutos salgan del mercado, pero en este caso fueron consumidos ya que no presentaban ningún tipo de contaminación a excepción del control.

Los tratamientos de Citrol-K Ultra y Quitosán tuvieron efecto positivo sobre la calidad postcosecha de los frutos de chile jalapeño, y en combinación a temperaturas bajas de almacenamiento prolongan la vida útil.

La combinación del tratamiento con Citrol-K Ultra y temperatura de almacenamiento de 10°C prolonga la calidad de los frutos al retrasar el cambio de color de verde-amarillo y al obtenerse las menores pérdidas de peso, de firmeza y reducción de tamaño.

El fruto de chile jalapeño presenta prolongada vida de anaquel a temperaturas de almacenamiento menores a 10°C, lo cual es importante para evitar pérdidas postcosecha y así tener una alternativa más de comercialización mejorando los ingresos de los productores y comercializadores.

Tanto el Citrol-K Ultra como el quitosán fueron efectivos como antibacterianos ya que no hubo crecimiento en los chiles.

Los tratamientos de Citrol-K Ultra y quitosán demostraron contener el desarrollo de mohos y levaduras, pero el quitosán mostro ser más efectivo.

El tratamiento de quitosán a pesar de haber mostrado los mejores resultados en general, presenta una limitación potencial ya que debido a su propiedad hidrofílica absorbe el contenido de humedad del fruto, por lo tanto pierde firmeza; por esta razón es recomendable controlar este efecto adicionando glicerol que aparte de ser un plastificante evitará la pérdida de humedad.



Bibliografía

- 3M México, P. (2004). Placas 3M® Petrifilm™ Aqua Hongos y Levaduras C/1000. Recuperado el 19 de junio de 2016, a partir de http://www.3m.com.mx/3M/es_MX/inicio/todos-los-productos-3m/~/Placas-3M-Petrifilm-Aqua-Hongos-y-Levaduras-C-1000?N=5002385+3294586552&rt=rud
- Agrios, G. N. (1995). *Fitopatología*. México: Limusa.
- Agrios, G. N., Walker, M. E., & Ferro, D. N. (1985). Effect of Cucumber Mosaic Virus Inoculation at Successive Weekly Intervals on Growth and Yield of Pepper (*Capsicum annuum*) Plants. *Plant Disease*, 69(1), 52. <http://doi.org/10.1094/PD-69-52>
- Andrews, J. (1995). Peppers: The Domesticated Capsicums. Recuperado el 10 de abril de 2016, a partir de <https://books.google.com.mx/books?id=SsjvX31EMekC>
- Arcos, G., Hernández, J., Uriza, D., Pozo, O., & Olivera, A. (1998). *Tecnología para producir chile jalapeño en la planicie costera del Golfo de México*. México: SAGAR-INIFAP-Centro de Investigación Regional del Noroeste.
- Asenjo, J., Morales de los Ríos, L., Sainz, R., & Tapia, L. (s/f). Producción de alcoholes volátiles durante maduración de los frutos. Recuperado el 7 de mayo de 2016, a partir de http://pendientedemigracion.ucm.es/info/cvicente/seminarios/maduracion_frutos.pdf
- Baltazar, B. (1998). *Diversidad genética del cultivo del chile (Capsicum spp) determinada por isoenzimas y RFLP's tipos: serrano, jalapeño, manzano y silvestres en su área de distribución*. México. Recuperado a partir de <http://www.conabio.gob.mx/institucion/cgi-bin/datos.cgi?Letras=G&Numero=026>
- Barrera, J. A., Hernández, M. S., Melgarejo, L. M., & Fernández, J. P. (2005). Physiological changes in Amazonic hot pepper accessions during growth, ripening and storage. *Acta Horticulturae*.
- Bégin, A., & Calsteren, M. R. (1999). Antimicrobial films produced from chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 26(1), 63–67. [http://doi.org/10.1016/S0141-8130\(99\)00064-1](http://doi.org/10.1016/S0141-8130(99)00064-1)
- Black, L. L., Green, S. K., Hartman, G. L., & Poulos, J. M. (1991). *Pepper Diseases: A Field Guide*. (Asian Vegetable Research and Development Center, Ed.).
- Blandón, S. (2012). Fisiología de Poscosecha. Recuperado el 31 de mayo de 2017, a partir de <https://www.yumpu.com/es/document/view/13486723/fisiologia-de-poscosecha-sandra-blandon-blogs>
- Bosland, P. W. (1996). Capsicums: Innovative Uses of an Ancient Crop. Recuperado el 21 de septiembre de 2015, a partir de <https://hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/V3-479.html>



