



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**Reducción fúngica en chiles secos aplicando un recubrimiento  
con quitosán, un tratamiento térmico con vapor  
y la mezcla de ambos**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**DAFNE ARCELIA CRUZ SÁNCHEZ**

**ASESORA: DRA. SUSANA PATRICIA MIRANDA CASTRO**

**COASESOR: IBQ. JOSÉ JAIME FLORES MINUTTI**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

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

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO  
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ  
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 a comunicar a usted que revisamos la: Tesis

Reducción fúngica en chiles secos aplicando un recubrimiento con quitosán, un tratamiento térmico con vapor y la mezcla de ambos

Que presenta la pasante: Dafne Arcelia Cruz Sánchez  
Con número de cuenta: 407092389 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 16 de abril de 2013.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Susana Patricia Miranda Castro	
VOCAL	IQ. José Oscar Germán Ibarra	
SECRETARIO	Dra. Carolina Moreno Ramos	
1er. SUPLENTE	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
2do. SUPLENTE	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	

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

HHA/pm

## **DEDICATORIA**

*A esa mujer que ha sido siempre mi apoyo incondicional, que ha estado conmigo en todo momento a pesar de las circunstancias y las adversidades, que ha sido mi inspiración y de diferentes maneras me ha transmitido la fuerza necesaria para salir adelante y no dejar de perseguir mis sueños; te miro y veo a una gran mujer, modelo de lucha y perseverancia.*

*Eres mi ejemplo para nunca claudicar y siempre serás mi guía por la vida.*

*Porque además de ser mi **MADRE** eres mi confidente, ya que tu corazón comprendía cuando necesitaba una amiga, tus ojos tiernos se endurecían cuando me hacía falta; tu fuerza y tu amor me guiaron y me dieron alas para volar*

*Por tu tiempo, conocimiento, paciencia y amor, mi eterno agradecimiento.*

**ARCELIA SÁNCHEZ ZUÑIGA**

**AGRADECIMIENTO:**

*A estas personas que han sido parte importante en mi trayecto escolar y personal:*

*A mi hermana Paola por ser mi amiga, confidente y gran ser humano*

*A mi hermano Alfredo por sus cuidados y apoyo*

*A mi sobrina Greta que siendo tan pequeña es tan grande en mi corazón*

*A mi padre Alfredo*

*A mis primos Felipe y Fabiola*

*A mis amigas y amigos*

*(Viridiana, Andrea, Renata, Berenice, Ileana, Mariana, Carolina, Rodrigo, Cesar,)*

*A la doctora Susana Patricia Miranda Castro por todo su apoyo brindado*

*Al profesor José Jaime Flores Minutti por su apoyo y paciencia*

*A Industrias de la Rosa S. A. de R.L.*

*Gracias a todos los que participaron e hicieron posible este momento.*

***Se agradece el apoyo económico al proyecto PE203211***

***Innovación y fortalecimiento de la enseñanza teórico***

***practico de la Biotecnología para las asignaturas***

***terminales de las ciencias biológicas***

## ÍNDICE

RESUMEN .....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
1. Antecedentes.....	14
1.1. Chile fresco.....	14
1.1.1. Historia de género <i>Capsicum</i> .....	14
1.1.2. Usos de <i>Capsicum</i> .....	15
1.1.3. Clasificación de <i>Capsicum</i> .....	15
1.1.4. Variedades de los <i>Capsicum annum</i> .....	15
1.1.5. Morfología y taxonomía del género <i>Capsicum Annuum</i> .....	16
1.1.6. Composición química de <i>Capsicum annum</i> .....	18
1.2. Chile seco .....	18
1.2.1. Variedades de chiles secos .....	19
1.2.1.1. Chile pasilla .....	19
1.2.1.2. Chile mulato .....	20
1.2.2. Producción mundial de chiles secos (mulato y pasilla) .....	20
1.2.3. Producción mexicana.....	22
1.2.4. Producción nacional de chiles secos .....	22
1.2.5. Situación actual del chile seco en México .....	23
1.2.6. Normatividad de chiles secos.....	24
1.2.6.1. Normatividad Internacional .....	24
1.2.7. Exportación .....	24
1.2.8. Tecnologías en la post-cosecha .....	25
1.2.9. Producción de chiles secos (mulato-pasilla) .....	25
1.2.9.1. Secado de chile mulato y pasilla .....	27
1.2.10. Daños en chiles secos .....	28
1.2.10.2. Problemas de transporte.....	28
1.2.10.3. Principales contaminantes de chiles secos .....	28
1.2.10.4. Problemas por enfermedades postcosecha por hongos .....	29
1.3. Quitosán.....	29
1.3.1. Generalidades .....	29
1.3.2. Aplicaciones de quitina y quitosán .....	30
1.3.3. Quitina y Quitosán.....	30
1.3.4. Obtención de quitosán .....	31
1.3.5. Recubrimientos de quitosán. ....	31
1.3.6. Actividad antimicrobiana del quitosán.....	32
1.3.7. Actividad fungicida del quitosán.....	33
1.4. Tratamiento térmico .....	33
1.4.1.1. La aplicación de calor .....	34
1.4.1.2. Principales tratamientos térmicos en alimentos.....	34

1.4.1.3.	La temperatura y el crecimiento microbiano .....	35
1.5.	Hongos .....	36
1.5.1.	Generalidades .....	36
1.5.2.	Clasificación .....	37
1.5.3.	Mohos .....	38
1.5.4.	Levaduras .....	41
1.5.5.	Ambiente .....	43
1.5.6.	Micotoxinas .....	43
1.5.6.1.	Mohos y micotoxinas.....	44
1.5.7.	Deterioro en hortalizas por hongos .....	45
2.	Metodología de investigación experimental.....	47
2.1.	Actividades Preliminares .....	50
2.1.1.	Clasificación del chile de acuerdo al tamaño según la norma mexicana NMX-FF-107/1-SCFI-2006. ....	50
2.1.2.	Caracterización de chile mulato y chile pasilla .....	51
2.1.2.1.	Humedad por termobalanza. ....	51
2.1.2.2.	Color .....	51
2.1.2.3.	Peso específico.....	52
2.1.3.	Obtención de quitosán a partir del exoesqueleto del camarón. ....	52
2.1.4.	Caracterización del quitosán. ....	52
2.1.4.1.	Determinar el grado de desacetilación del quitosán .....	52
2.1.4.2.	Determinar peso molecular por viscosimetría intrínseca .....	54
2.1.5.	Determinar condiciones de secado para chile mulato y pasilla.....	55
2.2.	Diseño experimental .....	57
2.2.1.	Recubrimiento con quitosán (O.P.1).....	58
2.2.2.	Túnel de vapor (O.P.2).....	59
2.2.3.	Túnel de vapor y recubrimiento con quitosán (O.P.3) .....	59
2.2.4.	Determinación de carga fúngica .....	60
2.2.5.	Identificación de hongos y levaduras.....	62
2.2.6.	Análisis de costos.....	63
3.	Resultados y análisis de resultados .....	65
3.1.	Actividades Preliminares .....	65
3.1.1.	Clasificación del chile de acuerdo al tamaño según la norma mexicana NMX-FF-107/1-SCFI-2006.....	65
3.1.2.	Caracterización de chile mulato y chile pasilla.....	67
3.1.2.1.	Humedad por termobalanza. ....	67
3.1.2.2.	Colorimetría .....	67
3.1.2.3.	Peso específico.....	70
3.1.3.	Obtención de quitosán a partir del exoesqueleto del camarón. ....	70
3.1.4.	Caracterización del quitosán. ....	70
3.1.4.1.	Grado de desacetilación del quitosán por el método de titulación.....	70

3.1.4.2.	Peso molecular.....	71
3.1.5.	5.- Determinar condiciones del secador de charolas. ....	73
3.1.5.1.	Chile mulato.....	73
3.1.5.2.	Chile pasilla .....	74
3.2.	Objetivos particulares .....	75
3.2.1.	Evaluación del efecto de recubrimiento de quitosán en chiles secos. ....	78
3.2.2.	Evaluar el efecto de un túnel de vapor con inyección directa en chiles secos .....	80
3.2.3.	Evaluar la aplicación de recubrimiento de quitosán y túnel de vapor. ....	81
3.3.	Análisis estadístico ANOVA .....	83
3.4.	Análisis financiero.....	86
4.	Conclusiones .....	88
5.	Referencias consultadas.....	90
5.1.	Referencia electrónica.....	90
5.2.	Referencia bibliográfica.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-Anatomía del pimiento o chile.....	17
Figura 2.-Chile pasilla .....	19
Figura 3.-Chile mulato .....	20
Figura 4.-Relación estructural entre la quitina, el quitosán y el quitano.....	30
Figura 5.-Diagrama proceso de obtención de quitosán.....	31
Figura 6.-Algunos géneros de levaduras. ....	42
Figura 7.-Proceso grafico para recuento de mohos y levaduras.....	61
Figura 8.- Extracción de colonia para identificación microscópica .....	62
Figura 9.-Ejemplificación para transferencia de colonia.....	62
Figura 10.-Mohos en diferentes etapas de germinación. ....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.-Composición química del <i>Capsicum</i> y pimiento.....	18
Tabla 5.-Algunos géneros de mohos .....	39
Tabla 5.-Algunos géneros de mohos .....	40
Tabla 6.-Afecciones provocadas en el hombre por la ingestión de micotoxinas.....	44
Tabla 7.-Mohos productores de algunas micotoxinas .....	45
Tabla 8.- Variables O.P. 1 .....	58
Tabla 9.- Variables O.P.2 .....	59
Tabla 10.-Variables para O.P. 3 .....	60
Tabla 11.-Designación del producto conforme al tamaño.....	65
Tabla 12.-Resultados de medidas chile mulato y pasilla.....	65
Tabla 13.-Resultados de la designación del producto en porcentaje .....	66
Tabla 14.-Resultado porcentaje de humedad en chile mulato y pasilla .....	67
Tabla 15.-Humedad máxima permitida .....	67
Tabla 16.-Color de chile mulato .....	68
Tabla 17.-Color de chile pasilla.....	69
Tabla 19. Resultados grado de desacetilacion .....	71
Tabla 20.-Resultados de viscosimetría .....	71
Tabla 21.-Resultados de carga fúngica en chile mulato y pasilla.....	77
Tabla 22.-Conteo fúngico de chiles secos con recubrimiento de quitosán .....	79
Tabla 23.-Resultados de carga fúngica en chiles secos después de tratamiento térmico.....	80
Tabla 24.-Resultados de carga fúngica en chiles secos después de tratamiento térmico y recubrimiento con quitosán.....	82
Tabla 25.-Resultados de análisis de varianza .....	83
Tabla 26.-Gastos para producción de recubrimiento de quitosán .....	87
Tabla 27.-Gastos para producción de tratamiento térmico en túnel de vapor para las dos variedades de chile.....	87

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.-Produccion mundial de chile verde.....	21
Grafico 2.- Producción nacional en toneladas de chiles secos.....	23
Grafico 3.-Tendencia de pérdida de humedad- %H Vs tiempo .....	57
Gráfico 4.-Volumen de Na OH 0.1 M Vs pH.65.....	70
Gráfico 5.- Concentración de solución de quitosán Vs $\eta$ reducida. 66.....	72
Grafico 6.-Perdida de humedad-%H Vs tiempo-chile mulato. 67.....	73
Grafico 7.-Perdida de humedad-%H Vs tiempo-chile pasilla. 68.....	74
Gráfico 8.-Resultado de medias de carga fúngica en chile pasilla y mulato en diferentes tratamientos.....	84
Gráfico 9.-Resultado de medias de carga fúngica en chile pasilla y mulato en diferentes tratamientos.....	84

## RESUMEN

La producción de chiles secos en México es de gran importancia, debido a su amplia variedad que ofrece. Es un producto de alto valor agregado, debido a la alta demanda del mercado interno, y a la creciente demanda del mercado internacional. La exportación de chiles secos en México está limitada por los requerimientos de inocuidad y seguridad, siendo uno de los principales problemas, la contaminación por hongos.

La calidad microbiológica de los chiles secos es un inconveniente, ya que los microorganismos causan enfermedades poscosecha, lesiones de color o áreas decoloradas. Debido a esto es importante desarrollar tratamientos o técnicas que resuelvan estas problemáticas para obtener productos de calidad y lograr competir en el mercado internacional.

El objetivo de este proyecto fue reducir la carga fúngica en chiles secos, se trabajó en dos variedades mulato y pasilla; aplicando tres tratamientos, el primero un recubrimiento de quitosán, al 1%; el segundo, un tratamiento térmico que se realizó en un túnel de vapor de inyección directa, variando los tiempo de permanencia en el equipo a 3,5 y 7 minutos; el tercero, fue una mezcla de los primeros dos tratamientos mencionados. Después de aplicar el tratamiento se evaluó la reducción de la carga fúngica total con kits de análisis microbiológicos de la marca 3M, son placas Petrifilm para el recuento de carga fúngica, en las cuales se pueden identificar y cuantificar la presencia, levaduras y mohos. Se tomó como referencia la norma-NMX-FF-107/1-SCFI-2006 para productos alimenticios. Se logró eliminar la presencia de hongos en la mayoría de los tratamientos empleados. Finalmente se realizó un análisis de costos de ambos tratamientos en las dos variedades de chiles a nivel industrial.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad México es uno de los principales productores, centros de origen y dispersión del género *Capsicum* (chile) y es el centro de origen de la especie *annuum* que ha generado una gran diversidad de tipos de chile cuya forma, tamaño, color y sabor son variados y por tanto tienen diferentes usos (Chávez, 2007). Los chiles enteros en forma deshidratada es un mercado que está en constante crecimiento y demanda, por lo que se han desarrollado diversos métodos para garantizar la calidad de los mismos y mejoras para la producción y almacenamiento de éstos

Algunos alimentos como el chile seco, tienen un valor agregado, ya que proporciona vitaminas, minerales y pigmentos importantes como los carotenoides, características que deben aprovecharse. El problema de contaminación de chiles secos es tan importante que afecta a comerciantes y productores ya que se enfrentan a grandes problemas para exportar sus productos debido a la carga microbiana que presentan (Acosta & Gómez, 2004). Uno de los problemas del chile mulato y pasilla se debe a las prácticas de secado (aire libre) y a las condiciones de almacenamiento que no son las adecuadas para mantener un alimento libre de microorganismos. Hasta un 30 % de la producción nacional se ve afectada lo que representa pérdidas millonarias, siendo el crecimiento de hongos uno de los factores que incide en esas pérdidas (Bravo et al, 2006).

El uso del quitosán como un recubrimiento, es una alternativa, ya que es un polímero natural derivado de la quitina. Las cubiertas del quitosán son claras y flexibles, poseen propiedades antimicrobianas y pueden mejorar la apariencia de un alimento, además de conferir protección al alimento de un deterioro fúngico (Larez, 2003); la naturaleza policatiónica del quitosán interfiere con los residuos cargados negativamente de las macromoléculas en la superficie celular de microorganismos (Gholamipour, 2010).

En la industria se utilizan diferentes tratamientos para limpiar y alargar la vida de anaquel. El uso de túnel de vapor es una alternativa para lograr una limpieza del producto, una mejor presentación y la reducción de la carga microbiana.

Se debe aprovechar que en México se siembra el mayor número de especies y variedades y que el chile producido aquí es de alta calidad, que se puede producir todo el año y que al estudiar nuevas tecnologías de conservación, se podría obtener un producto que garantice su calidad microbiológica y cumplir con las normas nacionales e internacionales en materia, de sanidad. De esta manera se logrará ser más competitivos a nivel mundial y poder exportar los chiles secos enteros o en productos elaborados, como ejemplo el mole.

# CAPÍTULO I

## 1. Antecedentes

### 1.1. Chile fresco

La planta de chile (*Capsicum*) es una solanácea que alcanza el metro de altura. Sus hojas son de un verde brillante y de forma lanceolada. Es originaria de Centroamérica y Sudamérica. El fruto de la planta depende de la variedad que estemos cultivando, existen de diversos, colores, tamaños y sabores (El rincón del tomate, 2009).

#### 1.1.1. Historia de género *Capsicum*

El género *capsicum* es originario de los trópicos americanos; agrupa un conjunto de aproximadamente 20 a 30 especies, de acuerdo con los criterios de diferentes investigadores. Entre estos materiales, cinco corresponden a taxa domesticados: *Capsicum annuum* L., *Capsicum frutescens* L.; *Capsicum chinense* Jacq., *Capsicum pubescens* y *Capsicum baccatum* L .*var pendulum*.

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 significan 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 *et al.*, 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, 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 “chil”, palabra del idioma Nahuatl de los Aztecas, a partir de la cual se derivaron los vocablos chile, chili y chilli (Bosland, 1996).

### 1.1.2. Usos de *Capsicum*

Las especies del género *Capsicum* son ampliamente cultivados en todo el mundo, con especies de importancia económica como condimentos, hortalizas y plantas medicinales entre éstos, aquellos con el atributo de pungencia, característica debida a la acumulación del alcaloide capsaicina (8-metil-N-vanillil-6-noneno- mida) y análogos de éste, comenzaron a ser utilizados como especias ('ajíes', 'chiles'), mientras las formas dulces se han usado como hortalizas ('pimentones', 'pimientos'). Se indica que el pimentón dulce *Capsicum annuum* contiene una serie de antioxidantes como fenoles, ácido ascórbico y carotenoides, cuyo contenido varía con el grado de maduración de los frutos (Medina et al., 2006).

### 1.1.3. Clasificación de *Capsicum*

El chile pertenece al género *Capsicum*, siendo el *Capsicum annuum* la especie que fue domesticada por los mesoamericanos y permitió la expansión del chile en sus diversas variedades. Los botánicos especializados en el estudio del chile calculan que existen entre 2000 y 3000 tipos de chile en el mundo. Los especialistas en la evolución del chile han clasificado esta gran diversidad en solo 5 especies domesticadas y alrededor de 22 espontáneas o silvestres. Las 5 especies que se cultivan actualmente fueron domesticadas durante la época prehispánica de manera independiente y en diferentes zonas geográficas. Las 5 especies domésticas y cultivadas hoy día son las siguientes, de acuerdo a su taxonomía:

- ☐ El *capsicumannuum*var. *annuum*. es la especie domesticada en Mesoamérica.
- ☐ El *capsicumbaccatum*var. *pendulum*. son los chiles sudamericanos del grupo de los ajíes.
- ☐ El *capsicumchinense*. El habanero y los tipos parecidos.
- ☐ Los *capsicumfrutescens*. Los chiles de tipo Tabasco.
- ☐ El *capsicumpubescens*. Es una especie andina que incluye a los chiles manzano. (Long, 2012)

### 1.1.4. Variedades de los *Capsicum annuum*

El género *Capsicum* de la especie *annuum*, la más importante, ya que agrupa la mayor diversidad de chiles, ya sean cultivados o silvestres. Entre los más populares destacan el guajillo o mirasol, el piquín, el de árbol, el serrano, el jalapeño, el poblano, y el chilaca, de los cuales los tres últimos, una vez secados, se denominan chipotle, ancho o mulato y pasilla, respectivamente.

- Piquín: Es el más pequeño y el más picante.

- Jalapeño. Cuando está maduro se somete a un proceso de secado y ahumado con el que se obtiene el chile que conocemos como chipotle.
- Serrano: También se le nombra simplemente chile verde, ya que se consume exclusivamente fresco en salsas y en encurtidos.
- Mirasol: Se le conoce como guajillo. Al igual que otras variedades que se consumen secas, éste es deshidratado en hornos especiales.
- Pasilla: Se produce en los estados de Jalisco, Guanajuato, Aguascalientes y Zacatecas. Es de color café oscuro, de 15 a 30 cm. de largo. Cuando se consume fresco se conoce como chilaca.
- Ancho: Se domesticó en el Valle de Puebla, después se desplazó al Bajío y a Zacatecas. Se utiliza en la preparación de diferentes moles y de colorantes; fresco se conoce como poblano.
- Mulato: Es similar al chile ancho, la única diferencia es que al madurar adquiere un color café. Junto con el pasilla, el ancho y el mirasol, se usa para elaborar colorantes naturales (Ramírez, 2012)

#### **1.1.5. Morfología y taxonomía del género *Capsicum Annuum***

Nombre científico: *Capsicum annuum* L.

El género *Capsicum annuum* se clasifica de acuerdo al reino, división, clase, orden y familia como se presenta a continuación:

- |                                   |                               |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1. REINO: <i>Plantae</i>          | 5. FAMILIA: <i>Solanaceae</i> |
| 2. DIVISIÓN: <i>Magnoliophyta</i> | 6. GÉNERO: <i>Capsicum</i>    |
| 3. CLASE: <i>Magnoliopsida</i>    | 7. ESPECIE: <i>annuum</i>     |
| 4. ORDEN: <i>Solanales</i>        |                               |

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).

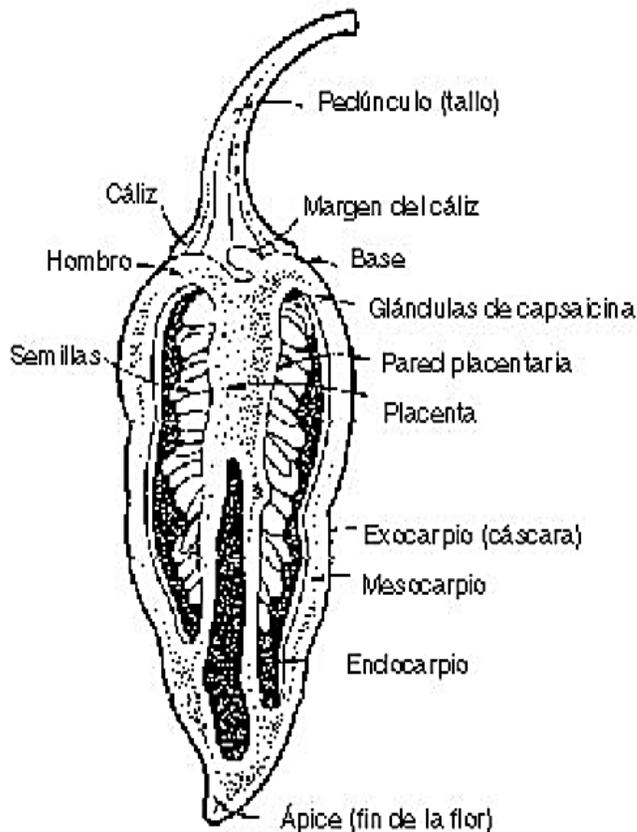
Sistema radicular: pivotante y profundo (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 centímetros y 1 metro.

Tallo principal: de 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 (Flores, 2009).

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: Las flores 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 (CONAPROH, 2011).



El pimiento *Capsicum* se observa en la figura 1, este se comprende de 4 partes principales que son: el pericarpio, placenta, semillas y tallo. 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 y 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 tallos.

Figura 1.-Anatomía del pimiento o chile

Fuente:(UDLAP, 2005)

### 1.1.6. Composición química de *Capsicum annuum*

El sabor picante en los chiles se debe a la capsicina y al ácido decilénico que son alcaloides que se encuentran en las placentas. Los chiles verdes contienen aproximadamente el 83% de la mezcla de estos compuestos: 0.6 % de grasas, 0.3 % de proteínas, 6 % de carbohidratos y 7 % de fibras; Mientras que los chiles secos contienen aproximadamente 10 % de la mezcla. En la tabla 1 se observa los componentes del chile en forma deshidratada.

Tabla 1.-Composición química del *Capsicum* y pimiento

Chile				
	Guajillo	Pasilla	Ancho	Piquín
Energía (kj)	979.0	1343.0	1209.00	870.0
Energía (Kcal)	234.0	321.0	289.0	208.0
Humedad (%)	15.4	12.70	13.90	9.50
Cenizas (g)	6.10	5.70	4.60	4.0
Proteína bruta (g)	12.60	14.60	11.50	12.30
Fibra bruta (g)	20.40	12.68	9.93	38.0
Cal (mg)	140.0	105.0	94.0	
P (mg)	171.0	163	196.0	
Fe (mg)		6.3		
Tiamina	0.23	0.43	0.18	0.56
Riboflavina	1.12	1.0	1.03	0.44
Niacina	5.11	7.84	5.25	15.20
Ácido ascórbico	65.6	54.5	75.7	71.1

Fuente: Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. 1999CD Composición Química de los alimentos. SBN-968-6499 253.1 1<sup>ra</sup> Edición.

### 1.2. Chile seco

En México existe una gran diversidad de chiles cultivados y silvestres; su distribución comprende localidades desde cerca del nivel del mar hasta los 2,500 msnm, abarcando diferentes regiones del país, razón por la cual se encuentra chile en el mercado durante todo el año; asimismo, su consumo está generalizado, tanto en fresco como industrializado. La producción de chile seco corresponde aproximadamente a 40% del total de los chiles que se cultivan, predominando los siguientes: Ancho, Mulato, Mirasol, Pasilla, Puya, de Árbol y otros de menor importancia. Los principales estados donde se produce esta hortaliza para secado son: Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Durango, Guanajuato y Aguascalientes (González, 2007).

México es el país del mundo con la mayor variedad genética de *Capsicum*, pero curiosamente no es el productor más importante. La baja producción de México, indica que se debe principalmente

a que casi todas las regiones productoras de Chile obtienen muy bajos rendimientos comparados con los de Estados Unidos, que es el segundo país productor en América después de México. Los escasos rendimientos de Chile en México se deben al bajo nivel de tecnología y al uso de semillas criollas, que generalmente son susceptibles a plagas y enfermedades. Los costos de producción así como el precio del producto son muy altos y hacen que éste no pueda competir con el de Estados Unidos y el de otros países que tienen menores precios. En China, por ejemplo, los precios del Chile son la mitad de los de México. Esto ha propiciado que los comercializadores mexicanos prefieran ahora importar Chile (Votano, 2004).