- Boylan, E. (2004). *Utilización de extracto de ajo (*Allium sativum*) y extracto de cítricos como tratamientos profilácticos de aeromoniasis en guppys (*Poecilia reticulata*)*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cabrera, S., & Rivera, R. (2015). *Aplicación de extracto de epazote para el control de hongos causantes de enfermedades postcosecha en papaya, jitomate y chile*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cáceres, I., Mulkay, T., Rodríguez, J., & Paumier, A. (s/f). *Conservación de Productos Hortofrutícolas*.
- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B., & Velázquez, O. (2009). *Técnicas para el análisis microbiológico de alimentos* (2a ed.). México.
- Cámara Agropecuaria y Agroindustrial de el Salvador. (2005). *Manual de manejo poscosecha de hortalizas. Manejo poscosecha del chile dulce*. Recuperado el 11 de junio de 2015, a partir de <https://es.scribd.com/doc/99704161/CAMAGRO-Manual-de-Manejo-Postcosecha-de-Hortalizas>
- Chew, Y., Vega, A., Palomo, M., & Jiménez, F. (2008). *Principales enfermedades del chile (*Capsicum annuum L.*)* (No. Folleto Técnico Número 15). Coahuila, México.
- Codex Alimentarius. (2008). *Propuestas de nuevos trabajos para Normas del Codex sobre el Chile Fresco y el Ajo*. Recuperado el 7 de septiembre de 2015, a partir de ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/CCFFV/ccffv14/ff14_10s.pdf
- Comite Estatal de Sanidad Vegetal de Baja California. (2013). *Manual técnico de desinfección poscosecha*.
- Comité Nacional Sistema Producto Chile. (2014). *Plan Rector Comité Nacional Sistema Producto Chile*. Recuperado el 17 de junio de 2015, a partir de http://www.conaproch.com/descargas/PLAN_RECTOR_2014.pdf
- Coop, F. Y., Corona, A. I., Rodríguez, R., & Herrera, F. J. (2011). *Conservación de la calidad poscosecha en chile habanero (*Capsicum chinense J.*) mediante atmósferas modificadas*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12, 80–86.
- Cuero, R. G., Osuji, G., & Washington, A. (1991). *N-carboxymethylchitosan inhibition of aflatoxin production: Role of zinc*. *Biotechnology Letters*, 13(6), 441–444. <http://doi.org/10.1007/BF01030998>
- El-Ghaouth, A., Arul, J., Asselin, A., & Benhamou, N. (1992). *Antifungal activity of chitosan on post-harvest pathogens: induction of morphological and cytological alterations in *Rhizopus stolonifer**. *Mycological Research*, 96(9), 769–779. [http://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80447-4](http://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80447-4)