Existen tres factores donde radica la verdadera importancia del cultivo: 1.) Por su participación elevada en el valor de la producción agrícola regional 2.) Porque es una opción de las que generan mayores ingresos para los productores 3.) Y porque es una fuente generadora de empleos.

### **1.2.1. Variedades de chiles secos**

Chile seco (deshidratado) es el fruto que ha sido sometido a un proceso de pérdida de agua por medios naturales o artificiales (NMX-FF-107/1-SCFI-2006).

#### **1.2.1.1. Chile pasilla**

Es un fruto largo de cuerpo ondulado que termina en un ápice puntiagudo o chato; presenta de dos a tres lóculos. Su producción se destina casi exclusivamente para deshidratado con una pequeña cantidad que se consume en fresco (NMX-FF-107/1-SCFI-2006). Presenta forma alargada, mide de 15 a 20 cm de largo y de 2 a 3 cm de ancho, seco es de color café negrusco (Fig. 2), con una superficie brillante, arrugada, de sabor ligeramente picante y aromático (HappyFlower, 2012)



**Figura 2.-Chile pasilla**  
**Fuente:NMX-FF-107/1-SCFI-2006**

### 1.2.1.2. Chile mulato

Los frutos son de forma cónica, con tamaños que varían de longitud y ancho como observa en la figura 3 se. La base de inserción del pedúnculo puede ser plana o con cajete; el cuerpo es aplanado, generalmente; el ápice es puntiagudo o chato y presenta de dos a cuatro lóculos. Su producción como chile seco se logra en su mayor parte al deshidratar artificialmente los frutos, aunque una parte importante de este tipo de chiles es comercializado en fresco, color café oscuro en fruto sazón y café negruzco una vez deshidratado (NMX-FF-107/1-SCFI-2006).

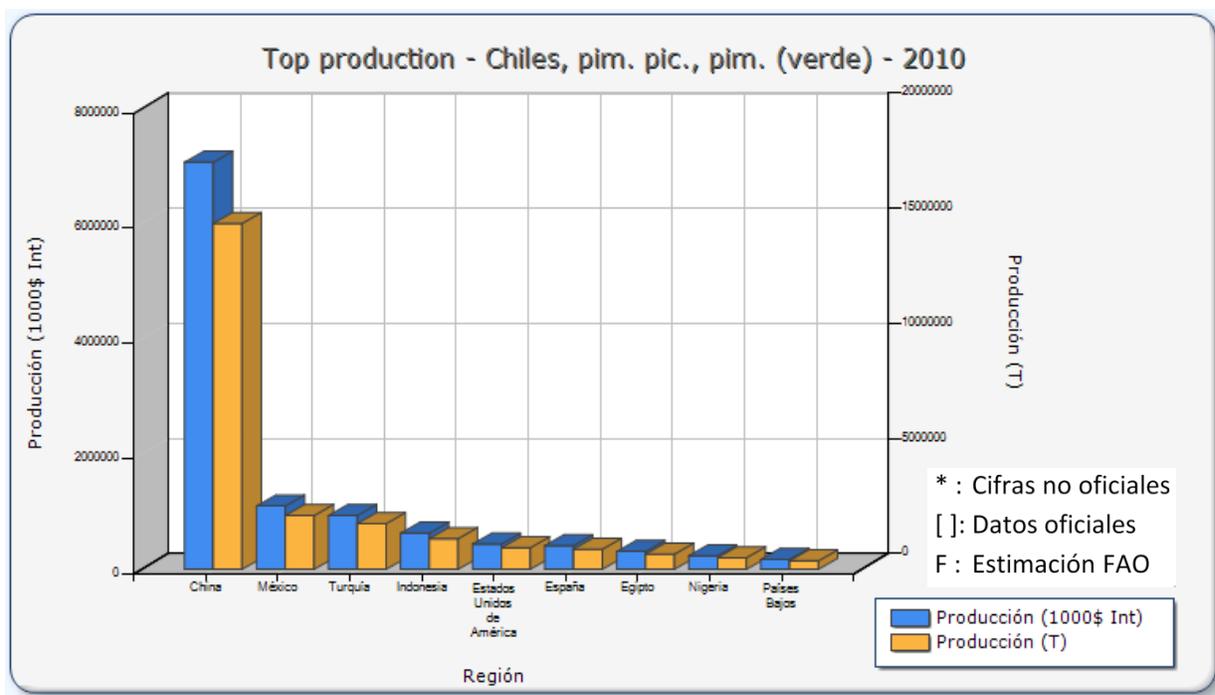


Figura 3.-Chile mulato  
Fuente:NMX-FF-107/1-SCFI-2006

### 1.2.2. Producción mundial de chiles secos (mulato y pasilla)

Datos del 2001 reportan que en el mundo se cultivan alrededor de 1,250,000 ha de chile, principalmente de la especie *C. annuum L.*, con una producción aproximada de 16,600,000 ton (INIFAP, 2001). Los principales países productores en el mundo, son: China, España, Turquía, Nigeria y la India; México ocupa el 4° lugar en cuanto a la superficie cultivada de chile y el sexto en lo que respecta a la producción; en este País, el chile es el segundo cultivo hortícola más importante, después del tomate; el consumo per cápita de los mexicanos con relación a esta hortaliza es de 0.56 kg, por lo que éste se ubica como uno de los alimentos principales de la población; éste es ampliamente consumido como: platillo principal, condimento, encurtido y ensaladas (Bravo et al., 2006).

Gráfico 1.-Producción mundial de chile verde



Fuente: FAO (2012)

Tabla 2.-Producción mundial de chile seco

Posición	Región	Producción (1000\$ Int)	Símbolo	Producción (T)	Símbolo
1	India	1340146	*	1223400	
2	China	290288	*	265000	F
3	Pakistán	188085	*	171700	
4	Tailandia	174044	*	158883	
5	Etiopía	154674	*	141200	F
6	Perú	148749	*	135791	
7	Myanmar	122030	*	111400	F
8	Bangladesh	119785	*	109350	
9	VietNam	100231	*	91500	F
10	Ghana	98588	*	90000	F
11	Nigeria	54771	*	50000	F
12	Rumania	51704	*	47200	F
13	Egipto	49951	*	45600	F
14	México	42502	*	38800	F
15	Congo	41188	*	37600	F
16	Benin	31329	*	28600	F
17	Hungría	29138	*	26600	F
18	Bosnia y Herzegovina	28043	*	25600	F
19	Camerún	27385	*	25000	F
20	Côte d'Ivoire	24209	*	22100	F

Fuente: FAO (2012)

La producción mundial de chiles ha tenido un crecimiento espectacular en los últimos 15 años. Este aumento en la producción de chiles, principalmente los picosos, se debe a la creciente demanda de este producto en todas sus presentaciones (fresco, seco y procesado), tanto para consumo directo como para usos industriales. Según los datos más recientes de FAOSTAT (2010) México es el segundo principal productor de chile fresco, como se muestra en el gráfico 1.

La producción total es de 29,676,468 toneladas entre frescos y secos; la producción de secos constituye cerca del 8 % del total.

Actualmente se tienen datos de que la producción mundial de chiles secos es de 2,348 millones de toneladas, en la tabla número 2 se observa que la India tiene el primer lugar con el 32%, China el 11%. En este rubro, México ocupa el 14° lugar en producción, con 38,800 toneladas, en una superficie de 37 mil hectáreas.

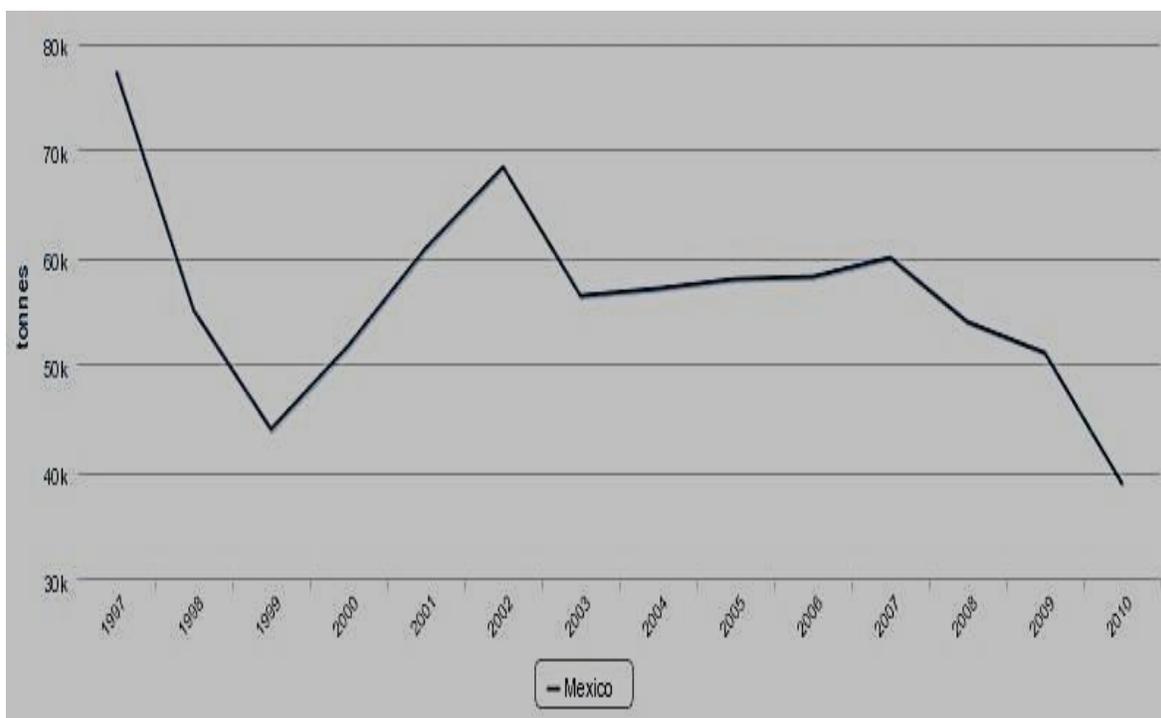
### **1.2.3. Producción mexicana**

Los principales importadores de chiles frescos son Estados Unidos, Malasia, México, España y Tailandia. Los principales exportadores de chiles secos son: India, China, Perú, Malasia, España, Myanmar; México, que destaca por tener la mayor variabilidad genética de chile, en México; los principales estados productores son Chihuahua, Sinaloa, Guanajuato, Zacatecas, y Sonora; que en conjunto cultivan el 50% de una superficie total nacional estimada de 120 mil hectáreas. Por el alto consumo per cápita (consumo por habitante), el 80% del total producido se destina al mercado interno y del 40% del total nacional se destina a la producción de chiles secos como el pasilla, guajillo, puya, ancho y mulato (Fazla, 2012).

### **1.2.4. Producción nacional de chiles secos**

En México no es constante la producción de chiles secos en el gráfico 3 observamos que a partir del 2007 ha disminuido la producción nacional; debido a que son cinco las entidades que concentran más del 50% de la superficie de chile plantada, así como 60% de la producción, éstas son: Sinaloa, Chihuahua, Guanajuato, Sonora y Zacatecas, estas entidades se han visto afectadas por factores naturales y otros. La producción de chile seco en México, corresponde aproximadamente al 40% del total de los chiles que se cultivan, predominando los siguientes: Ancho, Mulato, Mirasol, Pasilla, Puya, de Árbol y otros de menor importancia.

Grafico 2.- Producción nacional en toneladas de chiles secos



Fuente: FAO (2012)

### 1.2.5. Situación actual del chile seco en México

La producción de chiles secos en México ha decaído en los últimos diez años, debido a problemas ambientales e implementación de tecnologías para el proceso de obtención del producto y la comercialización del mismo, que lo puedan hacer más rentable y por lo tanto más atractivo a los productores.

Aunque los productores a veces se reúsan a la implementación de nuevas tecnologías, la mayoría de ellos no aplican nuevas técnicas de producción y de esta forma no cumplen los objetivos para los cuales estas fueron generados, esto ocasiona una brecha enorme entre los rendimientos registrados experimentalmente y los obtenidos por los agricultores, por lo cual los bajos rendimientos que se obtienen en esta hortaliza se deben principalmente a un lento cambio tecnológico en el proceso productivo (Galindo, 2004).

La mayoría de productores que cultivaban hace diez años lo siguen realizando ya que el chile seco es el cultivo más redituable, tiene buen precio y es de amplio conocimiento y tradición entre los productores, que a pesar de que el cultivo de chile requiere de alta inversión, es costeable por su precio al momento de la venta, y que es más redituable, que otros cultivos. La disminución en la producción se debe principalmente al rendimiento de producción por hectárea ya que comparada

con países como China que la ha aumentado hasta un 400% en México se mantiene con poca variable.

#### **1.2.6. Normatividad de chiles secos**

La importancia del cultivo de chile en México es evidente tanto por la amplia distribución como por su amplio consumo en el país. Esta hortaliza se siembra comercialmente desde el nivel del mar, en las regiones tropicales de la costa, hasta los 2500 metros de altura en las regiones templadas de la Mesa Central. Es además, de un amplio rango ambiental que permite su producción durante todo el año, con lo que se satisface la demanda del producto en las principales ciudades. (NMX-FF-107-1-SCFI-2006).

A nivel nacional la norma NMX-FF-107/1-SCFI-2006 establece las condiciones y características de calidad que deben cumplir los chiles secos enteros (deshidratados) *Capsicum annuum* de los tipos guajillo (mirasol), ancho, mulato, de árbol, puya y pasilla destinados para el consumo humano, que se comercializan en el territorio nacional.

Aunque a nivel internacional no se establecen límites de contenido de *capsicinoides* (pungencia o picor), si se admite que hay diferencias en su contenido entre los diversos tipos de chile.

##### **1.2.6.1. Normatividad Internacional**

El CODEX *alimentarius* en el apartado HS 0444 – Peppers Chili, dried establece los límites máximos de residuos en chiles frescos y deshidratados, (CODEX, 2012)

La FAO junto con el CODEX *alimentarius* establecen los métodos de análisis y límites permisibles de sustancias el cual puede consultarse (FAO, 2012).

#### **1.2.7. Exportación**

Según el Sistema Nacional de Información de Mercados, los precios hasta junio de 2012 del chile seco en los principales mercados de abastos fluctúan entre los \$40 a \$80 pesos por kilogramo, de ahí su importancia económica y la exigencia de un buen manejo agronómico para obtener frutos de excelente calidad debido al alto nivel de competencia de comercialización.

La demanda internacional de chile crece 13 por ciento anual y los productores ya comienzan a desarrollar estrategias para ofrecer mejores productos, promover nuevos usos y presentar variedades cada vez más comerciales. Este crecimiento está abriendo oportunidades a los empresarios mexicanos que van desde la producción orgánica hasta la industrial, pasando por la

exportación a mercados emergentes y destinos como América Latina y Estados Unidos (Esquivel, 2007)

La exportación de chiles deshidratados está limitada por la alta exigencia y severas sanciones con relación a la inocuidad y seguridad. México no ha sido capaz de obtener mayores rendimientos por una serie de problemáticas que necesitan ser resueltas por instituciones gubernamentales, universidades, centros de investigación públicos y privados, técnicos y productores para poder competir en este mercado internacional.

El 80 por ciento del millón 853 mil 610 toneladas que produce nuestro país se destina al consumo nacional mientras el 20 por ciento es exportado. Sin embargo, hay que hacer notar que México también es un importador de chile, principalmente seco, esto en 2005, también se compraron al exterior cerca de 41 mil 500 toneladas, de las cuales el 85.55 por ciento correspondió a producto seco (Fazla, 2012).

#### **1.2.8. Tecnologías en la post-cosecha**

El mercado existe y la demanda aumenta, pero también crece la competencia. Invertir en tecnología es una opción para poder cumplir con las altas exigencias del mercado internacional.

El manejo de post-cosecha es un nicho de oportunidad importante. Los productos mexicanos tienen alta calidad, son sabrosos y aromáticos, pero no llegan al mercado clasificado porque se dañan o alteraciones, principalmente en el empaque. La tecnología sería una gran aliada para superar este obstáculo.

La tecnología puede garantizar un aumento en el rendimiento de las cosechas. En México las diferencias de rendimiento que presenta con respecto a otros países llegan a ser abismales. Holanda y Reino Unido, por ejemplo, son dos de los países que registran mayor rendimiento en la producción de chile 262 y 247 toneladas por hectárea, respectivamente; y también son los que emplean tecnologías más avanzadas. El promedio mundial es de alrededor de 20 toneladas por hectárea y, sin embargo, México reporta un rendimiento de 13.17 toneladas por hectárea. (Esquivel, 2007).

#### **1.2.9. Producción de chiles secos (mulato-pasilla)**

La producción de chile seco (guajillo, ancho, mulato, de árbol, puya y pasilla) se realiza en forma tradicional e industrial; la primera, es la más común (aporta 50% de la producción) y presenta las siguientes características: se desarrolla en pequeñas superficies (menores de 10 ha); con poca

aplicación de nuevas innovaciones; y predomina la utilización de la fuerza de trabajo familiar; en la segunda: destacan los grandes y medianos productores, que se asocian con los primeros a través de la aparcería; se desarrolla en extensiones grandes de terreno; y se utiliza tecnología moderna, lo cual permite obtener mejores rendimientos (Bravo et al., 2006).

- **Selección, producción y conservación de semilla de cultivares de chile seco:** La semilla de especies cultivadas es la base de la producción agrícola, considerándose el insumo más importante en la generación de alimentos. Además, la semilla mejorada es el vínculo entre los trabajos del Fito mejorador y los programas de producción agropecuaria. Por otra parte, la industria semillera es el puente que permite la disponibilidad de la semilla a los agricultores, en el momento oportuno, cantidad y calidad adecuada (Bustamante, 1990).

- **Producción de plántula de chile:** Un almacigo (también llamado plantero, vivero o semillero) es una parcela de superficie reducida, que se localiza en un lugar adecuado con facilidades de manejo y cuidados, donde se cultivan plantas para trasplante (Bravo et al., 2006).

- **Riego y fertirrigación:** este es un cuidado que debe tenerse después de que la planta se trasplanta al campo, para evitar y reducir el ataque de pudriciones de la raíz.

- **Riego Y Fertilización En Surcos:** El cultivo del chile responde positivamente a la aplicación de insumos como los fertilizantes.

- **Manejo contra los insectos plaga del chile y manejo de enfermedades:** reducir los daños ocasionados por las plagas a través del uso eficiente de los recursos, de manera que se contamine menos el ambiente y se mantenga el equilibrio ecológico.

- **Cosecha:** Se realiza en el punto adecuado de consumo, el cual es alcanzado cuando las semillas endurecen y la parte interna del fruto comienza a colorearse. Por no ser climatérico, el fruto debe alcanzar el color deseado en la planta. El cambio de color es el síntoma externo de la maduración y se debe a la degradación de la clorofila y síntesis de los pigmentos carotenos específicos de la especie.

- **Secado:** El secado ó deshidratación consiste en la extracción del agua contenida en los alimentos por medios físicos, hasta que el nivel del agua sea adecuada para su conservación por largos periodos, utilizando aire caliente que provenga de una fuente de energía solar, eléctrica ó por combustión de madera u otros productos derivados del petróleo.

El secado por aire caliente, orientado en túneles o cabinas donde se coloca el producto, es el más eficiente y recomendado, ya que los equipos construidos pueden controlar el proceso de secado a través de la temperatura, velocidad del aire y la disposición del alimento a secar.

El secado al sol es el medio más barato y más accesible para preservar alimentos en los países en desarrollo, pero ocurren pérdidas considerables de carotenos precursores de vitamina A. Secar al sol y proteger al alimento de la luz directa minimiza la destrucción de las provitaminas. El objetivo del secado es la conservación de la calidad del chile por varios meses (Bravo et al., 2006).

#### **1.2.9.1. Secado de chile mulato y pasilla**

Estos chiles se destinan a los siguientes procesos de deshidratación, para lo cual se cortan cuando empieza a cambiar el color verde por rojo o marrón según sea la variedad:

a) Mediante hornos secadores. Esta operación se efectúa por calor artificial en un túnel largo, de cemento, con dos entradas y dos salidas; en la parte de en medio hay otro túnel con una cámara a lo largo del cuarto y un quemador de diésel o de gas en un extremo. Los chiles se transportan dentro de los túneles en carros, con bastidores o charolas, con fondo de malla de alambre; el secado se realiza a temperaturas entre los 60 y 80 °C, con un tiempo de 30 a 40 horas para lograr la extracción del agua del chile. El paso siguiente es el enfriado, para lo cual se depositan en un piso de cemento y mediante un rociado de agua potable para evitar la pérdida excesiva de agua y lograr el buen manejo de empaque.

b) El secado por “paseras” se realiza con calor del sol. El proceso consiste en cosechar los frutos cuando éstos han madurado completamente a rojo (los mulatos y pasillas se tornan de un color marrón). Posteriormente, los frutos son trasladados a las paseras, que son camas o pequeñas terrazas, con un ligero declive para evitar encharcamiento en caso de lluvia; el declive debe estar orientado hacia la mayor exposición de los rayos del sol. Sobre las camas se extiende una capa de paja de frijol, de cereales o hierba seca, la cual permite el paso del aire y el agua de lluvia, evitando así que los frutos se pudran. Posteriormente se extiende una capa de chiles, los cuales son volteados diariamente para que el secado sea uniforme y evitar daños por quemaduras del sol. Estos frutos son de mayor calidad y tienen mejor precio.

c) Secado en pasera modificada, es similar al anterior, pero con la diferencia de que los frutos colocados en las paseras, son cubiertos con una tira de plástico o polietileno transparente y se colocan piedras o bloques en las orillas del polietileno, a un metro de distancia. Esta operación permite la circulación del aire por debajo del plástico, disminuyendo paulatina, pero más aceleradamente la humedad contenida en los frutos. Con este método, los frutos se voltean con menos frecuencia que en el secado en paseras comunes, ya que por lo general se exponen dos veces por cada cara en los 8 o 10 días que dura el proceso. Este método ahorra por lo menos la

mitad del tiempo y más de la mitad de la mano de obra, con respecto al método anterior, y evita la pudrición de frutos ocasionada por el agua de lluvia. A los frutos secados con este método se les atribuye mejor calidad de sabor y color, por lo que los compradores pagan un sobreprecio del 5 al 10%(Bravo *et al.*, 2006).

#### **1.2.10. Daños en chiles secos**

##### **1.2.10.1. Calidad microbiológica durante el almacenamiento**

La calidad los productos deshidratados depende fundamentalmente de la contaminación inicial proveniente del material fresco, del método de deshidratación y de las condiciones operativas empleadas, así como también de los tratamientos especiales efectuados en el producto antes y después del secado (Bravo *et al.*, 2006).

Entre los hongos que causan enfermedades de postcosecha en los frutos de pimiento morrón se ha mencionado a *Alternaria alternata*, *Colletotrichumnigrum*, *Phyto phthoracapsici* y *Rhizopus spp.* (Acosta-Ramos y Gómez-Jaimes, 2004).

El chile seco en el norte centro de México también es afectado por un grupo de hongos entre los que se encuentran *Alternaria spp*, *Helminthosporium spp*, *Penicillium spp*, *Rhizopus spp* y *Stemphyllium spp* (Velásquez *et al.*, 2002)

Los frutos de chile son principalmente afectados en postcosecha por el hongo *Alternaria spp* y en menor grado por *Fusarium spp*, *Verticillium spp* y *Rhizoctonia spp*, aunque el daño parece asociado con otros factores como daño por insectos o contacto del fruto con el suelo (Bravo *et al.*, 2006).

##### **1.2.10.2. Problemas de transporte**

Sí el chile seco es humedecido en exceso y sometido a temperaturas altas antes o durante el trayecto al puerto de entrada, desarrollará colonias de hongos detectables al momento del muestreo y análisis en la frontera por lo anterior, se recomienda la rápida movilización del cargamento de chile seco a la frontera o punto de comercialización más cercano (Velásquez *et al.*, 2002).

##### **1.2.10.3. Principales contaminantes de chiles secos**

La comercialización del chile seco hacia el extranjero (Estados Unidos principalmente) ha tomado auge; sin embargo, los cargamentos de este producto pueden ser rechazados en el puerto de entrada al país destino, debido a la presencia de: hongos, insectos,(antenas, patas, alas, etc.), u otros signos de su presencia en el producto como exuvias o excretas; además, por la presencia de

frutos dañados por roedores y de materiales extraños, como porciones de alambre, vidrio, papel, plástico, etc., que reducen la calidad del producto (Bravo *et al.*, 2006).

De acuerdo con la experiencia regional, las muestras de chile seco examinadas en el laboratorio que no excedan 3% de frutos con presencia evidente de hongos o insectos, u otro tipo de daño o contaminantes, indica que el cargamento será aceptado en el puerto de entrada; sin embargo, si el cargamento no es rápidamente movilizado a la frontera, dicho porcentaje puede elevarse (sobre todo si se detectó presencia de hongos), provocando su rechazo (Velásquez *et al.*, 2002).

#### **1.2.10.4. Problemas por enfermedades postcosecha por hongos**

La presencia de hongos como causa de rechazo del embarque, se origina (parcialmente) en el manejo que se proporciona al producto previamente a su embarque.

Los géneros de hongos patógenos o contaminantes más frecuentemente encontrados en las muestras de chile seco que se han analizado, son: *Alternariaspp*, *Penicillium spp*, *Rhizopus spp*, *Stemphyllium spp* y *Helminthosporium spp*. Estos hongos se han detectado asociados al interior de lesiones de color blanco amarillento, que destacan drásticamente contra el color rojo del fruto de chile seco, generalmente no más de una por fruto (Bravo *et al.*, 2006).

### **1.3. Quitosán**

#### **1.3.1. Generalidades**

El quitosán, compuesto natural obtenido por desacetilación de la quitina, es un polisacárido catiónico formado de unidades de glucosamina. Se ha demostrado que el quitosán reduce el crecimiento de un amplio rango de hongos y bacterias, además, induce mecanismos de defensa, tales como la producción de fitoalexinas y aumento en la actividad de quitinasas. Sin embargo, la funcionalidad y actividad del quitosano depende de sus características físicas como el peso molecular y el grado de acetilación. 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 (González *et al.*, 2005).

### 1.3.2. Aplicaciones de quitina y quitosán

Esta pareja de polisacáridos, ha tomado mucho auge por la ininidad de aplicaciones que ha logrado encontrárseles, y, especialmente, por su poco impacto ambiental. Las aplicaciones que se describen son solamente algunas de la amplia gama posible, mostrándose éstas debido a la utilidad que pudieran tener en el desarrollo de áreas vitales como: agricultura (protección de semillas, liberación controlada de fertilizantes, funguicidas, etc.), tratamiento de aguas (floculantes, coagulantes, agentes de desmetalización, atrapamiento de colorantes, pesticidas, etc.) medicina (producción de glucosamina, cremas cicatrizantes, terapia genética, etc.), cosméticos (adelgazantes, agente hidratante, aditivo bactericida en jabones, etc.) y biosensores (para agentes patógenos en alimentos, para especies tóxicas en aguas biomédicas, residuales, etc.)(Lárez, 2006).

### 1.3.3. Quitina y Quitosán

El quitosán es un polímero modificado, un carbohidrato natural derivado por desacetilación de la quitina [poli- $\beta$ -(1  $\rightarrow$  4)-N-acetil-D-glucosamina], un componente principal de las conchas de los crustáceos tales como cangrejos, camarones, cangrejos (Meyers *et al.* 2007). La cual, mediante una reacción de desacetilación que elimine al menos un 50 % de sus grupos acetilo, se convierte en quitosán (poli ( $\beta$ -N-acetil-glucosamina-co- $\beta$ -glucosamina)), como se observa en la figura 4. Cuando el grado de desacetilación alcanza el 100 % el polímero se conoce como quitano. Estos dos biopolímeros poseen la ventaja de ser conocidos por la naturaleza desde hace millones de años (Lárez, 2006).

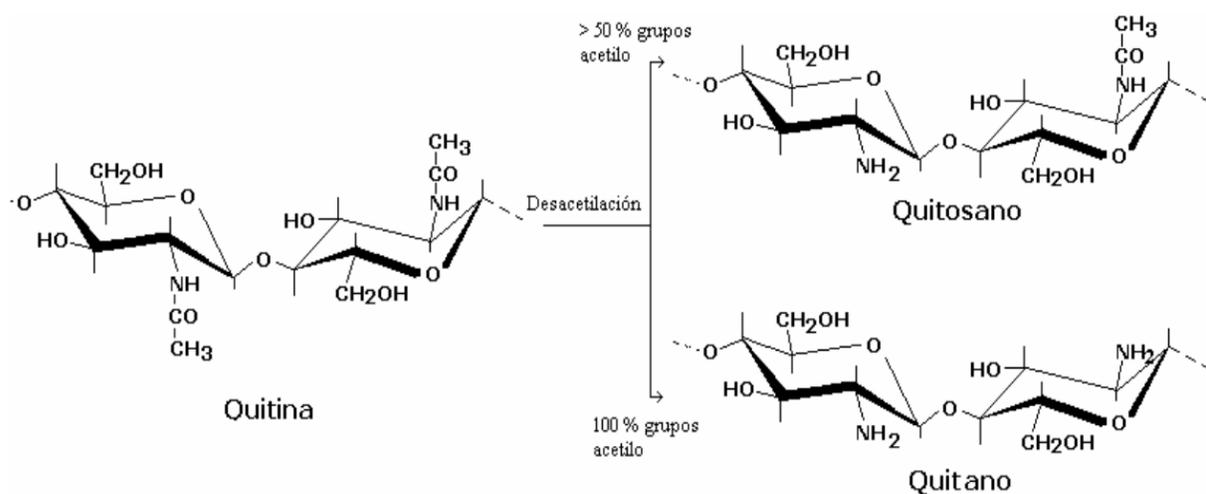


Figura 4.-Relación estructural entre la quitina, el quitosán y el quitano  
Fuente: Lárez, 2006

El quitosán es ahora ampliamente producido comercialmente a partir de cangrejo y desechos de conchas de camarón con los grados de desacetilación y pesos moleculares diferentes (por lo tanto, las viscosidades de soluciones de quitosano), y, por lo tanto, diferentes propiedades funcionales (Meyers *et al.* 2007).

El quitosano es insoluble en agua pero soluble en soluciones débiles de ácido orgánico. Derivados de quitosano en forma de acetato, ascorbato, lactato, malato y son solubles en agua, también puede ser producido en forma de oligosacáridos por hidrólisis enzimática o química (Meyers *et al.* 2007).

#### 1.3.4. Obtención de quitosán

La fuente más importante de quitosán, a nivel industrial, lo constituye la quitina, la cual, mediante un proceso de desacetilación química o enzimática, ha permitido producirlo a gran escala. Desde el punto de vista químico, los procesos para obtener la quitina y el quitosano son relativamente sencillos, aunque el tratamiento con álcali concentrado a temperaturas relativamente altas implica riesgos importantes para los operadores de las plantas de producción y hostilidad hacia el ambiente (Lárez, 2006).

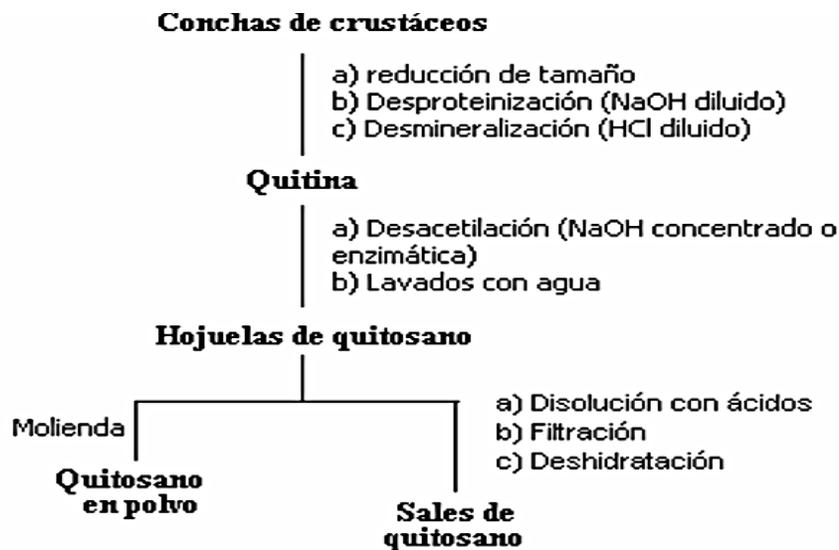


Figura 5.-Diagrama proceso de obtención de quitosán  
Fuente: (Lárez, 2006)

#### 1.3.5. Recubrimientos de quitosán.

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 (Lárez, 2008). 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 de estar aprobado por la FDA para su empleo en alimentos (Plascencia-Jatomea, 1999).

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, 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 siempre más baja en los sistemas tratados con quitosán (Lárez, 2008 ).

#### **1.3.6. Actividad antimicrobiana del quitosán.**

Ha atraído la atención como un conservante alimentario potencial de origen natural debido a su actividad antimicrobiana contra una amplia gama de alimentos transmitidas por hongos filamentosos, levaduras y bacterias (Meyers *et al.* 2007).

El mecanismo de la actividad antimicrobiana de quitosán aún no ha sido completamente aclarado, pero varias hipótesis han sido propuestas. La hipótesis más factible es un cambio en la permeabilidad de las células debido a las interacciones entre las moléculas de quitosán con carga positiva y las membranas microbianas cargados negativamente celulares. Esta interacción conduce a la filtración de constituyentes intracelulares proteínicos y otros (Young *et al.* 1982). Otros mecanismos son la interacción de los productos de hidrólisis difusa con ADN microbiano, lo que conduce a la inhibición de la síntesis de ARNm y proteína y la quelación de metales, elementos de esporas, y los nutrientes esenciales (Meyers *et al.* 2007).

Quitosán tiene generalmente una fuerte actividad antimicrobiana contra bacterias y no contra los hongos (Tsai *et al.*, 2002). Estudios recientes sobre la actividad antibacteriana de oligómeros de quitosano y quitosán han revelado que el quitosán es más eficaz en la inhibición del crecimiento de bacterias (Uchida *et al.*, 1989).

La carga positiva que se desarrolla en el quitosán en medio ácido; debido a la protonación del grupo amino presente en cada una de sus unidades glucosamina, lo hace soluble en medio acuoso,

diferenciándolo de su polímero matriz la quitina y, según muchos autores, confiriéndole también mayor actividad biosida (Lárez, 2008).

### **1.3.7. Actividad fungicida del quitosán**

El quitosán inhibe multitud de especies de hongos, exceptuando, o siendo menos efectivo con aquellas que lo poseen en sus paredes celulares (Roller y 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

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

También se ha encontrado una relación directa entre la actividad fungicida y el peso molecular del quitosán (Bautista *et al.*, 2005). De igual modo, la actividad fungicida del quitosán se ha asociado desde hace mucho a su carácter catiónico. La interacción de los grupos amino libres, cargados positivamente en medio ácido, con los residuos negativos de las macromoléculas expuestas en la pared de los hongos, cambian la permeabilidad de la membrana plasmática, con la consecuente alteración de sus principales funciones (Benhamou, 1992). Otras posibles explicaciones de la actividad fungicida del quitosán se relacionan con la inhibición de la síntesis de algunas enzimas presentes en los hongos (El-Ghaouth & Arul, 1992).

### **1.4. Tratamiento térmico**

Como proceso térmico se entiende la combinación de tiempo-temperatura aplicada para reducir la población microbiana de un alimento. El objetivo de la aplicación del tratamiento térmico es liberar al alimento de los microorganismos que puedan causar daño a la salud de los consumidores o causar deterioro en el alimento (A.A.P.P.A, 2004). Los principales métodos para procesar térmicamente los alimentos son:

1. Llenado en caliente y cerrado.
2. Calentamiento en baño de agua a ebullición.
3. Calentamiento a presión con vapor.

4. Calentamiento en agua súper calentada
5. Envasado térmico

El objetivo principal de los tratamientos térmicos es la inactivación de los microorganismos y de las enzimas nativas que alteran los alimentos durante su almacenamiento. No obstante, estos procesos tienen como contrapartida que el calor aplicado conduce a la desnaturalización parcial o total de algunas proteínas, lo que conlleva en numerosas ocasiones un aumento de la digestibilidad de estas, pero también a una disminución de calidad nutritiva, principalmente por la pérdida de vitaminas y del valor biológico (Gil, 2010).

Un tratamiento térmico directo, donde el producto contacta directamente con el medio calefactor, generalmente vapor de agua.

Un tratamiento térmico indirecto, en el que se transmite el calor a través de una superficie de separación integrada en un cambiador de calor (Bello, 2005).

#### **1.4.1.1. La aplicación de calor**

Constituye el proceso tecnológico más simple para conseguir la destrucción de aquellos microorganismos contenidos en los alimentos que pueden resultar nocivos o, al menos, inconvenientes. Es decir este tratamiento térmico suele tener como objetivo primordial la destrucción de los microorganismos potencialmente patógenos y, por tanto dañinos para la salud cuando son ingeridos (Bello, 2005).

#### **1.4.1.2. Principales tratamientos térmicos en alimentos.**

1.-Cocinado: Su objetivo es hacer más palatable el alimento. Puede hacerse con calor seco (temperaturas mayores a 100°C) como el horneado y el tostado; con calor húmedo o al vapor y mediante aceites calientes o freiduras.

2.- Escaldado: Es un tratamiento térmico entre 95° y 199°C que dura varios minutos y se aplica a sistemas tisulares como etapa previa a otras operaciones. El escaldado puede hacerse con agua, vapor, aire caliente o microondas. Para futas se usan a veces salmueras con sales de calcio que les proporcionan mayor dureza por la formación de pectatos de calcio (Orrego, 2003).

El escaldado se realiza en agua a 90-100°C, o utilizando vapor vivo a 120-130°C durante 2-10 minutos, mientras el producto se desplaza por una cinta transportadora perforada. Dependiendo del área en contacto con el agua o vapor, de la concentración de solutos en el agua y de la agitación se produce más o menos pérdida de nutriente, especialmente de vitaminas y de

minerales, debido al efecto térmico, a los arrastres por disolución de algunos de los componentes del alimento en el fluido de tratamiento y a los efectos oxidativos del proceso (Gil, 2010).

Se utiliza en la conservación de las hortalizas para fijar su color o disminuir su volumen, antes de su congelación, con el fin de destruir enzimas que puedan deteriorarlas durante su conservación. Esta manipulación no constituye un método de conservación, sino un tratamiento aplicado en la manipulación de preparación de la materia prima. El escaldado reduce el número de microorganismos contaminantes, principalmente mohos, levaduras y formas bacterianas vegetativas de la superficie de los alimentos, y contribuye, por tanto, al efecto conservador de operaciones posteriores (ITESCAM, 2013).

3.-Pasteurización: Es un tratamiento térmico que elimina parte de los microorganismos vegetativos de un alimento, permitiendo consecuentemente periodos mayores para su almacenamiento y manejo.

4.- Esterilización: Un producto estéril es aquel en donde no hay microorganismos visibles, es decir, incapaces de reproducirse aun si se les propicia las condiciones óptimas para ello. Esterilizar un material es un proceso en el que se eliminan las esporas bacterianas (Orrego, 2003).

#### **1.4.1.3. La temperatura y el crecimiento microbiano**

Probablemente la temperatura es el más importante de los factores ambientales que afectan a la viabilidad y el desarrollo microbianos. Aunque el crecimiento microbiano es posible entre alrededor de -8 y hasta +90°C, el rango de temperatura que permite el desarrollo de un determinado microorganismo rara vez supera los 35°C.

Cualquier temperatura superior a la máxima de crecimiento de un determinado microorganismo resulta fatal para el mismo, y cuanto más elevada es la temperatura en cuestión tanto más rápida es la pérdida de viabilidad. Sin embargo, la letalidad de cualquier exposición a una determinada temperatura por encima de la máxima de crecimiento depende de la termorresistencia que es una característica fundamental del microorganismo considerado.

Siempre se debe tener en cuenta a la relación temperatura-tiempo. Las temperaturas superiores a las que los microorganismos crecen producen inevitablemente su muerte o les provocan lesiones subletales. Si hay lesiones subletales, las células lesionadas pueden permanecer viables pero son incapaces de multiplicarse hasta que la lesión no se haya subsanado. Las exposiciones drásticas provocan en las poblaciones un progresivo y ordenado descenso de sus tasas de crecimiento debido a la muerte de un número de células tanto más elevado cuanto más prolongado sea el

tiempo de exposición. Los factores que afectan a la termorresistencia, además del tipo de microorganismo, son el número de células existente, la fase del crecimiento en que se encuentran, y las condiciones del medio en el que se efectúa el calentamiento de los microorganismos. Las esporas bacterianas son muy resistentes a las temperaturas extremas; Algunas pueden incluso sobrevivir tratamientos de varios minutos a 120°C y horas a 100°C. Las células vegetativas de los gérmenes esporulados, al igual que las levaduras y los hongos, no son más termorresistentes que las bacterias vegetativas. La mayoría mueren tras unos minutos a 70°-80°C y en los alimentos húmedos ninguno resiste más que una exposición momentánea a 100°C. Cuanto más elevada sea la carga microbiana inicial, tanto más tardará una población en alcanzar un determinado valor. Un buen proceso está diseñado suponiendo una determinada carga microbiana en el producto fresco. El uso de prácticas defectuosas que permitan una excesiva multiplicación microbiana antes de su aplicación puede comprometer seriamente el éxito de un tratamiento térmico.

Los microorganismos sobreviven a temperaturas inferiores a la mínima de crecimiento. Los efectos letales de la refrigeración y la congelación dependen del germen considerado, del microambiente y de las condiciones de tiempo y temperatura de almacenamiento. Algunos microorganismos permanecen viables durante largos periodos de tiempo si se mantienen congelados a temperaturas suficientemente bajas (ITESCAM, 2013).

## **1.5. Hongos**

### **1.5.1. Generalidades**

Se designa a un grupo de organismos eucariotas entre los que se encuentran los mohos, las levaduras y las setas (Ainsworth, 1976). Pertenecen al reino fungi, su método para la adquisición de alimentos es por absorción, características relevantes esporas sexuales y asexuales (Gerard *et al.*, 2007). Todos los hongos son quimioheterotrofos, es decir que necesitan compuestos orgánicos como fuente de energía y de carbono. Los hongos son aerobios o anaerobios facultativos; solo se conocen algunos hongos anaerobios (Gerard *et al.*, 2007). Los hongos se presentan bajo dos formas principales: hongos filamentosos (antiguamente llamados "mohos") y hongos levaduriformes. El cuerpo de un hongo filamentoso tiene dos porciones, una reproductiva y otra vegetativa (Ainsworth, 1976).

Los hongos microscópicos son generalmente organismos heterotróficos que se alimentan de materia orgánica en descomposición (saprobios). Se encuentran en una gran variedad de hábitat, tales como cuerpos de agua dulce, mar, suelo, hojarasca, restos vegetales, restos animales,

estiércol y organismos vivos y están distribuidos desde las zonas desérticas hasta las áreas más gélidas del planeta

Existen más de 100,000 especies de hongos existentes, solo cerca de 200 son patógenas para los seres humanos y los animales (Gerard *et al.*, 2007).

La mayoría de los hongos están constituidos por estructuras tubulares llamadas hifas, las cuales en algunas especies se mantienen simples, formando lo que se conoce como micelio, y en otras se agregan para formar estructuras con cierto grado de complejidad como lo son las llamadas setas u hongos superiores (Moreno, 1998).

### 1.5.2. Clasificación

Los hongos son agrupados de acuerdo a diversos criterios que convergen en la taxonomía o sea el arte de ordenar a los seres según sus interrelaciones fisiológicas, morfológicas o moleculares.

- ◆ *Chytridiomycota*: unicelular o micelial, holo o eucárpico, zoosporas con un flagelo posterior o raramente varios
- ◆ *Zygomycota*: micelio en general cenocítico, zigosporas por conjugación hifal
  - *Trichomyces*: parásitos de artrópodos, adheridos a la superficie
  - *Zygomycetes*: saprobios en su mayoría, si parásitos están inmersos en el tejido hospedante, mitosporas por lo común en esporangios
- ◆ *Ascomycota*: meiosporas dentro de ascas, anamorfoconidiales
  - *Ascomycetes*: micelio septado, ascas en ascomas diversos
  - *Taphrinomyces*: parásito, micelio subcuticular o subepidérmico, ascas desnudas
  - *Saccharomyces*: levaduras brotantes, ascas libres
  - *Schizosaccharomyces*: levaduras que se multiplican por fisión, ascas libres
- ◆ *Basidiomycota*: meiosporas sobre basidios o estructura equivalente, micelio con septos doliporo o levaduras
  - *Basidiomycetes*
    - *Agaricomycetidae*: basidioma visible carnoso, coriáceo o duro; hifas con fíbulas; basidio sin septos primarios sobre laminillas, poros o en gasteroma; saprobios (epígeos, hipógeos o lignícolas) o ectomicorrízicos, raramente parásitos
    - *Tremellomycetidae*: basidioma visible gelatinoso o ceroso; basidio septado; lignícolas o micoparásitos

- *Urediniomycetes*: meiosporas en soros, micelio sin fíbulas, parásitos obligados de plantas insectos
- *Ustilaginomycetes*: con fase levaduriforme, septo hifal por lo común sin doliporo

◆ *Hongos Anamórficos*: no correlacionados con meiosis

- *Hyphomycetes*: micelio con conidios, conidióforos separados o reunidos en coremios o esporodoquios
- *Coelomycetes*: micelio con conidiomas
- *Agonomycetes*: micelio que solo presenta clamidosporas, bulbillos o esclerocios

(Carrillo, 2003).

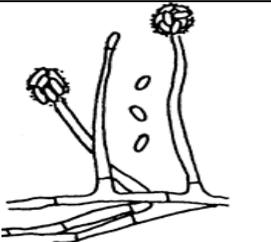
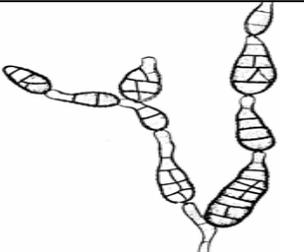
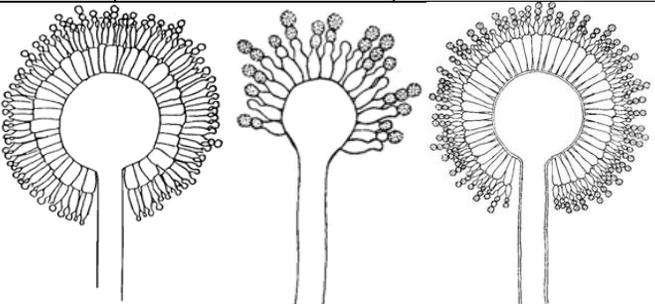
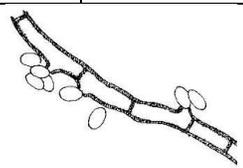
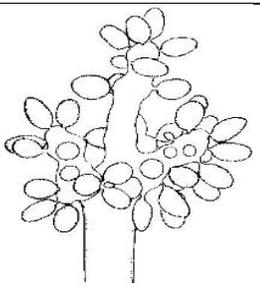
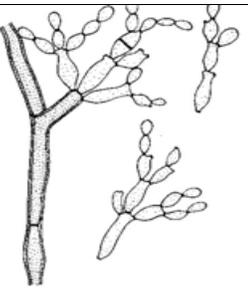
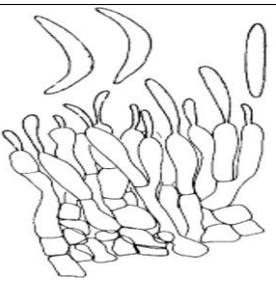
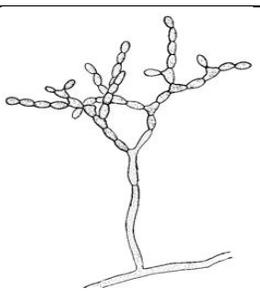
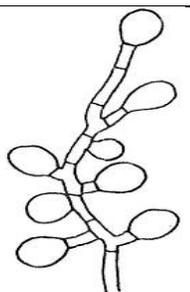
### 1.5.3. Mohos

Si un hongo es filamentoso se llama moho y cuando es una célula aislada se dice levadura. Los filamentos que constituyen el micelio reciben el nombre de hifas. Las hifas pueden estar separadas en secciones generalmente multinucleadas por medio de septos perforados, o bien carecer de éstos. La pared celular del micelio de los mohos semeja un extenso sistema tubular por el que avanza el citoplasma para su dispersión y búsqueda de nutrientes. Los mohos se reproducen asexualmente en la mayoría de los casos y las estructuras sexuales sólo aparecen cuando las circunstancias son favorables o se encuentran micelios de distinta polaridad (Carrillo & Audisio, 2007).

Los hongos anamórficos generan esporas asexuales por mitosis, que tienen diversa forma y son mono o pluricelulares. La morfología de las estructuras que producen las esporas es muy variable. El color de la mayoría de los mohos se debe a sus esporas asexuales, las que suelen desarrollarse en el extremo de unas estructuras especializadas que se extienden en el aire a partir del micelio, conocidas como esporóforos. Los mohos suelen reproducirse también a través de las esporas sexuales (teleomórficos). Los oomicetos producen oosporas y los zigomicetos forman zigosporas de paredes gruesas y oscuras. Ambas son esporas de reposo (Carrillo & Audisio, 2007).

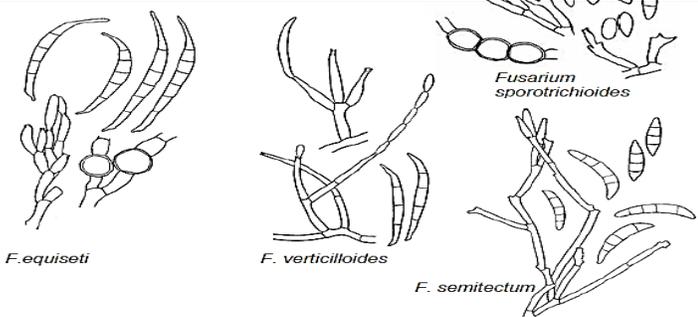
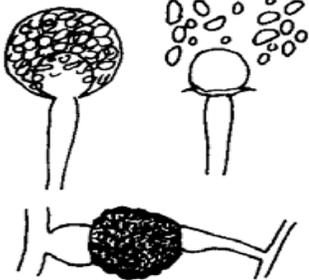
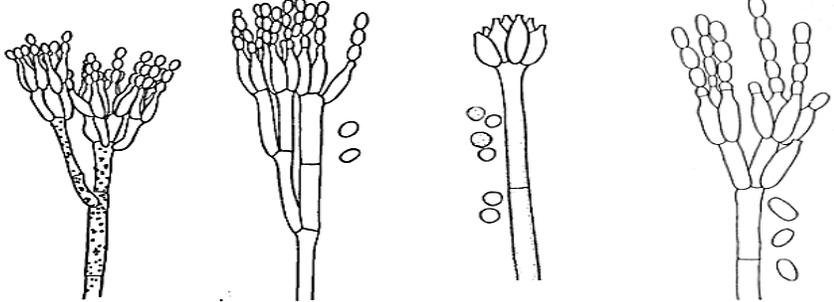
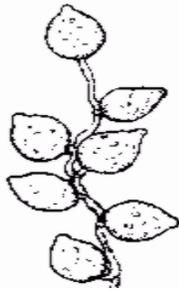
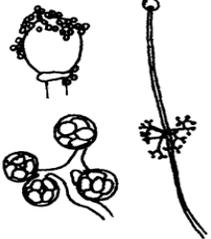
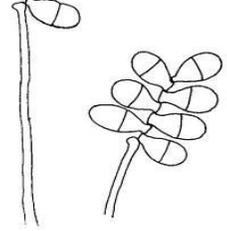
Los hongos filamentosos pueden reproducirse de forma asexual por fragmentación de sus hifas. Además, tanto la reproducción sexual como la reproducción asexual de los hongos se producen en la formación de esporas. De hecho, los hongos suelen identificarse por el tipo de espora (Moreno, 1998).