- El-Ghaouth, A., Arul, J., Ponnampalam, R., & Boulet, M. (1991). Chitosan Coating Effect on Storability and Quality of Fresh Strawberries. *Journal of Food Science*, 56(6), 1618–1620. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb08655.x>
- Escala Scoville de Pimientos Picantes. (2015). Recuperado el 20 de mayo de 2016, a partir de <http://www.pimientospicantes.com/scoville/>
- Eslava, K., & Zepeta, J. (2011). *Obtención de gas pimienta a partir de chile jalapeño (Capsicum annum)*. Universidad Veracruzana.
- Fernández, J., Liverotti, O., & Sánchez, G. (1997). Manejo poscosecha de pimiento. *Corporación del Mercado Central de Buenos Aires*, 1–27. Recuperado a partir de <http://www.mercadocentral.gob.ar/zip tecnicas/pimiento.pdf>
- Fernandez, P., Ocio, M. J., & Lagaron, J. M. (2010). The use of chitosan in antimicrobial films for food protection. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 5(24), 1–11. <http://doi.org/10.1079/PAVSNNR20105024>
- Flamini, G., Tebano, M., & Cioni, P. L. (2007). Volatiles emission patterns of different plant organs and pollen of Citrus limon. *Analytica Chimica Acta*, 589(1), 120–124. <http://doi.org/10.1016/j.aca.2007.02.053>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 14 de noviembre de 2015, a partir de <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Ganan, M., Carrascosa, A. V, & Martínez-Rodríguez, A. J. (2009). Antimicrobial activity of chitosan against *Campylobacter* spp. and other microorganisms and its mechanism of action. *Journal of Food Protection*, 72(8), 1735–1738. <http://doi.org/10.4315/0362-028X-72.8.1735>
- Gómez, R., Pardo, J., Varón, R., & Navarro, F. (1996). Evolution of Color during the Ripening of Selected Varieties of Paprika Pepper (*Capsicum annum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(8), 2049–2052. <http://doi.org/10.1021/jf950465m>
- González, G. A., Monroy, I. N., Goycoolea, F., Díaz, M. E., & Ayala, F. (2005). Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. En Simposium “Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados (Ed.), (pp. 121–133). La Habana, Cuba. Recuperado a partir de <https://hortintl.cals.ncsu.edu/es/content/cubiertas-comestibles-de-quitosano-una-alternativa-para-prevenir-el-deterioro-microbiano-y-c>



- Hadwiger, L. A., Kendra, D. F., Fristensky, B. W., & Wagoner, W. (1986). Chitosan Both Activates Genes in Plants and Inhibits RNA Synthesis in Fungi. En R. Muzzarelli, C. Jeuniaux, & G. W. Gooday (Eds.), *Chitin in Nature and Technology* (pp. 209–214). Boston, MA: Springer US. http://doi.org/10.1007/978-1-4613-2167-5_28
- Hernández, I. (2004). La quitosana: Un producto bioactivo de diversas aplicaciones. *Cultivos Tropicales*, 25, 97–110. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217916014>
- Imeri, A. G., & Knorr, D. (1988). Effects of Chitosan on Yield and Compositional Data of Carrot and Apple Juice. *Journal of Food Science*, 53(6), 1707–1709. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07821.x>
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. (2012). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica*. (M. T. Menchú & H. Méndez, Eds.) (2a ed.). Guatemala.
- Kitinoja, L., & Kader, A. A. (1995). Manual de prácticas de manejo poscosecha de los productos hortofrutícolas a pequeña escala. Recuperado el 23 de junio de 2016, a partir de <http://www.fao.org/Wairdocs/X5403S/X5403S00.htm>
- Kuhn, C. W., Nutter, F. W., & Padgett, G. B. (1989). Multiple levels of resistance to tobacco etch virus in pepper. *Phytopathology*, 79 (7), 814–818. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/240594023_Multiple_Levels_of_Resistance_to_Tobacco_Etch_Virus_in_Pepper
- Laborde, J. A., & Pozo, O. (1982). *Presente y Pasado del chile en México*. México: SARH-INIA.
- Lardizábal, R. (2002). Manual de Producción de Chile Jalapeño. Recuperado el 26 de junio de 2016, a partir de http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/64/CDA_Fintrac_Manual_Produccion_Chile_Jalapeño_10_02.pdf?sequence=1
- Lárez, C. (2003). Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 4(2), 91–109.
- Lárez, C. (2006). Quitina y quitosano : materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avances en Química*, 1(2), 15–21.
- Lárez, C. (2008). Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. *Revista UDO Agrícola*, 8(1), 1–22.
- Lehninger, A. L., & Cox, M. M. (2006). *Principios de bioquímica*. Omega. Recuperado a partir de <https://books.google.com.ar/books?id=oB94AAAACAAJ>