Tabla 2.-Algunos géneros de mohos

<p><i>Acremonium</i>. Forma conidios mucosos, reunidos en el ápice del conidióforo. Micelio hialino.</p>		<p><i>Alternaria</i>. Tiene color oscuro a negro, conidios multiseptados</p>	
<p><i>Aspergillus</i>. Forma cadenas de conidios sobre una dilatación del conidióforo, con diversos colores, algunas especies xerofílicas presentan cleistotecios.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>A. ochraceus</i> <i>A. parasiticus</i> <i>A. niger</i></p>		
<p><i>Aureobasidium</i>. Esporas sésiles sobre cualquier parte del micelio hialino u oscuro.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Aureo basidium pullulans</i></p>	<p><i>Botrytis</i>. Micelio gris, conidióforos largos, ramificados, conidios unicelulares en racimos.</p>	
<p><i>Cladosporium</i>. Micelio oscuro a negro, forma cadenas ramificadas de conidios.</p>		<p><i>Colletotrichum</i>. Conidióforos reunidos en acérvulas, con cerdas oscuras, conidios oblongos, rectos o falciformes.</p>	
<p><i>Chrysonilia</i>. Micelio blanco, cadenas ramificadas de esporas unicelulares, color anaranjado.</p>		<p><i>Chrysosporium</i>. Micelio blanco, forma aleurias sobre conidióforos simples, es xerófilo.</p>	

Fuente: (Carrillo & Audisio, 2007)

Tabla 3.-Algunos géneros de mohos

<p><i>Fusarium</i>. Conidióforos simples o ramificados, aislados o reunidos en esporodoquios; conidios de dos tipos, unos grandes, tabicados y curvados, otros pequeños, generalmente unicelulares; algunas especies forman clamidosporas.</p>	 <p><i>F. equiseti</i>      <i>F. verticilloides</i>      <i>F. semitectum</i></p>		
<p><i>Geotrichum</i>. Micelio blanco, las hifas se segmentan en artroconidios.</p>		<p><i>Mucor</i>. Micelio sin septos, esporas en esporangios, algunas especies forman zigosporas.</p>	
<p><i>Penicillium</i>. Los conidióforos poseen verticilos de ramificaciones. Las esporas tienen siempre algún tono de verde.</p>	 <p><i>P. commune</i>      <i>P. frequentans</i>      <i>P. italicum</i>      <i>P. digitatum</i></p>		
<p><i>Phytophthora</i>. Tiene Conidiosporangioslirio niformes o elipsoidales sobre esporangióforos cortos o largos. Produce clamidosporas esféricas o subesféricas.</p>		<p><i>Rhizopus</i>. Forma esporangios con esporas irregulares y oscuras. Tiene rizoides al pie del esporóforo</p>	
<p><i>Thamnidium</i>. Tiene esporangios y esporangiolos, crece a bajas temperaturas.</p>			
<p><i>Trichothecium</i>. Conidios sobre un esporóforo que crece al formar cada uno de ellos.</p>			

Fuente: (Carrillo & Audisio, 2007)

#### 1.5.4. Levaduras

Las levaduras son hongos que forman sobre los medios de cultivo colonias pastosas, constituidas en su mayor parte por células aisladas que suelen ser esféricas, ovoideas, elipsoides o alargadas. Unas pocas presentan hifas. Las dimensiones pueden oscilar de 1 a 9  $\mu\text{m}$  de ancho y 2 a más de 20  $\mu\text{m}$  de longitud según la especie, nutrición, edad y otros factores (Carrillo & Audisio, 2007).

Las levaduras son hongos unicelulares no filamentosos con una forma esférica u oval típica. Como los hongos filamentosos, las levaduras están ampliamente distribuidas en la naturaleza; con frecuencia se encuentran como una cubierta pulverulenta blanca en las frutas y en las hojas. Las levaduras en brotación, como *Saccharomyces*, se dividen de manera irregular.

En la brotación la célula parental forma una protuberancia (brote) en una superficie externa. Cuando el brote se alarga el núcleo de la célula parental se divide y un núcleo migra al interior del brote. El material de pared celular se deposita entre el brote y la célula parental y por último el brote se separa.

Una célula de levadura puede formar hasta 24 células hijas. Algunas levaduras producen brotes que no pueden separarse y forman una cadena corta de células denominadas pseudohifas.

Las levaduras pueden crecer como anaerobios facultativos. Pueden utilizar el oxígeno o un compuesto orgánico como aceptor final de electrones; este es un atributo valioso porque permite que estos hongos sobrevivan en diversos ambientes. Si tienen acceso al oxígeno las levaduras llevan a cabo la respiración aeróbica para metabolizar los hidratos de carbono a dióxido de carbono y agua; en ausencia de oxígeno fermentan los hidratos de carbono y producen etanol y dióxido de carbono.

Hongos dimorfos. Algunos hongos, en particular las especies patógenas, muestran dimorfismo, es decir dos formas de crecimiento. Estos hongos pueden desarrollarse como un hongo filamentosos o como una levadura. Las formas similares a los hongos filamentosos producen hifas vegetativas y aéreas; las formas similares a las levaduras se producen por brotación (Moreno, 1998).

Las levaduras pertenecen a dos clases de hongos: ascomicetos o basidiomicetos, aunque muchas de ellas se presentan comúnmente en la forma imperfecta. Las levaduras ascomicéticas forman ascas libres, con 1 a 8 ascosporas, y en las especies hifales las ascas están desnudas. Las ascosporas de las levaduras son algo más resistentes al calor y la desecación que las células vegetativas, si bien tienen mucha menor resistencia térmica que las esporas bacterianas, por lo que mantienen la viabilidad de la especie durante los cambios adversos del medio ambiente (Carrillo & Audisio, 2007).

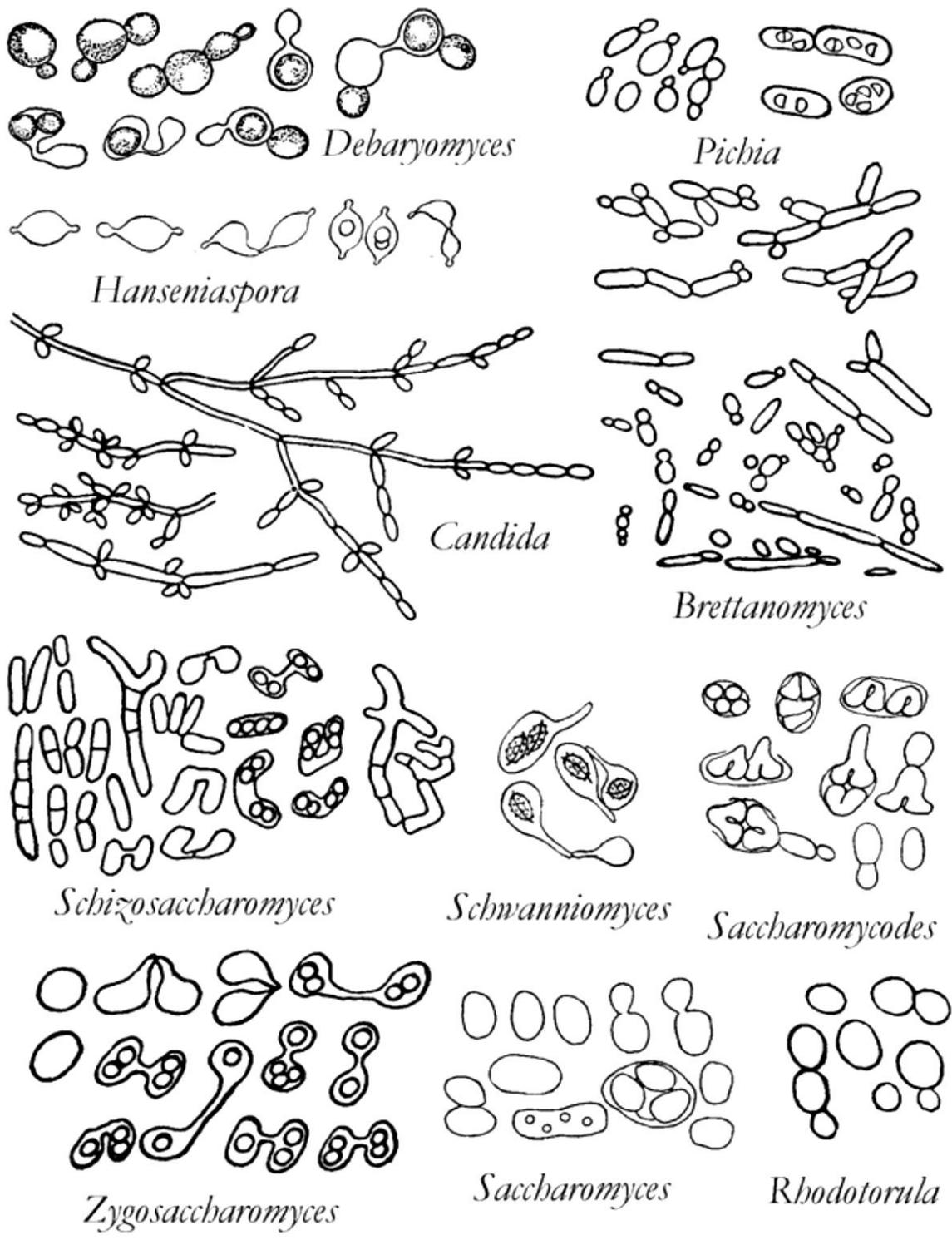


Figura 6.-Algunos géneros de levaduras.  
Fuente: Carrillo & Audisio, 2007

### **1.5.5. Ambiente**

Las levaduras se encuentran con frecuencia en las hojas y las flores, aunque en número muy pequeño, siendo los insectos un importante vector de diseminación de las mismas. Están sobre la epidermis de frutas y pueden penetrar a los tejidos subyacentes como resultado de un daño mecánico. El suelo es un importante reservorio, desde el cual pueden llegar a los alimentos, pero también suelen hallarse en el agua de lagos y ríos. Su presencia depende de la temperatura, el pH, la humedad y la disponibilidad de azúcares simples (Carrillo & Audisio, 2007)

### **1.5.6. Micotoxinas**

Los mohos crecen sobre los materiales vegetales produciendo el deterioro de los mismos. Forman metabolitos secundarios que actúan como antibióticos favoreciendo la prevalencia del moho frente a otros microorganismos, muchos de los cuales son tóxicos para plantas y/o animales. Estos metabolitos que enferman o matan a los animales que los consumen se conocen como micotoxinas (Carrillo & Audisio, 2007). Algunos casos lo son al estar en contacto con la piel, como lo es el caso de algunas toxinas del fusarium. Las toxinas de los hongos superiores, como las de Amanita, son también micotoxinas pero para que este tipo de intoxicaciones ocurra, es necesario consumir una porción del hongo o seta que contiene la toxina, no así en el caso de las micotoxinas producidas por los hongos microscópicos que invaden los productos agrícolas y derivados de ellos, en los cuales se secretan sus metabolitos tóxicos. A las intoxicaciones ocasionadas por las micotoxinas se les ha denominado micotoxicosis (Moreno, 1998).

Las micotoxinas en la mesa del consumidor constituyen un problema que comienza en el campo y continúa durante el acopio y la comercialización, cuya única solución es prevenir el crecimiento fúngico.

La presencia de las micotoxinas en los vegetales puede deberse:

- ❖ a la infección de la planta en el campo por el hongo patógeno o a la colonización por los saprobios.
- ❖ al crecimiento de los mohos saprobios o patógenos postcosecha sobre los frutos y granos almacenados
- ❖ al desarrollo fúngico saprobio durante el almacenamiento de los productos ya procesados (Swanson, 1987)

### 1.5.6.1. Mohos y micotoxinas

Los hongos adquiridos en el campo son *Alternaria*, algunos *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Verticillium*, además de otros fitopatógenos, y las especies difieren según el vegetal, el clima y la región geográfica.

Otros hongos presentes en los productos almacenados son especies de *Aspergillus*, *Penicillium* y algunos *Xerófilos*. Los factores que influyen en su desarrollo son el contenido de humedad del sustrato, la temperatura, el tiempo, el grado de invasión fúngica antes del almacenamiento y la actividad de insectos y ácaros que facilitan la diseminación.

Tabla 4.-Afecciones provocadas en el hombre por la ingestión de micotoxinas.

Micotoxina	Afecciones
Aflatoxina B1	Inducción de cáncer hepático, se excreta por leche como Aflatoxina M <sub>1</sub> , pasa al feto.
Aflatoxina M1	inducción de cáncer hepático, excretada en leche materna, pasa al feto
alcaloides del ergot	ergotismo convulsivo; ergotismo gangrenoso necrótico
Desoxinivalenol	diarrea, náuseas, vómitos, cefalalgia, dolor abdominal, anorexia, escalofríos, convulsiones, vértigo; inmunotoxicidad
Fumonisinias	lesiones precancerosas en esófago
Moniliformina	cardiopatía endémica en China
ocratoxina A	nefropatía endémica de los Balcanes, Túnez y Escandinavia; excreción por leche materna, pasa al feto; tumores en tracto urinario
Psoralenos	dermatitis por contacto, eritema y ampollas
T-2 y HT-2	aleukia tóxica alimentaria: sensación de quemazón en boca y garganta; vómitos, diarrea y dolor abdominal; hemorragias; destrucción de médula ósea; inmunosupresión; muerte
Zearalenona	cambios puberales precoces

Fuente:(Carrillo & Ausidio, 2007)

La presencia de una micotoxina, y el peligro asociado, solamente puede ser determinada después de la extracción e identificación de la misma porque:

- La presencia del hongo no asegura que exista una micotoxina
- La micotoxina continúa en el alimento aunque el moho haya desaparecido

- Un hongo dado puede producir más de una micotoxina
- Una determinada toxina puede ser formada por más de una especie de moho

**Tabla 5.-Mohos productores de algunas micotoxinas**

MICOTOXINAS	MOHOS
Aflatoxinas	<i>Aspergillus flavus, A. nomius, A. parasiticus</i>
Alcaloides de ergot	<i>Claviceps purpurea, Neotyphodiumcoenophialum</i>
Citroviridina	<i>Aspergillusterreus, Eupenicilliumochrosalmoneum, Penicilliumcitreonigrum</i>
Desoxinivalenol	<i>Fusariumculmorum, F. graminearum, F. pseudograminearum</i>
Fumonisidas	<i>Alternariaarborescens, Fusarium nygamai, F. proliferatum, F. verticilloides</i>
Moniliformia	<i>Fusariumacuminatum, F. avenaceum, F. fujikuroi, F. proliferatum, F. subglutinans, F. thapsinum</i>
Ocratoxina A	<i>Aspergillus alliaceus, A. carbonarius, A. melleus, A. niger, A. ochraceus, A. sclerotiorum, A. sulphureus, Penicilliumverrucosum</i>
Psoralenos	<i>Sclerotiniasclerotiorum</i>
Toxina T-2	<i>Fusariumarmeniicum, F. equiseti, F. musarum, F. poae, F. sporotrichioides</i>
Zearalenona	<i>Fusariumcrookwellense, F. culmorum, F. equiseti, F. graminearum, F. semitectum</i>

Fuente: (Carrillo & Ausidio, 2007)

### 1.5.7. Deterioro en hortalizas por hongos

Una vez que el producto es cosechado, comienza de inmediato la senescencia, haciéndolo más sensible al deterioro microbiano. El grado y la velocidad del incremento de la población de microorganismos dependen del producto y las condiciones de almacenamiento. El deterioro es realmente causado por solo una pequeña proporción de la microbiota inicialmente presente y un tipo específico de alteración se desarrolla bajo las condiciones normales de almacenamiento a temperaturas apropiadas.

La microbiota dominante sobre las hortalizas recién cosechadas es muy variable. Los hongos filamentosos aislados de las hortalizas con más frecuencia son *Aureobasidium, Fusarium, Alternaria, Epicoccum, Mucor, Rhizopus, Phoma, Chaetomium* y en menor proporción *Aspergillus, Acremonium, Botrytis, Cladosporium* (Bejarano & Carrillo, ).

# **CAPÍTULO II**

## **2. Metodología de investigación experimental**

### **Problema**

Reducción fúngica en chiles secos aplicando un recubrimiento con quitosán, un tratamiento térmico con vapor y la mezcla de ambos.

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

Comparar la aplicación de recubrimiento de quitosán, túnel de vapor y ambos tratamientos en la reducción de la carga fúngica de chile ancho y pasilla destinados para la producción de mole tradicional y/o su almacenamiento.

#### **Objetivo particular 1:**

Evaluar el efecto del recubrimiento de quitosán en chiles secos (mulato y pasilla), en la reducción de carga fúngica.

#### **Objetivo particular 2:**

Evaluar el efecto de un túnel de vapor con inyección directa en chiles secos (mulato y pasilla), en la disminución de la carga fúngica.

#### **Objetivo particular 3:**

Evaluar la aplicación de recubrimiento de quitosán y túnel de vapor con inyección directa en chiles secos (mulato y pasilla) en la disminución de la carga fúngica.

### **Justificación de variables**

En este trabajo se analizará la disminución de la carga fúngica en las dos variedades de chile seco, después de aplicar su tratamiento correspondiente.

**Recubrimiento con quitosán:** Se ha utilizado el quitosán ampliamente en investigaciones como inhibidores de crecimiento de hongos, esta vez se utilizó como una biopelícula que cubre a toda la

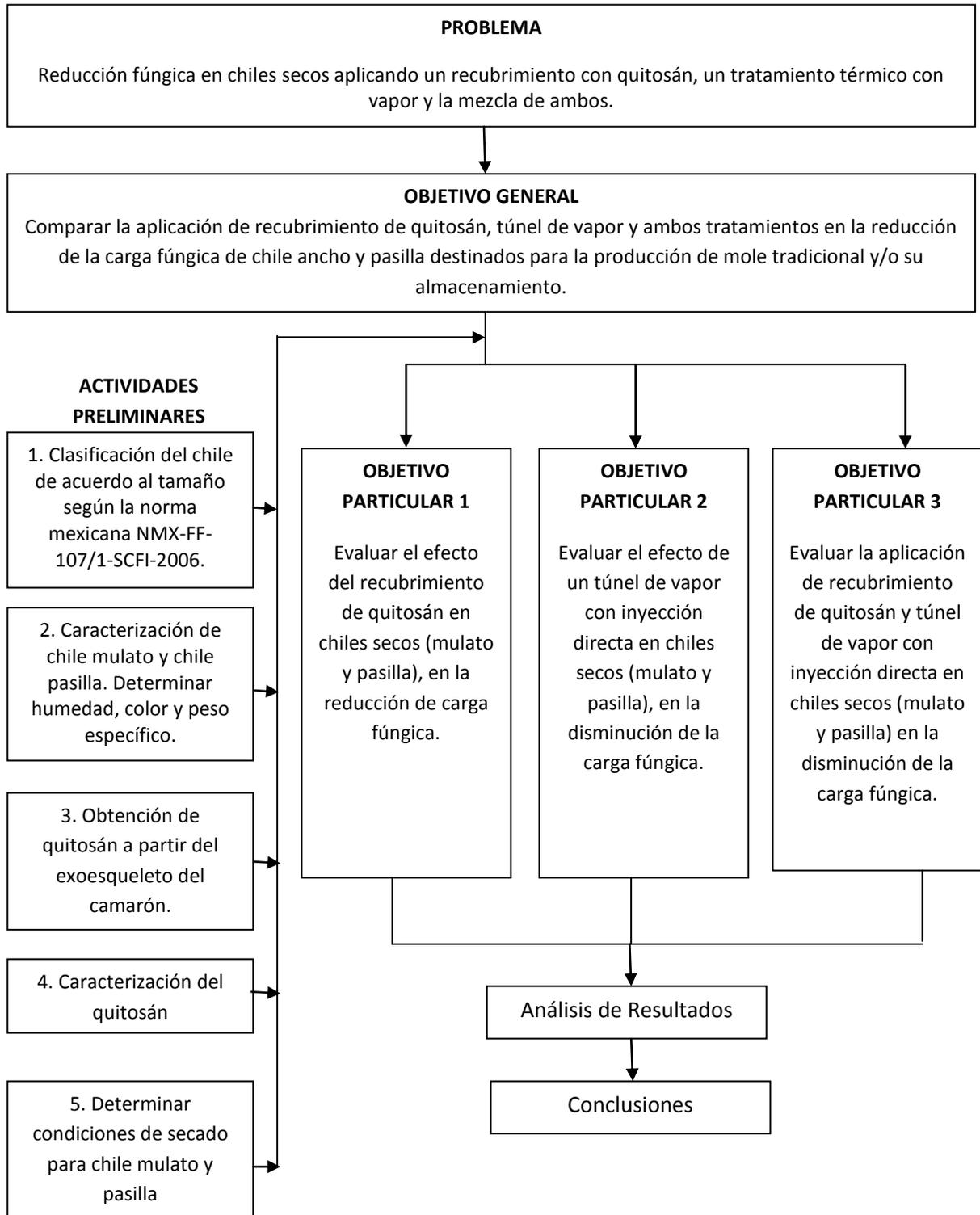
superficie del chiles seco; la concentración de solución de quitosán también ha sido estudiada por diferentes autores utilizando concentraciones desde 0.25 a 2%, en frutas y hortalizas y se han observado efectos antifúngicos favorables a una concentración de 1% (Salvador et al., 1999)

**Túnel de vapor con inyección directa:** El túnel de vapor opera a una presión de  $7.5 \text{ psi} \pm 0.5$  y permaneció según los tiempos establecidos en la tabla de variables y niveles de variación, posteriormente los chiles se secan a una temperatura de  $70^{\circ}\text{C} \pm 3$ .

Se tomó en cuenta la relación temperatura-tiempo, y debido a limitaciones con el equipo y no poder manipular la presión de vapor se establecieron diferentes tiempos de permanencia en dicho túnel; las temperaturas superiores a las que los microorganismos crecen producen inevitablemente su muerte o les provocan lesiones subletales y si hay lesiones de este tipo, las células lesionadas pueden permanecer viables pero son incapaces de multiplicarse hasta que la lesión no se haya subsanado. Las exposiciones drásticas provocan en las poblaciones un progresivo y ordenado descenso de sus tasas de crecimiento debido a la muerte de un número de células tanto más elevado cuanto más prolongado sea el tiempo de exposición. Se emplea el calor para impedir el crecimiento de los microorganismos aplicando temperatura y manteniéndolos a temperaturas algo por encima de las que permiten su desarrollo de mohos y levaduras.

**Recubrimiento con quitosán y túnel de vapor con inyección directa:** En este trabajo el principal objetivo es la reducción de carga fúngica aplicando los tratamientos antes mencionados, y una combinación de estos puede dar resultados favorables, primero se aplica el tratamiento térmico en el túnel de vapor con inyección directa presión de  $7.5 \text{ psi} \pm 0.5$ , posteriormente los chiles se secan a una temperatura de  $75^{\circ}\text{C} \pm 3$  y finalmente se aplica el recubrimiento y se deja secar a temperatura ambiente.

## CUADRO METODOLÓGICO



## 2.1. Actividades Preliminares

### 2.1.1. Clasificación del chile de acuerdo al tamaño según la norma mexicana NMX-FF-107/1-SCFI-2006.

De acuerdo al tamaño y peso según la norma mexicana NMX-FF-107/1-SCFI-2006 El chile seco entero, del género *Capsicum* de los tipos guajillo (mirasol), ancho, mulato, árbol, puya y pasilla destinados para consumo humano se clasifican en 4 grados de calidad, en orden descendente:

- Extra
- Primera
- Segunda
- Tercera ó fuera de clasificación

El producto clasificado se designa por su nombre, tipo, tamaño y calidad, siendo el tamaño un parámetro de diferenciación comercial.

El producto designado como tercera o fuera de clasificación, primordialmente se utiliza para elaborar subproductos. Especificaciones de defectos

*Extra:* Estar prácticamente libres de cualquier defecto.

*Primera:* Pueden presentar como máximo un defecto menor y dentro de las tolerancias establecidas para esta calidad.

*Segunda:* Puede presentar como máximo un defecto mayor y dentro de las tolerancias establecidas para esta calidad

*Tercera o fuera de clasificación:* Presentan más de un defecto mayor y son considerados de uso industrial

El chile seco en sus diferentes tipos, tamaños y grados de calidad debe cumplir con las siguientes especificaciones sensoriales:

- ◆ Los chiles secos enteros a los que se refiere la presente norma, en general deben:
- ◆ Presentar forma y color característicos.
- ◆ Presentar sabor (pungenciaó picor) característico de acuerdo al tipo.
- ◆ Presentar fuerte olor característico.
- ◆ Estar bien desarrollados, enteros, sanos, limpios, de consistencia firme y textura brillante.
- ◆ Provenir de frutos 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 libres de insectos, hongos y fragmentos de insectos así como de contaminantes de roedores.
- ◆ Estar libres de materia extraña.

Se realizó la caracterización física de tamaño y forma, en chile mulato y pasilla para conocer la calidad del producto de acuerdo a la clasificación de tamaño por tipo de chile seco entero.

Se colocó el chile en una superficie horizontal plana. Con un calibrador vernier, graduada en milímetros, se tomó la medida de la longitud, expresándola en centímetros. El largo se realizó la medida de la base al ápice del fruto sin considerar el pedúnculo. El ancho se midió en la parte de mayor amplitud del fruto.

Se obtuvo una muestra representativa de 20 unidades adquiridas de Industrias de la rosa S.A. de R.L ya que no se pudo realizar un plan de muestreo debido a que no se tuvo acceso al tamaño de lote o partida, ni al nivel de calidad aceptable (NCA).

## **2.1.2. Caracterización de chile mulato y chile pasilla. Determinar humedad, color y peso específico.**

### **2.1.2.1. Humedad por termobalanza.**

Un factor ambiental de gran importancia y que debe estar controlado durante el almacenamiento de los chiles es el porcentaje de humedad, ya que es un factor ambiental crítico que influye en la velocidad de multiplicación de los microorganismos, provocando la descomposición de los chiles y afectando la calidad de los mismos (Flores, 2009)

Durante esta experimentación se determinó el porcentaje de humedad para chiles mulato y pasilla utilizando una balanza de humedad (termo-balanza) marca Ohaus MB45. El equipo consiste en una balanza electrónica y un módulo calefactor, la balanza se encarga de medir el peso de la muestra orgánica mientras se le aplica calor para evaporar el agua que contiene. El cálculo de la humedad se determina por la pérdida de peso que sufre la muestra después de ser sometida al proceso de calentamiento (Ohaus, 2010).

### **2.1.2.2. Color**

La determinación de color se realizó con el colorímetro Minolta DP-301 la prueba se realizó por triplicado. Obteniendo resultados de espacio de color  $L^*a^*b^*$  (también llamado CIELAB), es

actualmente uno de los espacios más populares para medir el color de los objetos y se utiliza ampliamente en casi todos los campos, donde L\* indica luminosidad y a\* y b\* son las coordenadas de cromaticidad.

### **2.1.2.3. Peso específico**

Esta prueba se realizó debido a que se debe tener en cuenta este dato para el transporte de los chiles secos en la banda transportadora que se encuentra en el túnel de vapor con inyección directa.

Suele llamarse peso específico al cociente entre el peso de un cuerpo y su volumen. Para calcularlo se divide el peso del cuerpo o porción de materia entre el volumen que éste ocupa.

$$\frac{P}{V} = \gamma$$

Donde

$\gamma$ = peso específico

P= peso de la sustancia

V= volumen que ocupa la sustancia

### **2.1.3. 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.

Se realizó la extracción de polímero se realizó bajo el procedimiento de la patente número 293022, desarrollada en el laboratorio de biotecnología de la FESC en la UNAM,

### **2.1.4. Caracterización del quitosán.**

#### **2.1.4.1. Determinar el grado de desacetilación del quitosán por el método de titulación**

Es una titulación potenciométrica ácido-base de los grupos  $\text{NH}_3^+$  de la muestra del quitosán disuelta en un exceso del ácido, con el uso del pH metro se determina el cambio de pH de la muestra a evaluar.

## Soluciones

- H Cl 0.2 M
- Na OH 0.1 M

## Metodología

1. Diluir 0.3 g de quitosán en 45 ml de H Cl 0.2 M agitar a temperatura ambiente hasta formar la dilución completamente.
2. Calibrar pH metro antes de comenzar a utilizar
3. Colocar en una bureta Na OH 0.1 M y colocar la muestra en la parte inferior.
4. Agregar incrementos por mililitro de Na OH 0.1 M con agitación y tomar valor de pH a cada volumen agregado.
5. Realizar titulación hasta llegar a un pH de 11.
6. Graficar x=volumen de Na OH 0.1 M; y=pH de la solución
7. Determinar en el gráfico los puntos de equivalencia

$$m1 \text{ y } m2$$

8. Determinar volumen promedio

$$m1 - m2 = Vp$$

9. Determinar el volumen gastado

$$\frac{Vp}{1000} = Vg$$

10. Determinar la masa en equivalente

$$\frac{m(g)}{(\text{concentracion NaOH}) * Vg} = Meq$$

11. Determinar el grado de acetilación

$$\frac{203}{Meq + 42} (100) = \% GA$$

12. Determinar el grado de desacetilación

$$100 - \%GA = \% GD$$

(Rinaudo, 2003)

#### 2.1.4.2. Determinar peso molecular por viscosimetría intrínseca

De acuerdo a su peso molecular, presenta diversas propiedades biológicas que lo convierten en un candidato apropiado para múltiples aplicaciones.

Para determinar el peso molecular del polímero se utilizó un viscosímetro capilar tipo Oswald, equipado con un baño termostático controlado por un recirculador de agua marca Grant, con capacidad de regular la temperatura en  $\pm 0,01^\circ\text{C}$  ajustándolo a  $25^\circ\text{C}$ . Las muestras de quitosán se prepararon por dilución en mezcla compuesta de ácido acético 0,3 M y acetato de sodio 0,2 M, a la que llamaremos buffer.

◆ Preparación de solución buffer ajustado a 4.6 pH.

- Acetato de sodio  $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$  0.2 M
- Acidoacético H Ac 0.3 M

Porcentaje de componentes para solución buffer:

- 55.5 % agua destilada
- 24.5 % acetato de sodio
- 20.0 % ácidoacético

◆ Preparar 5 distintas concentraciones de solución de quitosán en la solución buffer.

◆ Filtrar las soluciones para eliminar cualquier partícula de quitosán que pueda obstruir el capilar del viscosímetro Oswald.

Secuencia de cálculo:

1) Determinar la viscosidad relativa:

$$\eta_{rel} = \frac{tm}{to}$$

Dónde:

tm= Tiempo de caída de la solución de quitosán

to= Tiempo de caída de la solución de referencia ó buffer

2) Determinar la viscosidad específica:

$$\eta_{específica} = \eta_{rel} - 1$$

3) Calcular viscosidad reducida:

$$\eta_{reducida} = \frac{\eta_{específica}}{C}$$

Dónde:

C= Concentración de quitosán

- 4) Obtención de la viscosidad intrínseca. Se realiza un gráfico para representar la viscosidad reducida en función de la concentración del quitosán, se obtiene la ecuación lineal, donde la viscosidad intrínseca es representada en la ecuación lineal por la ordenada al origen.
- 5) Cálculo de peso molecular del quitosán. Se puede conocer el peso molecular por medio viscosimétrico  $\bar{M}_v$ , utilizando la ecuación de Mark Houwink Sakurada (Mohammad, *et al.* 2007).

$$[\eta] = K\bar{M}_v^a$$

Donde K y a son constantes típicas que dependen del solvente empleado (solución buffer), el polímero y la temperatura y han sido determinados experimentalmente por diversos autores. En este caso las constantes son;  $K=76 \times 10^{-5}$  dL/g y  $a= 0.76$

Expresada en forma logarítmica la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\log[\eta] = \log K + a \log \bar{M}_v$$

Despejando el peso molecular promedio viscosimétrico:

$$\bar{M}_v = 10^{(\log \eta - \log k)/a}$$

Resultados de cálculos para la obtención de viscosidad intrínseca

- Obtención de la viscosidad intrínseca

$$\eta_{intrínseca} = dl/g$$

Sustituyendo el valor de la viscosidad intrínseca en, y el valor de las constantes, el peso molecular promedio viscosimétrico que se obtuvo fue en unidades **g/mol ó Da**(Mohammad *et al.* 2007).

#### **2.1.5. Determinar condiciones de secado para chile mulato y pasilla**

El secado se describe como un proceso de eliminación de sustancias volátiles (humedad), para producir un producto sólido o seco. La humedad se presenta como una solución líquida dentro del sólido es decir; en la microestructura del mismo. Es una operación en que se da el transporte simultáneo de calor y masa (Fito, 2001).

Es necesario conocer los mecanismos y la cinética del secado de las dos variedades de chile secos, que se aplicará después del túnel de inyección directa, es decir se deben establecer relaciones

cuantitativas (gráficas o analíticas) entre el tiempo que debe durar la operación y las condiciones de secado, por tanto se realizaron experimentos de laboratorio fijando las condiciones de operación como del aire: temperatura, velocidad másica, humedad relativa y del producto: humedad, tamaño, forma y estructura, una vez fijadas las condiciones experimentales y determinando la relación, tiempo-humedad del producto.

Para poder calcular la velocidad de secado deben establecerse las propiedades psicrométricas del aire ambiente y de secado, ya sea por fórmula o utilizando la carta psicrométrica.

Para realizar la experimentación se utilizó un secador de charolas transversal que utiliza como fuente de energía la corriente eléctrica, para obtener la velocidad de secado debe obtenerse:

Temperatura de secado

Establecer área de secado

Establecer intervalos de tiempo para medir el peso del producto

Establecer la humedad inicial del producto

Una vez establecidas las condiciones se coloca la materia prima encima de la malla dentro del secador, uniformemente dentro del área establecida, debe pesarse la materia prima con la malla antes de iniciar el secado y posteriormente se tuvo un registro del peso de la malla con la materia prima cada 20 minutos y para obtener el peso de la materia prima se restó el peso de la malla, el secado se realizó a una temperatura de 70°C.

Para conocer la velocidad en el periodo constante se calcula la humedad en base seca (Hbs) con los datos obtenidos en la experimentación.

$$Hbs = \frac{M - Mss}{Mss}$$

Dónde:

Hbs = humedad en base seca (kg h<sub>2</sub>O/ kgss)

M = masa de la materia prima(kg)

Mss= masa de sólido seco (kg)

Para calcular Mss se tiene que:

$$Mss = M \text{ inicial} * (1 - XH)$$

M inicial = masa de la materia prima al iniciar el proceso de secado (kg)

XH = Fracción de la humedad determinada experimentalmente de lamateria prima

Posteriormente se calcula el porcentaje de humedad con la ecuación que se muestra a continuación.

$$\%H = \frac{Pm * Mss}{Pm} * 100$$

Dónde:

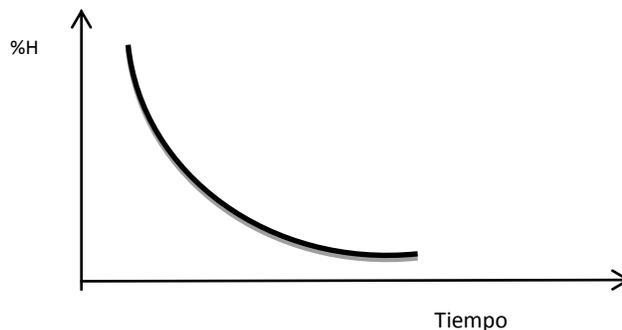
%H= porcentaje de humedad

Mss = masa de sólido seco (kg)

Pm = peso de la muestra (kg)

Se construye la gráfica de porcentaje de humedad contra tiempo, donde tendrá la tendencia que se muestra en el gráfico 4.

**Gráfico 4.-Tendencia de pérdida de humedad- %H Vs tiempo**



Para predecir el tiempo de secado de la materia prima usando el mismo equipo en que se realizará la experimentación, se deberá ubicar el porcentaje de humedad en el eje de las ordenadas y trazar una línea hasta que intercepte con la línea del gráfico para leer en el eje de las abscisas, y se obtendrá la lectura del tiempo que deberá permanecer la materia prima.

## **2.2. Diseño experimental**

MATERIA PRIMA: Para realizar la experimentación se utilizó chile mulato y pasilla procedentes de la Industrias de la rosa S.A. de R. L., que cultivan y deshidratan los chiles secos en el estado de Hidalgo. Los cuales se seleccionaron de forma aleatoria. Se verificó que cada uno de los chiles secos mulato o pasilla que se utilizaron para experimentar no presentara defectos físicos mayores como grietas, fractura o rasgadura, para lograr trabajar solo sobre la superficie y que los compuestos internos del chile deshidratado no influyeran en los resultados.

### 2.2.1. Recubrimiento con quitosán (O.P.1)

Se realizó el recubrimiento en chile mulato y pasilla con una solución de quitosán a 1% y ácido acético glacial ( $\text{CH}_2\text{COOH}$ ) a una concentración de 1% como medio de disolución, se preparó a temperatura ambiente y con agitación hasta que las hojuelas de quitosán se disolvieran por completo y después se dejó reposar durante una hora, para que adquiriera mejor humectación.

El recubrimiento se realizó por inmersión del chile seco en la solución. Después se dejó escurrir durante quince minutos y secando a temperatura ambiente, al secarse completamente el recubrimiento se guardaron por separado en bolsas herméticas y esterilizadas. Se realizó para cada variedad de chile seco, con tres réplicas cada uno.

Tabla 6.- Variables O.P. 1

c	Variable dependiente	Variable de respuesta	Imagen
Mulato	Carga fúngica	Identificación y cuantificación fúngica	
Pasilla	Carga fúngica	Identificación y cuantificación fúngica	

Durante este objetivo se obtuvieron un total de 6 experimentos

### 2.2.2. Túnel de vapor (O.P.2)

El túnel de vapor es un equipo de acero inoxidable, que inyecta vapor saturado por la parte superior e inferior, cuenta con una banda transportadora en forma de malla. Durante esta experimentación se mantuvo constante la presión de vapor, y se utilizaron tres niveles de variación para el tiempo en el túnel de vapor con inyección directa como se muestra en la tabla 9.

Tabla 7.- Variables O.P.2

Variedad chile seco	Variabes independientes	Niveles de variación	Variable dependiente	Variable de respuesta
Mulato	Tiempo en túnel de vapor	3 minutos 5 minutos 7 minutos	Carga fúngica	Identificación y cuantificación fúngica
	Presión de vapor	Constante		
pasilla	Tiempo en túnel de vapor	3 minutos 5 minutos 7 minutos	Carga fúngica	Identificación y cuantificación fúngica
	Presión de vapor	Constante		

Después del lavado se llevó a cabo un secado a temperatura de  $70^{\circ}\text{C} \pm 3$ , se utilizó un secador de charolas de flujo transversal Con las condiciones establecidas en la actividad preliminar número 5. Al terminar el secado se guardaron en bolsas herméticas, cada experimento por separado y se realizó para cada variedad de chile seco, con tres replicas cada uno. Obteniendo un total de 18 experimentos.

### 2.2.3. Túnel de vapor y recubrimiento con quitosán (O.P.3)

Durante esta experimentación se utilizó el mismo túnel de vapor que en la actividad anterior, se mantuvo constante la presión de vapor, y se utilizaron los mismos tres niveles de variación para el tiempo de permanencia en el túnel de vapor con inyección directa. Se siguió con el secado a temperatura de  $70^{\circ}\text{C} \pm 3$  en un secador de charolas. Inmediatamente después de esta operación se realizó el recubrimiento con quitosán en chile mulato y pasilla con una solución de quitosán a concentración de 1%, el recubrimiento se realizó por inmersión del chile seco en la solución. Después se dejó escurrir durante quince minutos y secando a temperatura ambiente, al secarse completamente el recubrimiento se guardaron por separado en bolsas herméticas. Se realizó para cada variedad de chile seco, con tres réplicas cada uno.

Tabla 8.-Variables para O.P. 3

Variedad chile seco	Variables independientes	Niveles de variación	Variable dependiente	Variable de respuesta
Mulato	Tiempo en túnel de vapor	3 minutos 5 minutos 7 minutos	Carga fúngica	Identificación y cuantificación fúngica
	Presión de vapor	Constante		
	Concentración de solución de quitosán	Constante		
	Temperatura de secado	Constante		
Pasilla	Tiempo en túnel de vapor	3 minutos 5 minutos 7 minutos	Carga fúngica	Identificación y cuantificación fúngica
	Presión de vapor	Constante		
	Concentración de solución de quitosán	Constante		
	Temperatura de secado	Constante		

Obteniendo un total de 18 experimentos

#### 2.2.4. Determinación de carga fúngica

Posteriormente de aplicar los tratamientos antes mencionados se colocó la variedad de chile seco tratado en una bolsa hermética y esterilizada, para posteriormente realizar análisis microbiológicos los cuales se realizaron con kits de análisis microbiológicos de la marca 3M, estas son placas Petrifilm para el recuento de carga fúngica, en las cuales se pueden identificar la presencia, mohos y levaduras.

La Placa Petrifilm para Recuento de Mohos y Levaduras (Yeast & Molds YM) 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 MY se utilizan en la enumeración de la población total existente de Mohos y Levaduras en productos, ambientes, superficies, etc.

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

PREPARACION DE LA MUESTRA: Se preparó una dilución de 1:10 de la muestra. Se pipeteo la muestra en una funda, bolsa o cualquier otro contenedor estéril usual.

Se Adicionó la cantidad apropiada del diluyente estéril: tampón Butterfield (tampón IDF fosfato, 0.0425 g/L de KH<sub>2</sub> PO<sub>4</sub> y con pH ajustado a 7.2).

Se Colocó la Placa Petrifilm en una superficie plana y nivelada. Levantando la lámina semitransparente superior.

Con la pipeta perpendicular a la Placa Petrifilm coloque 1 ml de la muestra en el centro de la película cuadrículada inferior.

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

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

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

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

Incube las placas cara arriba en grupos de hasta 20 unidades de altura. (AOAC método oficial 997.02 en alimentos) 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 los resultados al día 5. Por lo que debe observarse al día 3 y registrar los resultados 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 amplificada.

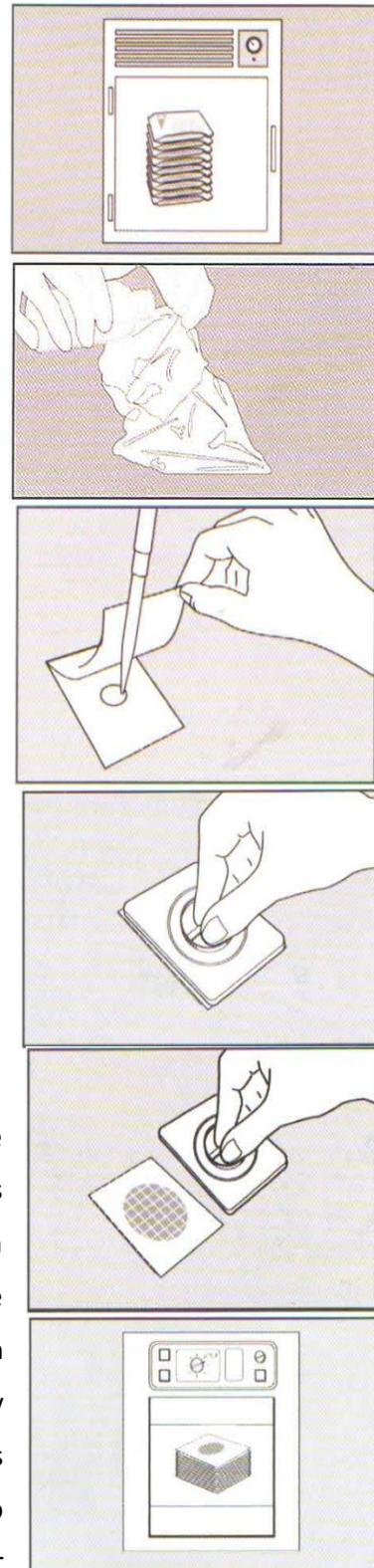


Figura7.-Proceso grafico para recuento de mohos y levaduras

### 2.2.5. Identificación de hongos 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 (Fig. 8).

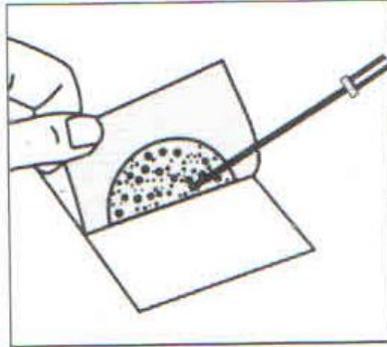


Figura8.- Extracción de colonia para identificación microscópica

Se transfirió la colonia a una gota de agua estéril colocada en un portaobjetos para microscopio y se colocó encima el cubre objetos; observándola bajo el microscopio (Fig. 9).

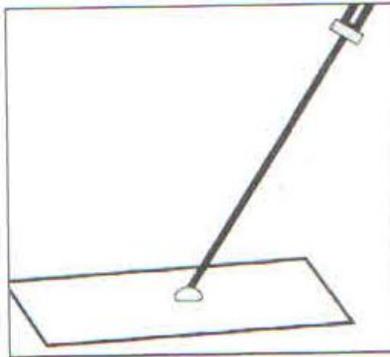


Figura9.-Ejemplificación para transferencia de colonia

Las levaduras típicamente tienen forma ovalada y se pueden ver como brotadas o abultadas.

Los mohos típicamente aparecen como estructuras ramificadas, como hilos o filamentosas (Fig.10)

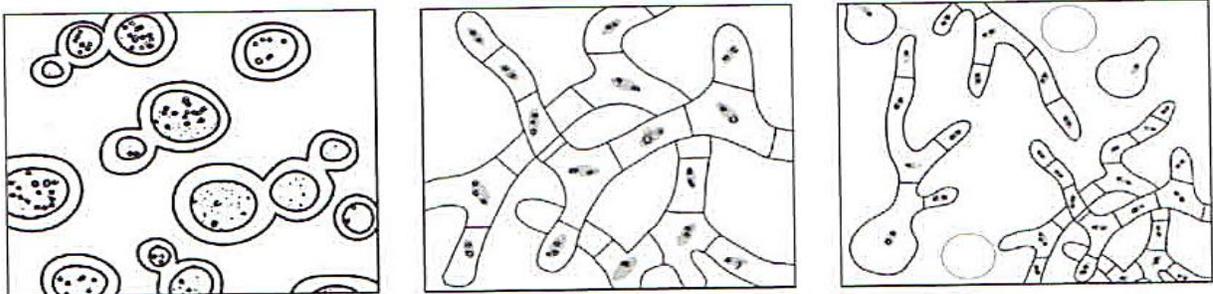


Figura10.-Mohos en diferentes etapas de germinación.

## **Análisis estadístico ANOVA**

Los controles y tratamientos se realizaron por triplicado, dando un resultado de 48 experimentos, por lo que se inocularon 48 placas para identificar si existen mohos y levaduras, cuantificarlos y obtener el total de carga fúngica.

### **2.2.6. Análisis de costos**

Costo: costo oportuno, se define como el valor del beneficio del que se ha de prescindir al escoger una alternativa en lugar de otra, esta es extremadamente importante porque el costo real de cualquier actividad se mide por su costo oportuno, no por su costo desembolsado, estos costos se pueden identificar mediante la comparación entre la alternativa elegida y la rechazada, estos son con frecuencia denominados “costos alternativos”. El concepto de costo alternativo surge siempre que los factores destinados a cualquier actividad son escasos o son susceptibles de usos alternativos. El costo real o sacrificio viene medido, entonces por el valor de la alternativa de la cual se prescinde (Milton & Spencer,1993).

El costo es un sacrificio que debe realizarse con objeto de hacer o adquirir algo. La naturaleza del sacrificio puede ser tangible o intangible, objetiva o subjetiva y puede adoptar una o más de la multiplicidad de formas.

Costo desembolsado. Es el dinero gastado con objeto de realizar una actividad en particular.

En teoría de los costos de producción, el costo puede definirse como la entidad resultante del producto de una cantidad física de empleo de un factor por un precio típicamente negociado.

Un costo es una cantidad consumida, utilizada o recibida de un bien o servicio multiplicado por el correspondiente precio unitario de cada cantidad. (Billene, 1999)

Simbólicamente

$$C=Q*Px$$

Donde:

- C= costo de cada concepto
- Q= cantidad en unidad consumidas de bien o servicio
- Px= Precio unitario de cada unidad de cantidad

# CAPÍTULO

III

### 3. Resultados y análisis de resultados

#### 3.1. Actividades Preliminares

##### 3.1.1. Clasificación del chile de acuerdo al tamaño según la norma mexicana NMX-FF-107/1-SCFI-2006

De acuerdo al tamaño según la norma mexicana NMX-FF-107/1-SCFI-2006El chile seco entero, se clasifican en extra, primera y segunda, medidas y peso que se deben encontrar dentro de un rango, como se muestra en la tabla 9.

Se tomó una muestra representativa de 20 unidades de cada variedad de chile seco, que se muestran en la tabla 10.

Tabla 9.-Designación del producto conforme al tamaño

TIPO	CALIDAD	TAMAÑO		PESO (g)
		Longitud (cm.)	Ancho (cm.)	
MULATO	EXTRA	>10	>7	>17
	PRIMERA	7 -10	5-7	14 - 17
	SEGUNDA	<7	< 5	<14
PASILLA	EXTRA o FLOR	>20		>7,5
	PRIMERA	14-20	>3	>7,5
	SEGUNDA	<14	2.-3	<7,5

Tabla 10.-Resultados de medidas chile mulato y pasilla

Muestra	chile pasilla			chile mulato		
	longitud	ancho	peso (g)	longitud	ancho	peso (g)
1	20.39	3.08	9.48	11.68	6.19	13.99
2	15.87	3.83	11.03	10.66	5.82	14.15
3	12.95	2.81	6.03	12.31	5.69	14.86
4	13.97	2.28	4.54	10.08	6.45	14.91
5	10.92	3.37	3.23	10.54	5.33	14.31
6	18.97	5.08	9.01	11.68	6.17	15.98
7	15.34	2.97	4.15	10.92	5.91	4.81
8	10.46	2.71	5.82	9.27	5.63	15.27
9	16.68	2.89	8.46	11.60	6.35	16.82
10	11.63	4.19	5.00	9.44	4.87	11.15
11	14.22	2.99	5.01	10.03	3.81	10.01
12	14.55	2.79	4.11	11.93	5.84	14.71
13	18.28	3.17	14.81	9.39	5.33	14.17
14	15.24	3.58	7.54	10.76	5.33	15.21
15	12.64	3.25	4.48	11.68	5.08	16.09
16	18.51	3.50	6.04	12.7	6.60	14.65
17	16.51	3.40	8.17	9.14	5.84	14.23
18	14.09	3.09	8.59	7.62	4.44	9.71
19	16.51	2.87	4.92	12.70	4.57	12.92
20	17.27	3.18	6.95	11.93	4.82	11.37

En la tabla anterior se asignó un color a cada celda, este color identifica cuando las dimensiones se encuentra dentro del rango permitido para la clasificación de acuerdo al tamaño, que se puede observar en la tabla número 11

extra	
primera	
segunda	

De acuerdo a los resultados obtenidos para las especificaciones de tamaño y de defectos, en las distintas calidades se permiten las siguientes tolerancias para todos los grados de calidad mencionados, los daños visibles como manchas, quemaduras, decoloraciones, ligeras deformaciones y pequeños daños físicos, estos no excedieron los límites de tolerancia en el chile mulato y pasilla muestreado (tabla 13).