- López, H. (2013). *Comportamiento de frutos de chile (Capsicum annuum) tipo jalapeño a la desinfección con sanitizantes en Poscosecha*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- López, P. (2007). El chile de agua: Un chile típico de los Valles centrales de Oaxaca. *Agroproduce*, 1–36.
- López, U., Nuñez, F., & Valladares, B. (2010). *Desarrollo y evaluación de un chile jalapeño (Capsicum annuum) en salmuera y su diseño de planta*. Escuela Agrícola Panamericana.
- Manrique, A. (2013). Cocina y Bienestar. La Anatomía del Chile. Recuperado el 21 de mayo de 2015, a partir de <http://www.cocina-bienestar.com/2013/12/anatomia-del-chile.html>
- Mármol, Z., Gutiérrez, E., Páez, G., Ferrer, J., & Rincón, M. (2004). Desacetilación termoalcalina de quitina de conchas de camarón. *Multiciencias*, 4. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90440203>
- Mármol, Z., Páez, G., Rincón, M., Araujo, K., Aiello, C., Chandler, C., & Gutiérrez, E. (2011). Quitina y Quitosano polímeros amigables . Una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU*, (August 2016), 53–58. <http://doi.org/2244-775X>
- Martinez, Y., Diaz, L., & Manzano, J. (2003). Influences of nitrogen and potassium fertilizer on the quality of “Jupiter” pepper (*Capsicum annuum*) under storage. *Acta Horticulturae*.
- Medina, C. I., Lobo, M., & Farley, A. (2006). Variabilidad fenotípica en poblaciones de ají y pimentón de la colección colombiana del género *Capsicum*. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 7, 25–39. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945021004>
- Mínguez, M. I., & Hornero, D. (1994). Formation and transformation of pigments during the fruit ripening of *Capsicum annuum* Cv. Bola and Agridulce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(1), 38–44. <http://doi.org/10.1021/jf00037a005>
- Miranda, S. P. (2011). Proceso para la extracción de quitina a partir de crustáceos y su conversión a quitosán. México.
- Miranda, S. P., & Lizarraga, E. G. (2012). Is Chitosan a New Panacea? Areas of Application. En *The Complex World of Polysaccharides* (pp. 3–46). InTech. <http://doi.org/10.5772/51200>
- Morales, J. (2013). *Evaluación de la producción y calidad de pimiento (capsicum annuum L.) cv Canon obtenido mediante biofertilización*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Navarrete, K. (2009). *Aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina para preservar la calidad de zarzamora (Robus frocticosus) almacenada en refrigeración lista para consumir*. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México.