**Tabla 11.-Resultados de la designación del producto en porcentaje**

CHILE PASILLA			CHILE MULATO	
Calidad	Muestra	Porcentaje obtenido	Muestra	Porcentaje obtenido
extra		Se obtuvo un 5 % de chile pasilla que se clasificaría como extra.		No se encontró chile mulato que clasificara como extra
primera		Se obtuvo un 35 % de chile pasilla que se clasificaría como primera		Se obtuvo un 75 % de chile mulato, como primera, siendo esta la de mayor presencia
segunda		Se obtuvo un 60 % de chile pasilla que se clasificaría como segunda		Se obtuvo un 25 % de chile mulato que clasificaría como tercera

### 3.1.2. Caracterización de chile mulato y chile pasilla. Determinar humedad, colorimetría, peso específico.

#### 3.1.2.1. Humedad por termobalanza.

Se realizó la prueba en la termobalanza de la marca Ohaus, Donde:

- Se utilizó 1 gramo de muestra, para cada evento. La determinación de humedad se realizó por triplicado y la que se presenta es la media.

**Tabla 12.-Resultado porcentaje de humedad en chile mulato y pasilla**

Variedad de chile	Porcentaje de humedad (%)
Mulato	9.22
Pasilla	9.57

De acuerdo a la norma NMX-FF-107/1-SCFI-2006 productos alimenticios chiles secos enteros (guajillo, ancho, mulato, de árbol, puya y pasilla) se muestra la siguiente tabla de límite de humedad para poder comercializar chiles secos:

**Tabla 13.-Humedad máxima permitida**

Contenido de humedad % (m/m) máximo	
Mulato	12.5
Pasilla	13.5

Fuente: NMX-FF-107/1-SCFI-2006

El chile mulato tuvo una humedad de 9.22% siendo el máximo permitido 12.5% y el chile pasilla tuvo un 9.57% de humedad y el máximo permitido es de 13.5, con una diferencia de 3.93% y 3%; respectivamente, las dos variedades de chile seco se encuentran dentro del límite máximo permitido de la norma (NMX-FF-107/1-SCFI-2006), por lo cual se permite comercializar, de acuerdo a esta característica.

#### 3.1.2.2. Colorimetría

El color es algo característico de los chiles secos debido a los compuestos propios y a las oloresinas las cuales también dan un olor característico. En la tabla 14 y 15 se muestran los parámetros de cromaticidad obtenidos.

Tabla 14.-Color de chile mulato

LOTE	Muestra	SECCIONES DE MEDICIÓN DE COLOR EN CHILE MULATO											
		1			2			3					
		L	a	b	L	a	b	L	a	b			
1	1	23.49	1.75	0.82	24.99	1.00	1.45	23.00	1.10	1.60		L	21.72
	2	18.99	2.40	1.22	18.67	0.78	1.78	21.99	1.54	2.12		a	1.37
	3	16.92	1.80	1.52	24.85	0.67	1.34	22.55	1.32	1.76		b	1.51
Promedio		19.80	1.98	1.19	22.84	0.82	1.52	22.51	1.32	1.83			
D.S		3.36	0.36	0.35	3.61	0.17	0.23	0.51	0.22	0.27			
C.V.		16.96	18.24	29.59	15.80	20.57	15.03	2.25	16.67	14.58			
2	1	16.66	0.92	1.52	20.32	0.67	1.35	16.76	0.66	1.37		L	19.47
	2	16.86	0.56	1.57	19.57	0.82	2.02	17.67	0.74	1.57		a	0.66
	3	21.67	0.54	0.98	22.86	0.53	1.56	22.85	0.53	1.08		b	1.45
Promedio		18.40	0.67	1.36	20.92	0.67	1.64	19.09	0.64	1.34			
D.S		2.84	0.21	0.33	1.72	0.15	0.34	3.29	0.11	0.25			
C.V.		15.42	31.76	24.11	8.24	21.54	20.85	17.21	16.47	18.39			
3	1	18.19	0.82	1.44	17.89	1.10	1.68	18.70	0.88	1.76		L	17.40
	2	23.55	0.75	1.40	16.26	0.80	1.50	19.60	1.04	1.19		a	0.94
	3	15.99	1.22	1.51	15.16	0.83	1.84	11.25	1.06	1.49		b	1.53
Promedio		19.24	0.93	1.45	16.44	0.91	1.67	16.52	0.99	1.48			
D.S		3.89	0.25	0.06	1.37	0.17	0.17	4.58	0.10	0.29			
C.V.		20.21	27.27	3.84	8.36	18.16	10.17	27.75	9.93	19.27			

En base a los resultados obtenidos que se muestran en la tabla 14, para el chile mulato, podemos observar inicialmente que los coeficientes de variación son muy altos, significando que existen diferencias significativas en el color que presentan los chiles en la superficie. Lo anterior es normal, ya que se trata de un producto natural y que cada individuo analizado, puede presentar diferentes grados de madurez, color, etc., siendo totalmente heterogéneos. Sin embargo, en lo referente a los parámetros de cromaticidad ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), podemos decir que el color es similar en cualquier chile seco y que no modificaría el color del producto final (mole) evaluado a la vista del consumidor y solo sería detectable a través de instrumentos de medición de color.

A continuación en la tabla 15 se muestran los resultados de color obtenidos en chile pasilla.

Tabla 15.-Color de chile pasilla

LOTE	Muestra	SECCIONES DE MEDICIÓN DE COLOR EN CHILE PASILLA											
		1			2			3					
		L	a	b	L	a	b	L	a	b			
4	1	21.26	0.72	1.47	21.45	1.53	1.36	26.68	0.83	1.22		L	22.79
	2	23.91	0.77	0.87	26.35	1.50	1.17	18.99	0.66	1.56		a	0.98
	3	23.66	0.86	1.27	22.54	1.19	1.12	20.27	0.79	1.38		b	1.27
<b>Promedio</b>		22.94	0.78	1.20	23.45	1.41	1.22	21.98	0.76	1.39			
<b>D.S</b>		0.50	0.05	0.21	1.99	0.16	0.05	1.50	0.07	0.10			
<b>C.V.</b>		2.19	6.20	17.81	8.49	11.31	3.97	6.83	8.96	7.36			
5	1	15.14	0.82	2.55	24.58	0.66	1.20	22.32	0.73	1.78		L	20.39
	2	21.21	0.88	1.88	23.26	0.59	1.19	16.11	0.87	2.09		a	0.79
	3	21.11	1.04	2.69	22.80	0.45	1.08	16.95	1.03	1.62		b	1.79
<b>Promedio</b>		19.15	0.91	2.37	23.55	0.57	1.16	18.46	0.88	1.83			
<b>D.S</b>		3.48	0.11	0.43	0.92	0.11	0.07	3.37	0.15	0.24			
<b>C.V.</b>		18.15	12.45	18.24	3.92	18.87	5.76	18.25	17.12	13.06			
6	1	18.72	1.12	2.36	24.66	1.10	1.20	25.14	0.75	1.48		L	21.54
	2	20.74	1.24	2.09	22.19	0.97	1.46	22.16	0.89	1.71		a	1.04
	3	19.98	1.04	2.43	21.11	1.01	1.02	19.14	1.22	1.62		b	1.71
<b>Promedio</b>		19.81	1.13	2.29	22.65	1.03	1.23	22.15	0.95	1.60			
<b>D.S</b>		1.02	0.10	0.18	1.82	0.07	0.22	3.00	0.24	0.12			
<b>C.V.</b>		5.15	8.88	7.83	8.03	6.49	18.03	13.55	25.31	7.23			

En base a los resultados obtenidos en la tabla 15 para el chile ancho y al igual que el mulato, los coeficientes de variación son muy altos, significando que existen diferencias significativas en el color que presentan los chiles en la superficie. Lo anterior es normal, como se mencionó en el análisis del chile mulato. En lo referente a los parámetros de cromaticidad ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), podemos decir que el color es similar en cualquier chile seco y que no modificaría el color del producto final. Así mismo, con el control de la temperatura y tiempo de la operación de asado a la que serán sometidas las materias primas, evitará que se modifique la coloración del producto final.

En la industria de chile deshidratado el color de la superficie son ampliamente estudiados para determinar la calidad del producto

### 3.1.2.3. Peso específico

Chile seco	Peso Específico del chile ancho (g/l)
Mulato	195
Pasilla	157



### 3.1.3. Obtención de quitosán a partir del exoesqueleto del camarón.

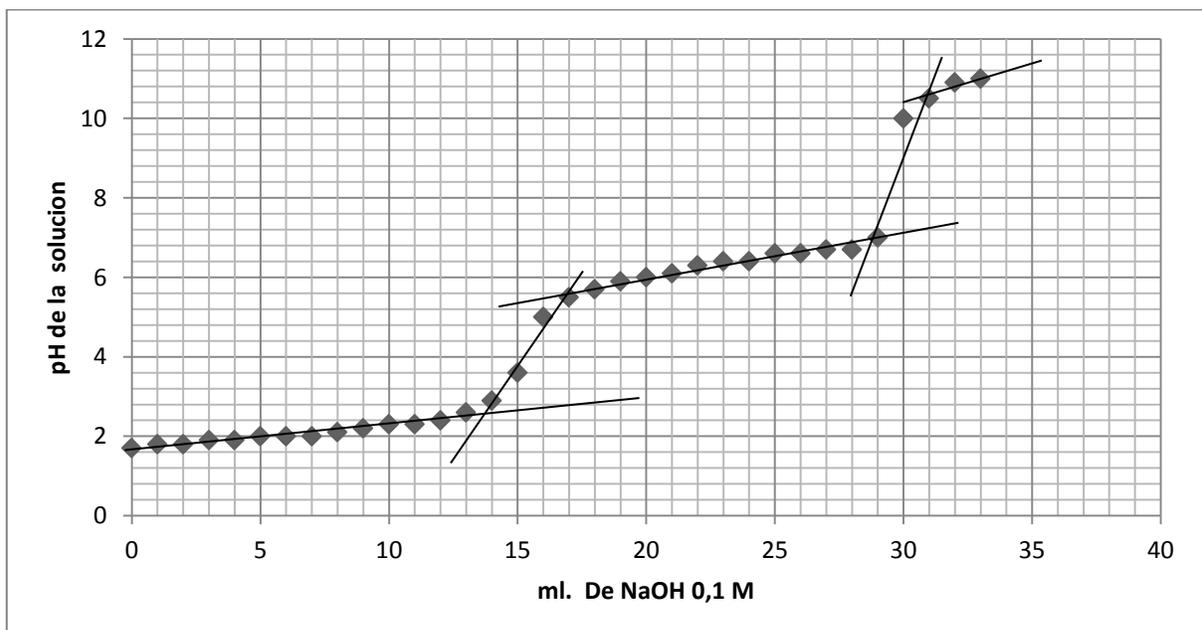
Se inició el proceso para obtener el polímero a partir de 421 g. de cáscaras de camarón limpias, secas y molidas y se obtuvo un total de 103 gramos de quitosán, este representa un 24.47 % de la cantidad de materia con la que se inició el proceso.

### 3.1.4. Caracterización del quitosán.

#### 3.1.4.1. Grado de desacetilación del quitosán por el método de titulación.

Para conocer el grado de desacetilación; a continuación se presentan los resultados de pH al agregar incrementos por mililitro de Na OH 0.1 M con agitación, en la Dilución de 0.3 g de quitosán.

Gráfico 4.-Volumen de NaOH 0.1 M Vs pH



De acuerdo al gráfico 4 se obtiene m1 y m2 en la intersección de las líneas, durante el segundo punto de inflexión

**Tabla 16. Resultados grado de desacetilación**

m1	29
m2	31
Vp	2
Volumen gastado (l)	0.002
masa equivalentes	1500
grado acetilación	0.13164721
grado desacetilacion	<b>0.86835279</b>
% GD	<b>86.8352789</b>

Al obtener un porcentaje de desacetilación mediante la protonación de los grupos amino relativamente alto se espera sea efectivo en la disminución de carga fúngica ya que es un porcentaje elevado y consecuentemente la presencia de grupos amino libres.

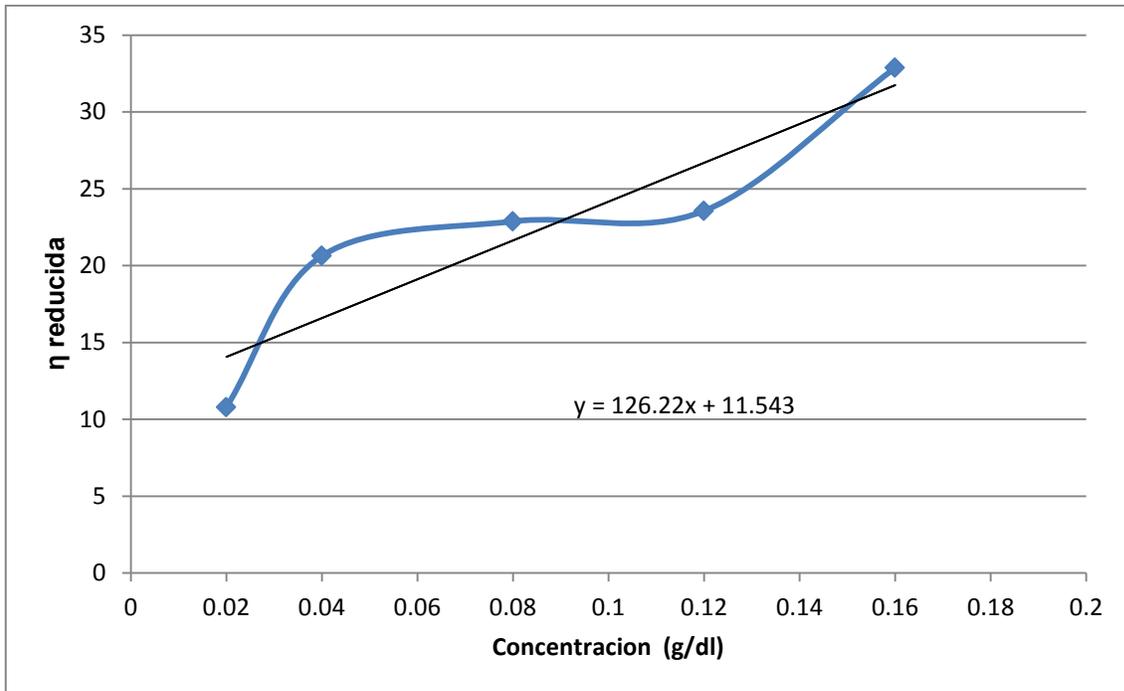
#### **3.1.4.2. Peso molecular**

Para determinar el peso molecular del polímero, se realizó por el método de viscosimetría capilar para posteriormente establecer su viscosimetría intrínseca; se utilizó un viscosímetro tipo Oswald, una vez establecidas las condiciones de trabajo se procedió a tomar el tiempo de caída de las diferentes concentraciones de disolución de quitosán. A continuación se presenta una tabla de resultados de las diferentes soluciones.

**Tabla 17.-Resultados de viscosimetría**

<b>solución de quitosán (g/dl)</b>	<b>Tiempo de caída (s)</b>	<b><math>\eta</math> relativa</b>	<b><math>\eta</math> específica</b>	<b><math>\eta</math> reducida (dl/g)</b>
blanco	70.61			
0.02	85.84	1.2157	0.2157	10.79
0.04	128.88	1.8253	0.8253	20.63
0.08	199.85	2.8303	1.8303	22.88
0.12	270.25	3.8273	2.8273	23.56
0.16	441.90	6.2582	5.2582	32.86

Gráfica 5.- Concentración de solución de quitosán Vs  $\eta$  reducida



De la representación gráfica que se observa en el gráfico 5 de la viscosidad reducida como función de la concentración de las diferentes soluciones del quitosán se observa una disminución de la viscosidad reducida conforme la concentración del polímero disminuye, se procedió a obtener la viscosidad intrínseca con la ecuación del gráfico, para conocer el peso molecular promedio viscosimétrico  $\bar{M}_v$ , utilizando la ecuación de Mark Houwink Sakurada:

$$[\eta] = K\bar{M}_v^a$$

Donde K y a son constantes típicas que dependen de la solución buffer empleada, el porcentaje de grado de desacetilación, han sido determinados experimentalmente por diversos autores. En este caso las constantes a usar son;  $K=76 \times 10^{-5}$  dl/g ,  $a= 0.76$  (Mohammad, *et al.* 2007); y  $[\eta]$  es igual a 11.543, ordenada al origen obtenida de la ecuación del gráfico 6, despejando  $\bar{M}_v$  se obtiene la siguiente ecuación.

$$\bar{M}_v = 10^{(LOG([\eta]) - LOG(k)/a)}$$

Sustituyendo valores:

$$\bar{M}_v = 10^{(LOG([11.543]) - LOG(k)/a)}$$

Obteniendo resultado de:

146727.439 Da

146.727439 K Da

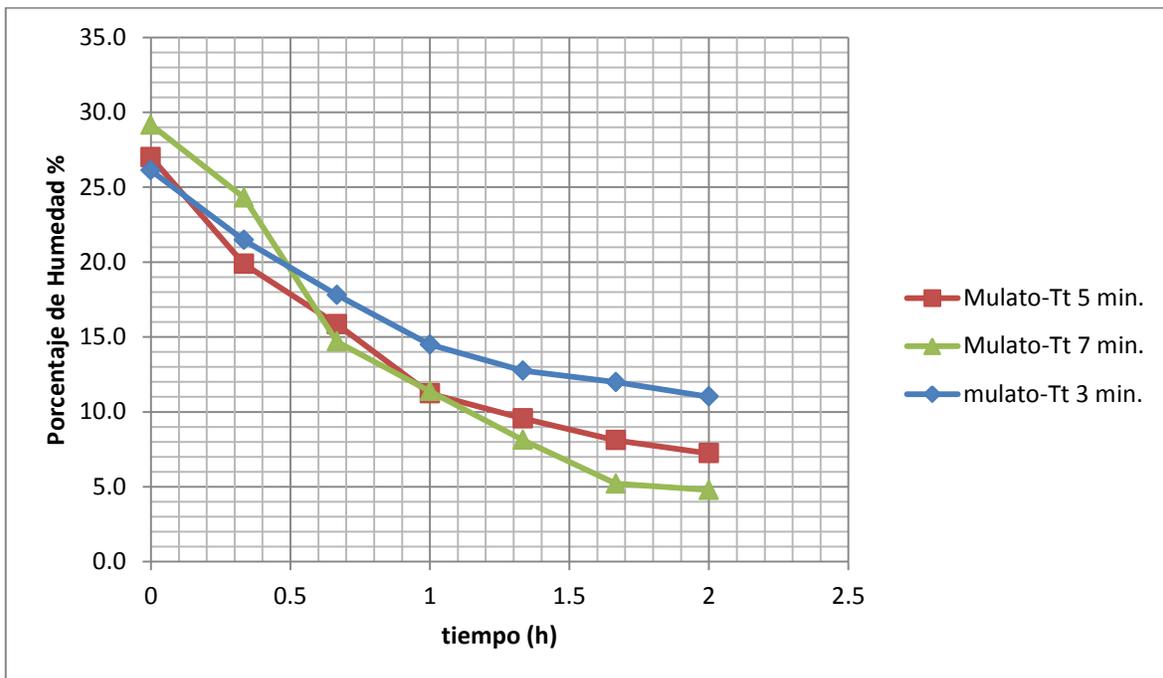
### 3.1.5. 5.- Determinar condiciones del secador de charolas.

#### 3.1.5.1. Chile mulato

El secado es una operación unitaria con la que se pretende extraer el exceso de humedad que adquiere el chile seco en sus dos variedades después del tratamiento térmico en el túnel de vapor en los diferentes tiempos de permanencia según la metodología planteada. El secado se mantuvo constante a una temperatura de 70°C.

A continuación se presenta el gráfico obtenido para establecer el tiempo de secado en chile mulato.

Grafico 6.-Perdida de humedad-%H Vs tiempo-chile mulato



En el grafico 6 observamos el efecto de la temperatura sobre el tiempo de secado, con el fin de determinar el tiempo de secado del chile mulato y el contenido de humedad apropiado para asegurar se encuentren conforme a la norma NMX-FF-107-1-SCFI-2006, y así poder garantizar su calidad de acuerdo a esta característica.

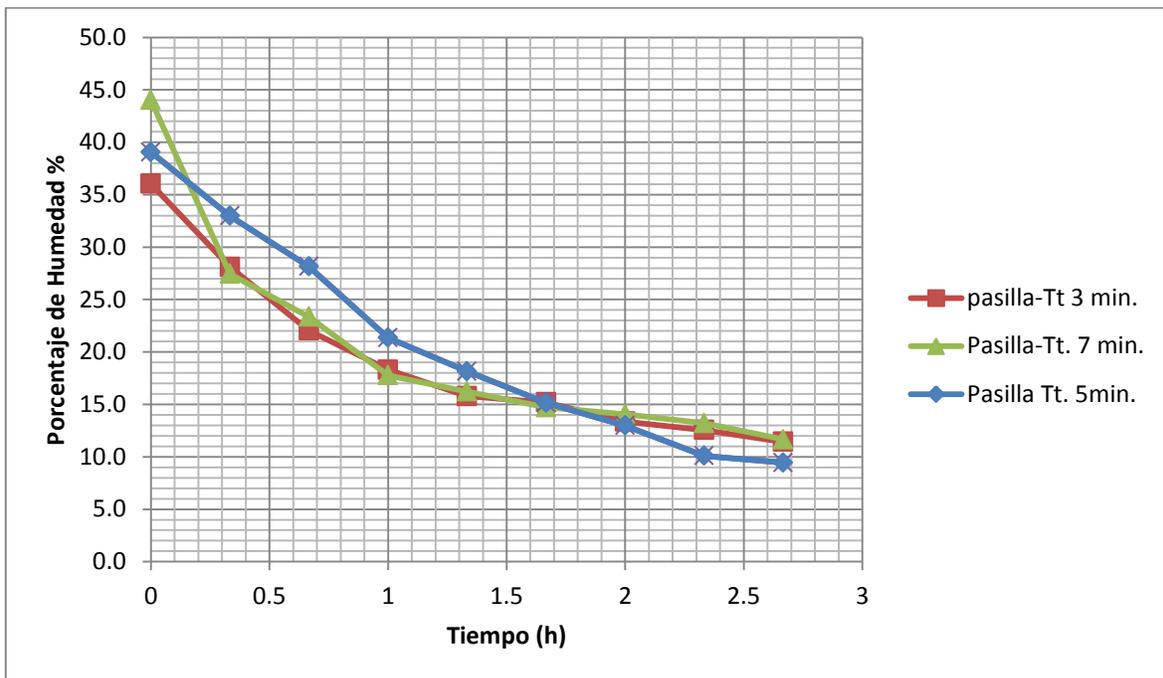
El tiempo de secado vario inversamente en relación al porcentaje de humedad. La deshidratación realizada en chile mulato, sometido previamente al tratamiento térmico en el túnel de vapor con inyección directa, de acuerdo al grafico 7, las tres muestras con dicho tratamiento presentan el mismo comportamiento, al transcurrir 2 horas de secado el chile mulato que tuvo un tratamiento térmico con vapor con tiempo de 3 minutos de permanencia en el túnel de vapor llega a una humedad del 11%, mientras que en chile mulato con tratamiento de 5 minutos llega a una

humedad del 8%, y en la muestra con un tratamiento de 7 minutos alcanza una humedad final de 5%, esta variación fue debido a que se mantuvo constante el área de secado, ya que como se muestra en (página 65) tabla 12 las medidas y pesos de los chiles son muy variados, por lo tanto la masa antes del secado no fue la misma en cada tiempo de permanencia.

### 3.1.5.2. Chile pasilla

Se presenta el gráfico obtenido para conocer el porcentaje de humedad en el producto respecto al tiempo en chile pasilla. El secado se realizó a las mismas condiciones y en el mismo equipo.

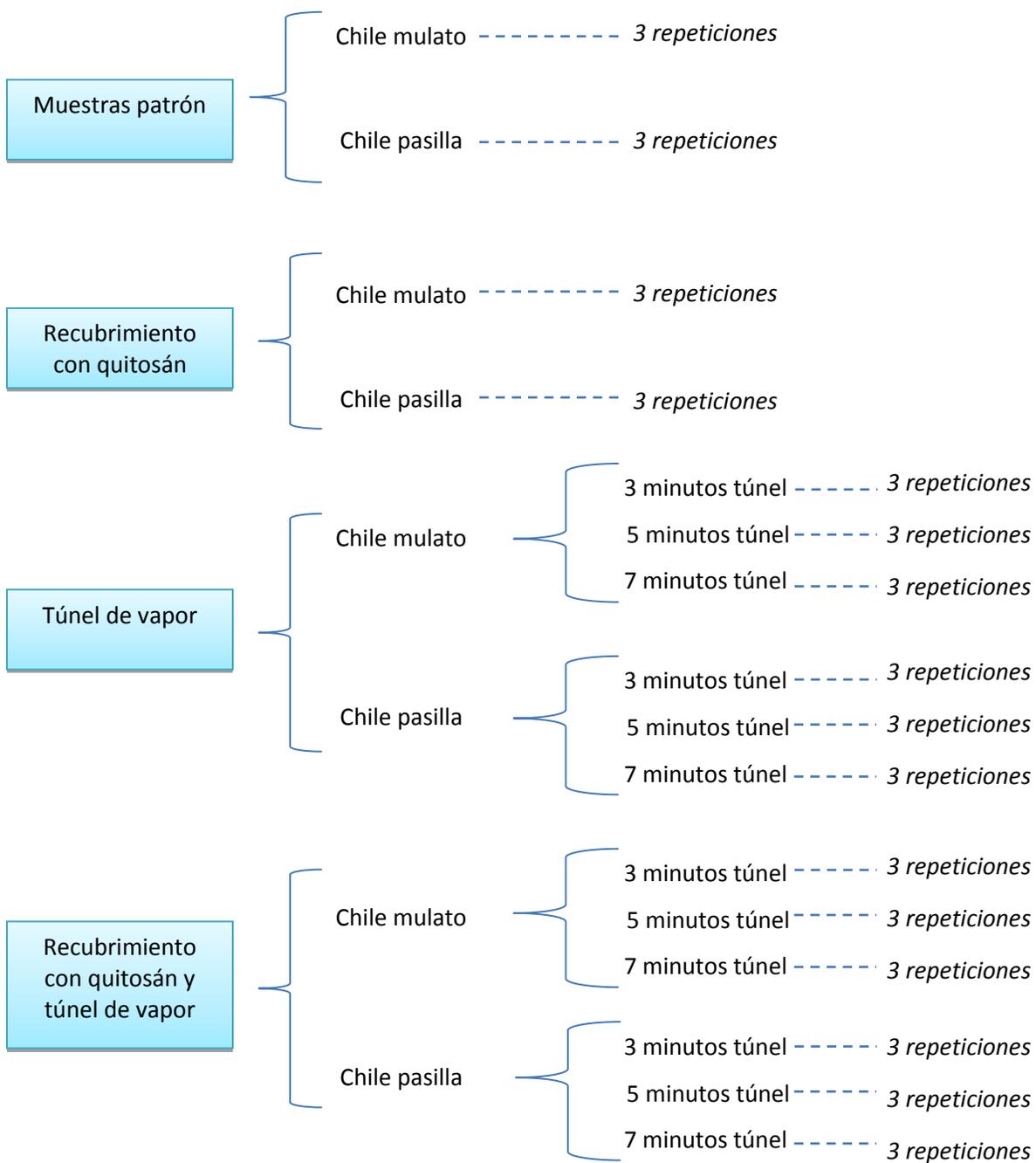
Grafico 7.-Perdida de humedad-%H Vs tiempo-chile pasilla



En relación al gráfico 7, se puede observar el secado en chile pasilla que previamente fueron sometidas a tratamiento térmico en túnel de vapor con inyección directa con tiempo de permanencia de 3, 5 y 7 minutos, se obtuvo una humedad final de 11%, 9.5% y 11.5% respectivamente, después de un periodo de 2.7 horas de secado. Al igual que en secado de chile mulato las medidas y pesos de los chiles son muy variados, por lo tanto la masa antes del secado no fue la misma en cada tiempo de permanencia. Se observa que de acuerdo a la norma NMX-FF-107-1-SCFI-2006 en la (página 67) tabla 13 que muestra en porcentaje de humedad máxima permitida, se encuentra por debajo del límite por lo que el producto cumple conforme a norma de acuerdo a esta característica. En esta variedad de chile hubo más absorción de humedad, que pudo deberse a que el contenido de azúcar es mayor y lo hace más higroscópico.

### 3.2. Objetivos particulares

Tratamiento y análisis de resultados: Reducción de carga fúngica, Se realizaron un total de 48 eventos, aplicando tres tratamientos, en el primero solo se colocó un recubrimiento con quitosán, el segundo fue el tratamiento térmico en un túnel de vapor con inyección directa, y por último la mezcla de los tratamientos antes mencionados; se realizaron a las dos variedades de chiles secos, como se puede observar en el siguiente diagrama.



Los chiles secos que se utilizaron se seleccionaron de forma aleatoria, se verificó que cada uno de los chiles secos que se utilizó no presentaran defectos físicos mayores como grietas, fractura o rasgadura, para evitar alteraciones que influyeran en los resultados.

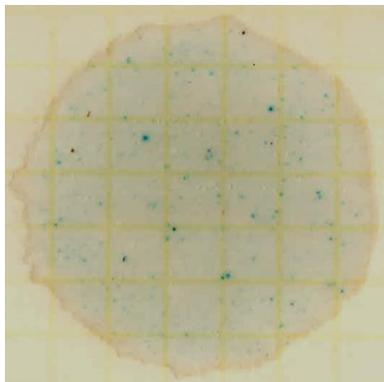
Se evaluó la carga fúngica inicial presente en los chiles secos mencionados para tomarlos como muestra control, y tener referencia para poder compararlos con los tratamientos que fueron aplicados y observar si existía una disminución en la carga fúngica.

Para el recuento de mohos y levaduras durante todas las pruebas microbiológicas, fue importante observar los cultivos durante todo el período de incubación ya que durante las primeras 24 horas si se observaba un cambio de coloración en la placa 3M Petrifilm, era debido a que estas cuentan con un indicador de fosfatasa, y ya que algunos alimentos ya sean crudos o procesados contienen fosfatasa se produce la reacción, causando un cambio de color azul en el gel de la placa, se puede observar dos tipos de reacciones un color uniforme azul al fondo o puntos de color azul intenso, si esto sucedía, se realizaba nuevamente el cultivo, homogenizando mejor la muestra permitiendo que las partículas se sedimentaran y tomando la muestra en la parte superior de la bolsa.

Tabla 18.-Resultados de carga fúngica en chile mulato y pasilla

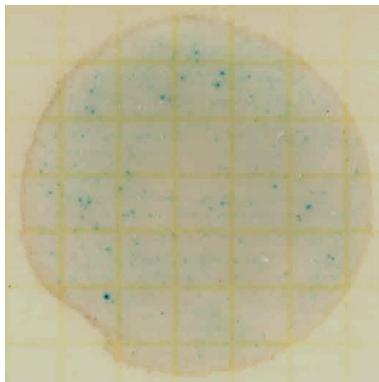
**CHILE MULATO**

Repetición 1



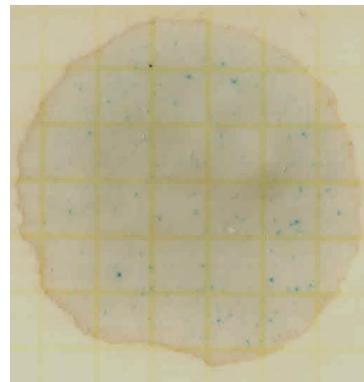
LEVADURA: 990 UFC/g  
MOHOS: 50 UFC/g  
TOTAL: 1040 UFC/g

Repetición 2



LEVADURA: 860 UFC/g  
MOHOS: 20 UFC/g  
TOTAL: 880 UFC/g

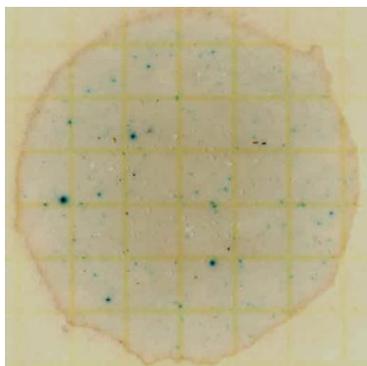
Repetición 3



LEVADURA: 850 UFC/g  
MOHOS: 10 UFC/g  
TOTAL: 860 UFC/g

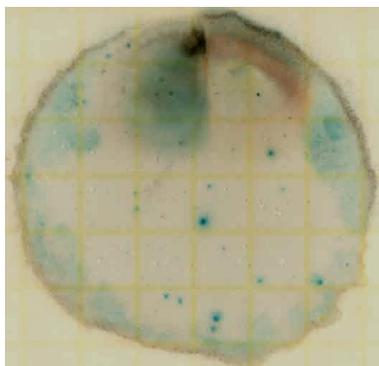
**CHILE PASILLA**

Repetición 1



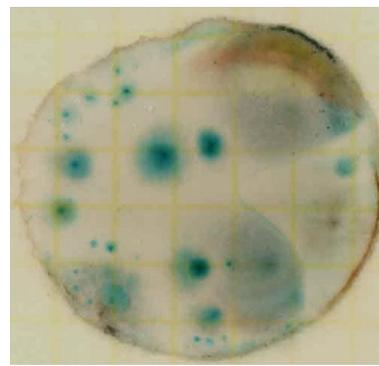
LEVADURA: 360 UFC/g  
MOHOS: 30 UFC/g  
TOTAL: 390 UFC/g

Repetición 2



LEVADURA: 250 UFC/g  
MOHOS: 110 UFC/g  
TOTAL: 360 UFC/g

Repetición 3



LEVADURA: 210 UFC/g  
MOHOS: 180 UFC/g  
TOTAL: 390 UFC/g

Como se puede observar en chile pasilla presenta menor carga fúngica total, pero contiene mayor número de mohos y menor número de levaduras, lo que puede deberse a la contaminación inicial de la planta o por diversos factores durante el proceso; el chile mulato contienen un número más elevado de carga fúngica total, y también presenta una mayor contaminación por levaduras, lo cual puede ser por el proceso de operación ya que el secado de este producto se realiza de forma

tradicional es decir se realiza el secado al sol ,o a las condiciones de la tierra donde se siembra el producto.

Lo que es aceptable ya que diversos autores han llevado a cabo estudios de la presencia de hongos en chile pasilla, se han encontrado hongos que causan enfermedades de poscosecha, se han mencionado algunos como *Alternaria alternata*, *Colletotrichumnigrum*, *Phytophthoracapsici* y *Rhizopus spp.*(Acosta & Gómez, 2004).

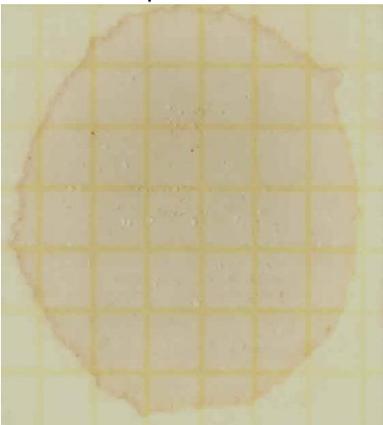
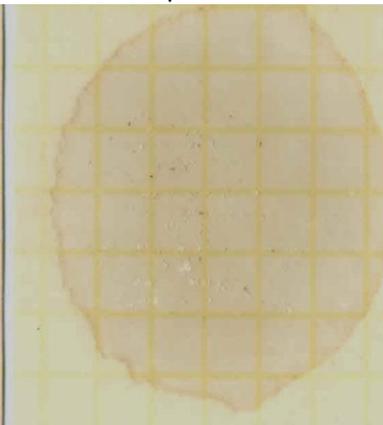
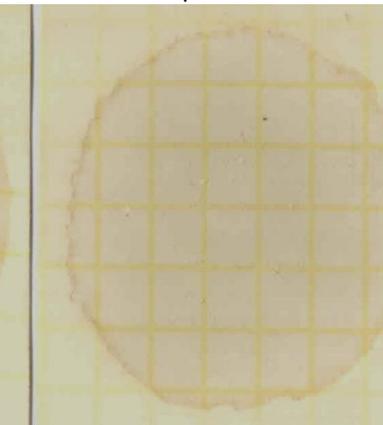
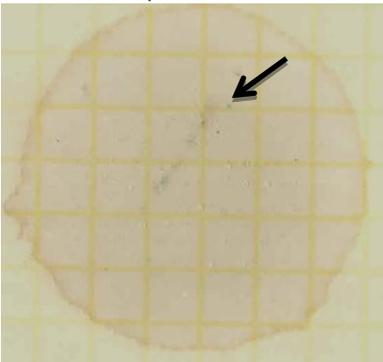
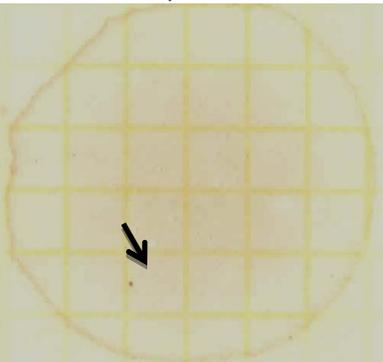
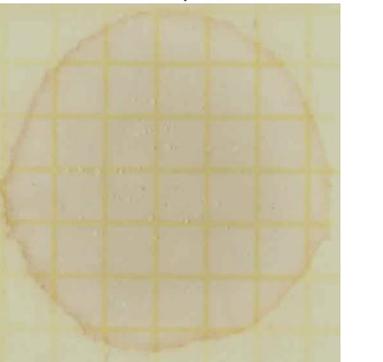
Un estudio llevado a cabo en el norte de México realizado por (García *et al.*, 1997), reveló que después de 4 días a 20°C los frutos de diferentes variedades e híbridos de chile mostraban daños que fluctuaban entre 74 y 80%; además, en los frutos dañados se identificaron los hongos *Cladosporium spp*, *Alternaria spp*, *Fusarium spp*, *Rhizopus spp*, así como la bacteria *Erwinia spp*.

### **3.2.1. Evaluación del efecto de recubrimiento de quitosán en chiles secos (mulato y pasilla), en la reducción de carga fúngica.**

El quitosán ha sido ampliamente utilizado en investigaciones en diversas aplicaciones, una de ellas como inhibidor de crecimiento de hongos, esta vez se utiliza como un recubrimiento que cubre a toda la superficie del chiles seco, desde la punta del chile seco hasta el pedúnculo, se usó una concentración de quitosán al 1% disuelto en solución de ácido acético glacial (CH<sub>2</sub> COOH) a una concentración de 1%,se preparó a temperatura ambiente y con agitación hasta que las hojuelas de quitosán se disolvieran por completo. Se colocó la solución de quitosán en un recipiente amplio y profundo y se procedió a realizar el recubrimiento por inmersión de la variedad de chile en tratamiento, posteriormente se dejó escurrir de forma vertical durante quince minutos, se secaron a temperatura ambiente, después se colocaron en bolsas herméticas para realizar subsiguientemente su prueba de análisis microbiológico de mohos y levaduras.

De acuerdo a la metodología planteada se realizaron los análisis microbiológicos con kits de la marca 3M con placas Petrifilm para Recuento de Mohos y Levaduras (Yeast & Molds YM), obteniendo un total de 6 placas, tomando en cuenta las consideraciones planteadas en los cultivos realizado en el chile seco sin tratamiento. A continuación se presentan los resultados del conteo de las placas 3M en las dos variedades de chile seco con el recubrimiento de quitosán.

Tabla 19.-Conteo fúngico de chiles secos con recubrimiento de quitosán

<b>CHILE MULATO</b>		
Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
		
LEVADURA: 0 UFC/g MOHOS: 0 UFC/g TOTAL: 0 UFC/g	LEVADURA: 0 UFC/g MOHOS: 0 UFC/g TOTAL: 0 UFC/g	LEVADURA: 0 UFC/g MOHOS: 0 UFC/g TOTAL: 0 UFC/g
<b>CHILE PASILLA</b>		
Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
		
LEVADURA: 10 UFC/g MOHOS: 0 UFC/g TOTAL: 10 UFC/g	LEVADURA: 10 UFC/g MOHOS: 0 UFC/g TOTAL: 10 UFC/g	LEVADURA: 0 UFC/g MOHOS: 0 UFC/g TOTAL: 0 UFC/g

Con este tratamiento de forma efectiva se logró eliminar la carga fúngica en chile mulato y para el chile pasilla solo hay presencia de levadura en dos repeticiones y en la tercera repetición no hubo presencia de hongos.

Se observa que con este tratamiento en las dos variedades de chile seco se reduce significativamente y algunos casos se eliminan completamente la presencia de mohos y levaduras; se muestra que el tratamiento es efectivo en chile mulato y pasilla; esta acción inhibidora de hongos al aplicar el recubrimiento de quitosán ha sido estudiada por diversos autores; en un estudio sobre el efecto del quitosán como cubriente de granos de maíz como antifúngico en hongos de campo y almacén in vitro (Covarrubias & Hidalgo, 2006) donde aplicaron una cubierta en el grano de maíz obteniendo que los pesos moleculares bajo y medio, fueron los que

presentaron una mayor actividad antifúngica para controlar a las especies *aspergillus*, *Fusarium* y *Helminthosporium*, de acuerdo al resultado de peso molecular obtenido de 146.727439 K Da que se observa en (página 72); el peso molecular del quitosán aplicado durante esta experimentación se clasifica como de peso medio.

Otro estudio donde se comprueba el efecto antifúngico en el quitosán es el realizado por (Rojas, 2007), donde realizó la evaluación del quitosán sobre hongos patógenos que afectan la vida poscosecha del jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), obteniendo un efecto fungicida en los mohos *Phytophthora infestans* y *Fusarium culmorum*, también la concentración de quitosán al 1% presentaron un efecto fungicida frente a las cepas identificadas como *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans* y *Fusarium culmorum* mientras que con las cepas *Rhizopus stolonifer* y *Botrytis cinerea*, presentaron un efecto fungistático.

### 3.2.2. Evaluar el efecto de un túnel de vapor con inyección directa en chiles secos (mulato y pasilla), en la disminución de la carga fúngica.

En este objetivo se aplicó un tratamiento térmico usando un túnel de vapor con inyección directa, presión de 7.5 psi  $\pm$  0.5 se establecieron los tiempos de permanencia en el túnel de 3, 5 y 7 minutos y posteriormente los chiles se secaron a una temperatura de 70°C  $\pm$  3 en un secador de charolas obteniendo un total de 18 experimentos.

Se evaluó la carga fúngica según la metodología planteada, obteniendo los siguientes resultados, para los tres tiempos de permanencia en el túnel de vapor de inyección directa.

Tabla 20.-Resultados de carga fúngica en chiles secos después de tratamiento térmico.

REPETICIÓN	Variedad de chile	EXPERIMENTO	LEVADURAS UFC/g	MOHOS UFC/g	TOTAL C.F. UFC/g
1	Mulato	T. Térmico 3 minutos	60	0	60
2	Mulato	T. Térmico 3 minutos	30	0	30
3	Mulato	T. Térmico 3 minutos	40	0	40
1	Mulato	T. Térmico 5 minutos	0	1	10
2	Mulato	T. Térmico 5 minutos	0	0	0
3	Mulato	T. Térmico 5 minutos	0	0	0
1	Mulato	T. Térmico 7 minutos	0	0	0
2	Mulato	T. Térmico 7 minutos	0	0	0
3	Mulato	T. Térmico 7 minutos	0	0	0
1	Pasilla	T. Térmico 3 minutos	10	0	10
2	Pasilla	T. Térmico 3 minutos	0	1	10
3	Pasilla	T. Térmico 3 minutos	0	0	0
1	Pasilla	T. Térmico 5 minutos	10	0	10
2	Pasilla	T. Térmico 5 minutos	0	0	0
3	Pasilla	T. Térmico 5 minutos	0	0	0
1	Pasilla	T. Térmico 7 minutos	0	0	0
2	Pasilla	T. Térmico 7 minutos	0	0	0
3	Pasilla	T. Térmico 7 minutos	0	0	0

Los resultados se presentan en la tabla 20, se observa que en los experimentos del tratamiento térmico del túnel de vapor con inyección indirecta, se logra disminuir ampliamente la carga fúngica en las dos variedades de chile en comparación con los resultados de la prueba microbiológica de las muestras patrón que se observan en la tabla número 18.

Para el chile mulato en el tiempo de permanencia de tres minutos existe una carga fúngica mínima en las tres repeticiones con un recuento total de 60,30 y 40 UFC, todas por la presencia de levaduras únicamente, por lo que si se usara este tratamiento en la industria sería efectivo ya que de acuerdo a la norma NMX-FF-107-1-SCFI-2006 establece dentro de tolerancia de impurezas que debe estar exento de hongos, llamados en nuestro conteo como mohos de acuerdo a los análisis microbiológicos de los kits de la marca 3M con placas Petrifilm; en el caso de tiempo de permanencia de cinco minutos para las tres repeticiones se obtuvo un recuento total de 10,0,0 UFC respectivamente, en un sentido muy estricto este tratamiento tampoco sería efectivo ya que se presenta 10 UFC de mohos en una repetición y de acuerdo a la norma antes mencionada debe estar exento; pero algunas veces en análisis microbiológicos cuando un resultado es igual o menor a 10 UFC se desprecia, según el criterio empleado; para el último nivel de variación de 7 minutos de permanencia se elimina completamente la presencia de levaduras y mohos, por lo que es efectivo de acuerdo y cumple con la norma NMX-FF-107-1-SCFI-2006, ya que se encuentra exento de hongos.

Para el chile pasilla se observa que su comportamiento es similar, ya que en el tiempo de permanencia de tres minutos hay recuento total de 10,10 y 0 UFC respectivamente, en la primera muestra la contaminación es por levaduras y en la segunda la presencia es de mohos, según la norma NMX-FF-107-1-SCFI-2006 no es apto ya que debe estar exento de hongos llamados aquí como mohos; y para un tiempo de 5 minutos fue de 10, 0, 0. siendo por presencia de levaduras por lo que cumple con la norma NMX-FF-107-1-SCFI-2006; para el nivel de variación de 7 minutos se elimina completamente la presencia de levaduras y mohos, por lo que es efectivo de acuerdo a la norma NMX-FF-107-1-SCFI-2006.

### **3.2.3. Evaluar la aplicación de recubrimiento de quitosán y túnel de vapor con inyección directa en chiles secos (mulato y pasilla) en la disminución de la carga fúngica.**

En este trabajo el principal objetivo es la reducción de carga fúngica y una combinación de este tipo puede traer resultados favorables, primero se aplicó el tratamiento térmico, una presión de

7.5 psi  $\pm$  0.5 en el túnel de vapor posteriormente los chiles se secan a una temperatura de 70°C  $\pm$ 3, posteriormente se aplica el recubrimiento y se deja secar a temperatura ambiente.

A continuación se presentan los resultados de los análisis microbiológicos con kits de la marca 3M con placas Petrifilm para Recuento de Mohos y Levaduras (Yeast & Molds YM)

**Tabla 21.-Resultados de carga fúngica en chiles secos después de tratamiento térmico y recubrimiento con quitosán**

REPETICIÓN	Variedad de chile	EXPERIMENTO	LEVADURAS UFC/g	MOHOS UFC/g	TOTAL C.F. UFC/g
1	Mulato	recubrimiento con Q. y Tt.3 Minutos	0	10	10
2	Mulato	recubrimiento con Q. y Tt.3 Minutos	10	10	20
3	Mulato	recubrimiento con Q. y Tt.3 Minutos	0	0	0
1	Mulato	recubrimiento con Q. y Tt.5 Minutos	0	0	0
2	Mulato	recubrimiento con Q. y Tt.5 Minutos	10	0	10
3	Mulato	recubrimiento con Q. y Tt.5 Minutos	0	0	0
1	Mulato	recubrimiento con Q. y Tt.7 Minutos	0	0	0
2	Mulato	recubrimiento con Q. y Tt.7 Minutos	0	0	0
3	Mulato	recubrimiento con Q. y Tt.7 Minutos	0	0	0
1	Pasilla	recubrimiento con Q. y Tt.3 Minutos	0	0	0
2	Pasilla	recubrimiento con Q. y Tt.3 Minutos	0	0	0
3	Pasilla	recubrimiento con Q. y Tt.3 Minutos	0	0	0
1	Pasilla	recubrimiento con Q. y Tt.5 Minutos	0	0	0
2	Pasilla	recubrimiento con Q. y Tt.5 Minutos	0	0	0
3	Pasilla	recubrimiento con Q. y Tt.5 Minutos	0	0	0
1	Pasilla	recubrimiento con Q. y Tt.7 Minutos	0	0	0
2	Pasilla	recubrimiento con Q. y Tt.7 Minutos	0	0	0
3	Pasilla	recubrimiento con Q. y Tt.7 Minutos	0	0	0

En esta actividad donde se aplicó la mezcla de los dos tratamientos antes mencionados se observa que en la mayoría fueron efectivos ya que en la variedad de chile mulato en el experimento de tratamiento de recubrimiento con quitosán y tratamiento térmico en túnel de vapor variando el tiempo de permanencia, durante tres minutos en la primera repetición se obtuvo un recuento de 10 UFC de mohos, y en la repetición número dos 20 UFC siendo 10 por levaduras y 10 por mohos, este tratamiento no sería efectivo, ya que de acuerdo a la tolerancia de impurezas de la norma antes mencionada es nula. En un tiempo de permanencia de 5 minutos en la muestra número dos hubo conteo de 10 UFC de levaduras, y para los experimentos restante en la variedad de chile mulato hubo nulo crecimiento de levaduras y mohos. Por lo tanto para los experimentos con recubrimiento y túnel de vapor con tiempo de permanencia de 5 minutos y 7 es efectivo.

En los experimentos en chile pasilla de tratamiento de recubrimiento con quitosán y tratamiento térmico en túnel de vapor con un tiempo de permanencia de tres, cinco y siete no hubo recuento

positivo de presencia de levaduras y mohos, por lo que este tratamiento es seguro, y logra un producto exento de carga fúngica.

Comparando la variedad de chile seco se observa que en el chile pasilla se reduce más la carga fúngica total, lo que se debe a que en el chile mulato hay mayor presencia de esta y en el chile pasilla es menor el conteo fúngico que se observa en los controles, pero se presentan un número mayor mohos en el chile pasilla lo que puede deberse principalmente a la carga del fruto y al elevado número de azúcares presentes en esta variedad de chile.