- No, H. K., Meyers, S. P., Prinyawiwatkul, W., & Xu, Z. (2007). Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods: A review. *Journal of Food Science*, 72(5). <http://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00383.x>
- Nuez, F., Gil, R., & Costa, J. (1996). *El cultivo de pimientos, chiles y ajies*. Mundi-Prensa. Recuperado a partir de <https://books.google.com.mx/books?id=O8fiJoRfPnQC>
- Nunes, M. C., Brecht, J. K., Morais, A., & Sargent, S. (1995). Physical and chemical quality characteristics of strawberries after storage are reduced by a short delay to cooling. *Postharvest Biology and Technology*, 6(1–2), 17–28. [http://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)00048-W](http://doi.org/10.1016/0925-5214(94)00048-W)
- Nychas, G. J. (1995). Natural antimicrobials from plants. En G. W. Gould (Ed.), *New Methods of Food Preservation* (pp. 112–134). Glasgow: Blakie Academia y Professional. <http://doi.org/10.1007/978-1-4615-2105-1>
- Orrego, C. E. (2001). Calor de respiración de frutas y vegetales. Recuperado el 29 de junio de 2016, a partir de <http://www.bdigital.unal.edu.co/8235/1/carloseduardoorregoalzate.2001.pdf>
- Palma, J., Jansson, H. B., Salinas, J., & Lopez, L. V. (2008). Effect of chitosan on hyphal growth and spore germination of plant pathogenic and biocontrol fungi. *Journal of Applied Microbiology*, 104(2), 541–553. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03567.x>
- Pavón, M. Á., González, I., Martín, R., & García, T. (2012). Importancia del género *Alternaria* como productor de micotoxinas y agente causal de enfermedades humanas. *Nutricion Hospitalaria*, 27(6), 1772–1781. <http://doi.org/10.3305/nh.2012.27.6.6017>
- Pérez, L. M., Castañón, G., & Mayek, N. (2008). Diversidad morfológica de chiles (*Capsicum Spp.*) de Tabasco, México. Cuadernos de Biodiversidad.
- Pérez, L., Rico, E., Sánchez, J. R., Ascencio, J., Díaz, R., & Rivera, R. F. (2004). Identificación de Virus Fitopatógenos en Cultivos Hortícolas de Importancia Económica en el Estado de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22, 187–197. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/pdf/612/61222205.pdf>
- Plascencia, M., Olayo, R., Viniegra, G., Castillo-Ortega, M., & Shirai, K. (2006). *El quitosano y su efecto sobre la germinación de las esporas de hongos filamentosos: un estudio microscópico*. *Advances*. México.
- Polit, P. (2013). Manejo poscosecha de productos hortofrutícolas en fresco. Recuperado el 11 de febrero de 2015, a partir de http://www.sica.gov.ec/agronegocios/sistema_valor/poscosecha_hortifuticolas.htm



- Primo, E. (1997). *Química de los alimentos*. Síntesis. Recuperado a partir de <https://books.google.com.mx/books?id=LaTrAAAACAAJ>
- Productores de Hortalizas. (2004). *Plagas y Enfermedades de chiles y pimientos. Guía de identificación y manejo*.
- Prusky, D. (1996). Pathogen quiescence in postharvest diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 34, 413–434.
- Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, 31, 603–632. <http://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001>
- Roberts, G. (2006). *European Chitin Society Newsletter*. (George A F Roberts, Ed.) (July 2006). No. 21.
- Robles, L., Gonzalez, A. C., Gill, E. M., Pérez, L., & López, J. C. (2010). Virus fitopatógenos que afectan al cultivo de chile en México y análisis de las técnicas de detección. *Tecnociencia Chihuahua*, 4(2), 72–86.
- Rodríguez, O. Y., & Sampedro, S. I. (2011). *Efecto de un extracto de semilla de cítricos en la calidad sanitaria de rebanadas de jamón de carne de conejo*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rohani, M. Y., Zaipun, M. Z., & Norhayati, M. (1997). Effect of modified atmosphere on the storage life and quality of Eksotika papaya. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 25, 103–113.
- Roller, S., & Covill, N. (1999). The antifungal properties of chitosan in laboratory media and apple juice. *International Journal of Food Microbiology*, 47(1), 67–77. [http://doi.org/10.1016/S0168-1605\(99\)00006-9](http://doi.org/10.1016/S0168-1605(99)00006-9)
- Rosas, C. F. (2011). *Importancia del Capsicum annum en la industria alimentaria, un estudio preliminar*.
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. (2004). PC-011-2004.- Pliego de condiciones para el uso de la Marca Oficial México Calidad Selecta en chile poblano, serrano y jalapeño. Recuperado el 3 de julio de 2015, a partir de http://www.mexicocalidadsuprema.org/assets/galeria/PC_011_2004_Chile_vsj.pdf
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. (2015). México, líder mundial en exportación de chile: SAGARPA. Recuperado el 1 de marzo de 2016, a partir de <http://www.gob.mx/sagarpa/prensa/mexico-lider-mundial-en-exportacion-de-chile-sagarpa>
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, & Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2015). Atlas Agroalimentario 2015. Recuperado el 16 de marzo de 2016, a partir de http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2015/Atlas



Agroalimentario-2015

- Serrano, A. (2008). *Efectos de diferentes factores: Fertilización, salinidad y procesado, sobre parámetros objetivos de calidad en pimiento*. Departamento de tecnología de la alimentación y Nutrición. Universidad Católica de San Antonio.
- Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2016). Nada tan mexicano como el chile verde. Recuperado el 10 de octubre de 2016, a partir de <https://www.gob.mx/senasica/articulos/nada-tan-mexicano-como-el-chile-verde?idiom=es>
- Smith, D. C., Forland, S., Bachanos, E., Matejka, M., & Barrett, V. (2001). Qualitative Analysis of Citrus Fruit Extracts by GC/MS: An Undergraduate Experiment. *The Chemical Educator*, 6(1), 28–31. <http://doi.org/10.1007/s00897000450a>
- Tamura, H., Nagahama, H., & Tokura, S. (2006). Preparation of Chitin Hydrogel Under Mild Conditions. *Cellulose*, 13(4), 357–364. <http://doi.org/10.1007/s10570-006-9058-z>
- Trigos, Á., Ramírez, K., & Salinas, A. (2008). Presencia de hongos fitopatógenos en frutas y hortalizas y su relación en la seguridad alimentaria. *Revista Mexicana de Micología*, 28, 2–4. Recuperado a partir de http://revistamexicanademicologia.org/wp-content/uploads/2009/10/RMM_2009_28_125-129.pdf.
- Tucker, G. A. (1993). Introduction. En G. B. Seymour, J. E. Taylor, & G. A. Tucker (Eds.), *Biochemistry of Fruit Ripening* (pp. 1–51). Dordrecht: Springer Netherlands. http://doi.org/10.1007/978-94-011-1584-1_1
- United State Agency International Development. (2006). Boletín técnico de poscosecha: Manejo poscosecha de chile dulce. Recuperado el 7 de septiembre de 2015, a partir de <https://hortintl.cals.ncsu.edu/es/articles/manejo-poscosecha-de-chile-dulce>
- Universidad de las Américas Puebla. (2005). Revisión Bibliografica del chile. Recuperado el 7 de septiembre de 2015, a partir de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meiq/celis_c_a/capitulo4.pdf
- Vargas, W. (1987). *Tecnología del Manejo de Postcosecha de Frutas y Hortalizas*. Colombia: IICA Biblioteca Venezuela. Recuperado a partir de <https://books.google.com.mx/books?id=IYDGhOLOgPoC>
- Velásquez, R., Reveles, L. R., Chew, Y. I., & Mauricio, J. A. (2013). Virus y fitoplasmas asociados con el cultivo de chile para secado en el norte centro de México. *Tecnociencia Chihuahua*, 54. Recuperado a partir de <http://zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/VFcultivoCh.pdf>



- Vinicio, M., Castro, L., & González, J. (1991). Efecto del empaque y la temperatura de almacenamiento sobre la vida poscosecha y la calidad de los frutos de maracuya (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*). *Agronomía Costarricense*, 15(2), 79–83.
- Waizel, J., & Camacho, R. (2016). El Género *Capsicum* Spp. (“chile”). Recuperado el 14 de enero de 2017, a partir de <http://www.comprendamos.org/alephzero/60/capsicum.html>
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., & Joyce, D. (1999). *Introducción a la fisiología y manipulación postcosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales* (2nd ed.). España: Acribia.
- Wilson, L. G., Boyette, M. D., & Estes, E. . (1999). Postharvest Handling and Cooling of Fresh Fruits, Vegetables, and Flowers for Small Farms. *Horticulture Information Leaflet 800*, 95, 4–6.
- X-rite. (2002). Guía para entender la comunicación del color. Recuperado el 11 de agosto de 2015, a partir de http://www.mcolorcontrol.com/archivos/L10-001_Understand_Color_es.pdf
- Yahia, E., & Ariza, R. (2001). Tratamientos físicos en poscosecha de fruta y hortaliza. *Extra*, 80–88. Recuperado a partir de <http://www.horticom.com/pd/imagenes/53/173/53173.pdf>