### 3.3. Análisis estadístico ANOVA

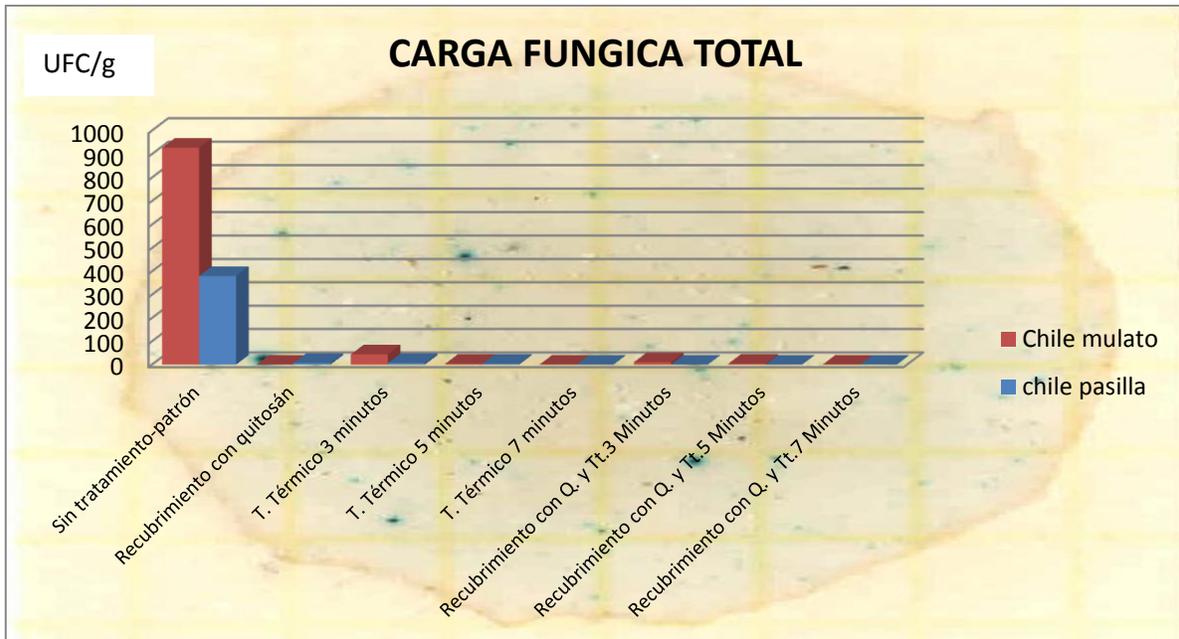
Los datos obtenidos de carga fúngica total fueron tratados mediante un análisis de varianza utilizando un intervalo de mínima diferencia significativa (ISD) 5% y comparación de medias usando Tukey-Kramer HSD, con el software JMP 5.0.1 como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 22.-Resultados de análisis de varianza**

Variedad de chile	Tratamiento	Medias	P	Niveles de significancia
Mulato	Sin tratamiento-patrón	926.667	<.0001	A
	Recubrimiento con quitosán	0.0000		B
	T. Térmico 3 minutos	43.333		B
	T. Térmico 5 minutos	3.333		B
	T. Térmico 7 minutos	0.0000		B
	Recubrimiento con Q. y Tt.3 Minutos	10.000		B
	Recubrimiento con Q. y Tt.5 Minutos	3.333		B
	Recubrimiento con Q. y Tt.7 Minutos	0.0000		B
Pasilla	Sin tratamiento-patrón	380.000	<.0001	A
	Recubrimiento con quitosán	6.667		B
	T. Térmico 3 minutos	6.667		B
	T. Térmico 5 minutos	3.333		B
	T. Térmico 7 minutos	0.0000		B
	Recubrimiento con Q. y Tt.3 Minutos	0.0000		B
	Recubrimiento con Q. y Tt.5 Minutos	0.0000		B
	Recubrimiento con Q. y Tt.7 Minutos	0.0000		B

A continuación se presenta un gráfico comparando la media de los tratamientos y el chile mulato y pasilla sin tratamiento, también llamado control.

Gráfico 8.-Medias de carga fúngica en chile pasilla y mulato



En el gráfico 8 la primera columna corresponde al chile mulato y pasilla llamados control, es decir aquellos que no tuvieron un tratamiento, se observa que la carga fúngica total se reduce en gran cantidad con todos los tratamientos que se aplicaron. A continuación se presenta un gráfico comparando la media de los tratamientos para chile mulato y pasilla.

Gráfico 9.-Resultado de medias de carga fúngica en chile pasilla y mulato en diferentes tratamientos.



Como se observa en el gráfico 8 todos los tratamientos aplicados disminuyeron la carga fúngica, comparándola con la carga inicial del chile seco sin tratamiento, el chile mulato sin tratamiento presenta una media de carga fúngica de 926.66 y el pasilla de 380 se observa que en tratamiento térmico de 3 minutos, recubrimiento con quitosán y tratamiento de térmico de 3 minutos, y recubrimiento con quitosán y tratamiento térmico de 5 minutos presentan mayor carga fúngica en el chile mulato debido a que también la carga inicial de esta variedad es más alta.

Al observar el análisis de varianza utilizando un intervalo de mínima diferencia significativa (ISD) 5%, nos da un 95 % de seguridad, al existir una diferencia significativa quiere decir que existe diferencia entre las medias, es decir el tratamiento fue efectivo ya que logró la disminución de carga fúngica significativamente.

Se realizó un análisis para cada variedad de chile en función de su carga fúngica como análisis independiente, para después analizarlos por variedad.

En chile mulato se obtuvo un valor de p menor a .05, nos dice que es significativo, por lo que se realizó una comparación de las medias de los diferentes tratamientos, conocida como pruebas a posteriori, utilizando Tuckey que nos permite referir un valor de medias con otro, se obtuvieron dos niveles A y B como se muestra en la tabla 22, lo que quiere decir que no hay diferencia estadística significativa entre los tratamientos, es decir que todos los tratamientos fueron efectivos y por lo tanto podríamos utilizar cualquiera con un 95% de confianza.

En chile pasilla se obtuvo un valor de p menor a .05 por lo tanto es significativo, se realizó la comparación de las medias Tuckey, obteniendo solo dos niveles A y B como se muestra en la tabla 25, nos dice que no hay diferencia estadística significativa entre los tratamientos, es decir que todos los tratamientos fueron efectivos y por lo tanto podríamos utilizar cualquiera con un 95% de confianza.

Al comprar las dos variedades de chile, en función de la carga fúngica se obtuvo un valor mayor a 0.05 por lo que no hay diferencia significativa, ya que el comportamiento entre las dos variedades de chiles no es significativamente diferente.

Un tratamiento ideal es cualquiera en los que no hay crecimiento fúngico, pero según el análisis estadístico podríamos utilizar cualquiera ya que todos son efectivos, o dependiendo del nivel de calidad aceptable (NCA), para conocer cual elegir se realizó un análisis financiero que nos permita saber cuál es el de menor costo, que elimine la carga fúngica y por lo tanto sea el más adquirible.

### 3.4. Análisis financiero

#### Evaluación financiera del proyecto

Aplicando los diferentes tratamientos antes descritos se pretende resolver la problemática de alta contaminación por hongos, en las dos variedades de chiles secos, mulato y pasilla, siendo esta una de las principales problemáticas, ya que no cumple con las normas nacionales e internacionales que marcan que el producto debe estar exento de contaminación fúngica, siendo la principal limitante para poder exportar los chiles secos o productos procesados.

Durante este proyecto se usaron dos alternativas un tratamiento térmico en un túnel de vapor, un recubrimiento con quitosán y la mezcla de ambos, obteniendo un total de 14 opciones para lograr disminuir su carga fúngica. Todas las actividades lograron su objetivo disminuir su carga fúngica, para tomar una elección es muy importante los costos que ocasiona, por lo que se presenta un análisis de costos referente a la producción del tratamiento.

Para realizar nuestro análisis financiero solo se tomó en cuenta el costo de producción, ya que los demás costos dependen directamente de la cantidad de producción y organización empresarial. Suponiendo una producción de 1,500 Kg por turno y de 240 días laborados al año con un turno de 8 horas.

Precio de quitosán de la marca Qingdao Greentech Biochemicals Trading Co., Ltd: \$ 373.23 Kg.

1 litro de solución de quitosán al 1%

\$ Rendimiento de quitosán en chile mulato: 3.03 L/Kg

\$ Rendimiento de quitosán en chile pasilla: 1.04 L/Kg

**Tabla 23.-Gastos para producción de recubrimiento de quitosán**

	MULATO	PASILLA
☛ Costo real del equipo con IVA	\$ 325472.80	
☛ Depreciación de equipo	\$ 0.090409111	
☛ Mantenimiento de equipo	\$ 0.014465458	
☛ Servicios	\$ 5.033066667	
☛ Costo recubrimiento de quitosán por kilogramo	1.232079208	3.589615385
<b>☛ Costo Total por kilogramo</b>	<b>6.370020443</b>	<b>8.72755662</b>

**Tabla 24.-Gastos para producción de tratamiento térmico en túnel de vapor para las dos variedades de chile.**

☛ Costo real del equipo con IVA	\$ 2066522.60
☛ Depreciación de equipo	\$ 0.574034056
☛ Mantenimiento de equipo	\$ 0.091845449
☛ Servicios	\$ 9.813866667
<b>☛ Costo Total por kilogramo</b>	<b>\$ 10.47974617</b>

Costos de los gastos para para el recubrimiento de quitosán y tratamiento térmico en túnel de vapor

- ☛ Costo total de producción chile mulato=16.84974617
- ☛ Costo total de producción chile pasilla= 19.19974617

#### **4. Conclusiones**

La carga fúngica en los chiles secos depende fundamentalmente de la contaminación inicial proveniente del material fresco, del método de deshidratación y de las condiciones operativas empleadas. Al usar los tratamientos antes descritos se logró una amplia disminución en comparación al chile seco sin tratamiento, llamados control.

El recubrimiento con quitosán es una alternativa ya que en chile mulato eliminó completamente la presencia de levaduras y mohos, mientras que en chile pasilla no hubo conteo de mohos pero si la presencia mínima de levaduras, por lo que el recubrimiento de quitosán a concentración de 1% redujo significativamente la carga fúngica total. La variación en la cuenta microbiana en las repeticiones de debe a la diversidad de hongos que se pueden encontrar en los chiles secos y las diferentes reacciones que pueden presentar.

Para el tratamiento térmico en túnel de vapor de inyección directa, para chile mulato, con el mínimo tiempo de permanencia hubo presencia de levaduras pero no de mohos; para el tiempo medio no hubo conteo de levaduras pero si conteo mínimo de mohos; para el tiempo máximo se eliminó completamente la carga fúngica. En chile pasilla el mínimo tiempo de permanencia hubo mínima presencia de mohos; para el tiempo medio hubo conteo mínimo de levaduras y para el máximo se eliminó la carga fúngica total.

La mezcla de los 2 tratamientos antes descritos; en chile mulato con recubrimiento de quitosán y tiempo de 3 minutos hubo conteo de mohos, para 5 minutos existió un conteo mínimo de levaduras y para 7 minutos se eliminó completamente la carga fúngica; para chile pasilla no tuvo conteo fúngico en ninguno de sus niveles de variación. Esto se debe principalmente a que la carga fúngica inicial es más elevada en el chile mulato, como se muestra en las pruebas control realizadas.

De acuerdo a la norma NMX-FF-107/1-SCFI-2006 productos alimenticios – chiles secos enteros (guajillo, ancho, mulato, de árbol, puya y pasilla) – parte 1 – debe estar exento de hongos por lo que de acuerdo a los resultados obtenidos, para lograr esta característica puede utilizarse el recubrimiento quitosán en las dos variedades de chiles, tratamiento térmico de tiempo de

permanencia de 5 minutos y 7; en chile mulato con recubrimiento de quitosán y tratamiento térmico con tiempo de 5 y 7 minutos; en chile pasilla la mezcla de los tratamientos en cualquier de los niveles de variación usados.

En este trabajo se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos usados y el control, pero no es significativo entre los tratamientos empleados para reducir la carga fúngica, ya que los conteos encontrados son mínimos, estadísticamente podríamos usar cualquier tratamiento siempre y cuando se utilice un criterio de nivel de calidad aceptable (NCA) del 95%, o se acuerde con el negociante ese juicio.

Para elegir que tratamiento a usar, el análisis financiero nos muestra que es más barato y efectivo usar recubrimiento con quitosán en cualquiera de las dos variedades de chiles, ya que el costo de implementarlo en chile mulato representa solo el 60% comparado con el gasto que se realizaría en el tratamiento térmico, y en chile pasilla representa un 83%. El uso de la mezcla de ambos tratamientos presenta un gasto innecesario ya que aplicando solo uno se logra eliminar hasta del 100% la presencia de hongos.

## 5. Referencias consultadas

### 5.1. Referencia electrónica

1. CODEX (2012). **Código de alimentación**, compilación de todas las normas, Códigos de Comportamientos, Directrices y Recomendaciones de la Comisión del Codex Alimentarius consultada el 26 septiembre 2012. Disponible: <http://www.codexalimentarius.net/pestres/data/commodities/details.html?id=317>
2. CONAPROH A. C. (2011). PLAN RECTOR COMITÉ NACIONAL SISTEMA PRODUCTO CHILE 2012. Consultado el 25 de Septiembre de 2012 de la World Wide Web: [http://www.conaproch.org.mx/descargas/PLAN\\_RECTOR\\_2012.pdf](http://www.conaproch.org.mx/descargas/PLAN_RECTOR_2012.pdf)
3. El rincón del tomate. (2009) consultada 24 de Septiembre de 2012, rincón dedicado al tomate, 2009 disponible en: <http://www.el-tomate.net/chile.html>
4. Esquivel Lourdes (2007). Picante rentabilidad. Consultada el día 29 de Septiembre 2012. Disponible: <http://www.soyentrepreneur.com/picante-rentabilidad.html>
5. FAO (2012) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Consultada el día 26 de Septiembre 2012. Disponible: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/JMPR/Evaluation07/Driedchilli.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Evaluation07/Driedchilli.pdf)
6. FAOSTAT [2012] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Consultada el día 26 de Septiembre 2012. Disponible:
  - a. <http://www.fao.org/corp/statistics/es/>
  - b. <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=es>
  - c. [http://faostat3.fao.org/home/index.html#VISUALIZE\\_BY\\_DOMAIN](http://faostat3.fao.org/home/index.html#VISUALIZE_BY_DOMAIN)
7. Fazla Uribe (20 de septiembre, 2012). Chile seco: retos y oportunidades en el mercado [online]. Consultado el día 06 de Noviembre de 2012. Disponible: <http://www.hortalizas.com/articulo/31054/chile-seco-retos-y-oportunidades-en-el-mercado>
8. Fuente: CD Composición Química de los alimentos. Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. 1999. SBN-968-6499 253.1 1<sup>ra</sup> Edición.
9. HAPPY FLOWER. (2012). Guía y productos para el jardín. [Homepage]. Consultada el día 25 de Septiembre de 2012, de la World Wide Web: <http://www.happyflower.com.mx/Sobres/CHILES/Chile%20Pasilla.htm>

10. ITESCAM Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche, México (2013). Tratamiento térmico en alimento disponible en:  
<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r14174.DOC>
11. Long Towell Janet (2012). Los senderos prehispánicos del capsicum. Consultado el 24 de Septiembre de 2012 de la World Wide Web disponible:  
<http://www.historicas.unam.mx/publicaciones/publicadigital/libros/caminosymercados/cm006.pdf>
12. Ohauscorporation (2010). [Homepage]. Consultada 6 Enero de 2013, disponible:  
[http://www.ohaus.com.mx/mb\\_35.htm](http://www.ohaus.com.mx/mb_35.htm)
13. Ramírez Jacinta (2012). El chile. Consultado el 24 de Septiembre de 2012 de la World Wide Web disponible: <http://www.maph49.galeon.com/biodiv2/chile.html>
14. UDLAP Colección de Tesis digitales Universidad de las Américas Puebla (2005). Revisión bibliográfica del chile. Consultado el 24 de Septiembre de 2012 de la World Wide Web disponible: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/meiq/celis\\_c\\_a/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meiq/celis_c_a/capitulo4.pdf)
15. Votano Joseph R. (2004). Chemistry & biodiversity. En Wiley online library [online]. Consultado el día 30 de Septiembre de 2012 Disponible  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract.pdf>

## 5.2. Referencia bibliográfica

- 1.- A.A.P.P.A Academia del Área de Plantas Piloto de Alimentos (2004). Introducción a la tecnología de alimentos. México, D.F. Limusa.
- 2.-Acosta Ramos, M., & Gomez Jaimes, R. (2004). control químico de los principales patógenos (*Capsicum annum* L.) en poscosecha. sociedad Mexicana de Fitopatología.
- 2.-Ainsworth, G. (1976). Introduction to the History of Mycology. Cambridge University Press.
- 3.-Andrews, J. (1995). The domestical Capsicums. Texas: University of Texas Press.
- 4.-AOAC Official Method 997.02. Yeast and Mold Counts in Foods. Dry Rehydratable Film Method (Petrifilm™ Method). First Action 1997
- 5.-Bautista Baños, S., & Hernández Lauzardo H. N., V. d. (2005). Quitosano: Una alternativa natural para reducir microorganismos postcosecha y mantener la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. Revista Iberoamericana de tecnología poscosecha, 1-6.
- 6.-Bello G. J. (2005). Calidad de vida, Alimentos y Salud Humana: Fundamentos científicos. Ediciones Díaz de Santos, España.
- 7.-Benhamou, N. (1992). Ultrastructural and cytochemical aspects of chitosan on *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, agent of tomato crown and root rot. *Phytopathology*, 1185-1193.
- 8.-Billene A., R. (1999). Analisis de costos. Mendoza Argentina: Ediciones jurídicas cuyo.
- 9.-Bosland, P. (1996). Capsicums: Innovative uses of an ancient crop. En: Progress in new crops. . Arlington: ASHS Press.
- 10.-Bravo Lozano, A., Galindo González, G., & Amador Ramírez, M. D. (2006). Tecnología de Producción de Chile seco. Zacatecas: Inifap.
- 11.-Bustamante, G. (1990). Enseñanza en tecnología de semillas. In III Simposio mexicano sobre semillas agrícolas. Sociedad Mexicana de Citogenética, A. C. . SOMEFI.
- 12.-Carrillo, L. (2003). Microbiología Agrícola. Editorial Universidad de Salta.
- 13.-Carrillo Leonor y Audisio Catarina M. (2007). Manual de microbiología de los alimentos. Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNJU, SS Jujuy, Argentina

- 14.-Chávez S. J. (2007). Fundamentos genéticos y socioeconómicos para analizar la agrobiodiversidad, Editores R. Sevilla-Panizo, España.
- 15.-Covarrubias C. G.; Hidalgo H. M. (2006). Evaluación del efecto del quitosán en la mortalidad, la oviposición y emergencia de *Sitophilus zeamais* y como antifúngico en hongos de campo y almacén *in vitro*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 16.-El-Ghaouth, A., & J. Arul, J. G. (1992). Effect of chitosan and other polyions on chitin deacetylase in *Rhizopus* Experimental Mycology . Mycological Research, 173-177.
- 17.-Fernando, R. V., Homero, S. G., Luis, G. D., Efraín, A. D., Gabriel, B. L., Jaime, M. C., Guadalupe, E. C. (2004). Cadenas de sistemas agroalimentarios de chile seco, durazno y frijol en el estado de zacatecas. Zacatecas: Inifap.
- 18.-Fito Maupoey Pedro, A. G. (2001). Introducción al secado de alimentos. Valencia: Editorial de la UPV España.
- 19.-Flores Vega, M. (2009). Identificación de la microflora micótica y cuantificación de aflatoxinas en 4 variedades de chiles secos de segunda calidad. México: Tesis UNAM.
- 20.-Galindo, G. (1994). Medios de comunicación y los productores de la región central de Zacatecas. Zacatecas: Turrialba.
- 21.-García, R.; R. Allende; M. Urquiza; J. Siller y S. Trujillo. 1997. Patógenos postcosecha en híbridos de chile Bell cultivados en el Valle de Culiacán, Sinaloa. Memorias. XXIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Resumen 24.
- 22.-Gerard J, T., & Berdell R. Funke, C. L. (2007). Introducción a la microbiología. Buenos Aires: Medica Panamericana.
- 23.-Gholamipour Fard, K. K. (2010). Effect of chitosan coating on weight loss and postharvest quality of green pepper (*capsicum annum* L.) fruits. . Acta horticulturae, 821-826.
- 24.-Gil H. A. (2010). Tratado de Nutrición: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos, tomo II, 2ª Editorial Médica Panamericana. Madrid España
- 25.-González, G. (2007). El servicio de asistencia técnica a los productores de chile seco en Zacatecas. Convergencia. Revista de ciencias sociales, 137-165.

- 26.-González-Aguilar Gustavo A., M.-G. I.-V.-C.-Z. (2005). Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C (CIAD, AC)., 121-133.
- 27.-Lárez Velásquez, C. (2003). Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos. revista iberoamericana de polímeros, 91-99.
- 28.-Lárez Velásquez, C. (2006). Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. Avances en Química, 15-21.
- 29.-Lárez Velásquez, C. (2008). Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. Universidad de los andes Venezuela, 1-22.
- 30.-Li, Y., & X. G. Chen, N. L. (2007). Physicochemical characterization and antibacterial property of chitosan acetates. . Carbohydrate polymer, 227-232.
- 31.-Medina, C. I., Lobo, M., & Farley, A. (2006). Variabilidad fenotípica en poblaciones de ají y pimentón de la colección colombiana del género Capsicum. Ciencia y tecnología agropecuaria, 25-39.
- 32.-Meyers, S. P. (2009). Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. Food Chemistry, 1173-1182.
- 33.-Meyers, S P; Prinyawiwatkul, W; Xu, Z (2007). Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods: a review. "R. Consience reviews/Hypotheses in Focs Science";vol. 72 numero 5; pag 87-100
- 34.-Milton, H., & Spencer. (1993). Economía contemporánea. New Yoyk: Reverte.
- 35.-Miranda Castro, S. P., & Lara Sagahon, A. V. (2000). Patente nº 293022. México.
- 36.-Mohammad, K. R. (2007). Calculation of Mark–Houwink–Sakurada (MHS) equation viscometric constants for chitosan in any solvent–temperature system using experimental reported viscometric constants data. Carbohydrate Polymers, 477-488.
- 37.-Moreno Martinez, E. (1988). Manual para la identificacion de hongos en granos y sus derivados. México D.F.: Universidad Nacional Autonoma de México.
- 38.-Moreno Martinez, E., & Gil Gutiérrez, E. (2007). la biologia de Aspergillus Flavus y la produccion de aflatoxinas. México: PUAL UNAM.

- 39.-NMX-FF9-025-SCFI-. (2007). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano chile fresco (*Capsicum spp*).
- 40.-NMX-FF-107/1-SCFI. (2006). PRODUCTOS ALIMENTICIOS – CHILES SECOS ENTEROS (GUAJILLO, ANCHO, MULATO, DE ÁRBOL, PUYA Y PASILLA) – PARTE 1 – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA. Norma Oficial Mexicana.
- 41.-Orrego A.(2003).Procesamiento de alimentos. Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Colombia.
- 42.-Palma Guerrero, J.; H. B. Jansson, J. Salinas, and L. V. Lopez Llorca. 2008. Effect of chitosan on hyphal growth and spore germination of plant pathogenic and biocontrol fungi. *Journal of Applied Microbiology*. 104: 541-553
- 43.-Plascencia, M. O.-O. (2006). El quitosano y su efecto sobre la germinación de las esporas de hongos filamentosos: un estudio microscópico. UAM-I, 186.
- 44.-Plascencia-Jatomea M., H. A. (1999). Elaboración y caracterización de películas de quitosano: evaluación del efecto antimicrobiano sobre el crecimiento de *aspergillus niger* . UAM.
- 45.-Rinaudo Marguerite, Milas Michel and Le Dung Pham. (2003) Characterization of chitosan. Influence of ionic strength and degree of acetylation on chain expansion. Centre de Recherches sur les Macromolécules Végétales, CNRS, associé à l'Université Joseph Fourier, BP 53 X, 38041 Grenoble Cedex, France
- 46.-Rojas B. L. (2007). Evaluación del quitosán sobre hongos patógenos que afectan la vida poscosecha del jitomate (*Lycopersicon esculentum Mill*). Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 47.-Roller, S., & Covill, N. (1999). The antifungal properties of chitosan in laboratory media and apple juice. *International Journal of Microbiology*, 67-77.
- 48.-Salvador, L., Miranda, S., Aragon, N., & Lara , V. (1999). Recubrimiento de quitosán en aguacate. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 257-272.
- 49.-Servia, J. C. (2007). Fundamentos genéticos y socioeconómicos para analizarla agrobiodiversidad. España: R. Sevilla-Panizo.
- 50.-Sudarshan, R., Hoover, D., & Knorr. (1992). Antibacterial action of quitosán. *Food biotechnology*, 257-272.
- 51.-Swanson, B. (1987). *Acta Horticulturae*. 207:49.

- 52.-Tsai GJ, Su WH, Chen HC, Pan CL. 2002. Antimicrobial activity of shrimp chitin and chitosan from different treatments and applications of fish preservation. *Fish Sci* 68:170–7.
- 53.-Uchida Y, Izume M, Ohtakara A. 1989. Preparation of chitosan oligomers with purified chitosanase and its application. In: Skjak-Bræk G, Anthonsen T, Sandford P, editors. *Chitin and chitosan: sources, chemistry, biochemistry, physical properties and applications*. London, U.K.: Elsevier. p 373–82
- 54.-Velásquez V., R.; M. M. Medina A. y J. Mena C. 2002. Guía para identificar y manejar las principales enfermedades parasitarias del chile en Aguascalientes y Zacatecas. Folleto Técnico Núm. 20. INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Pabellón. Aguascalientes, Ags.
- 55.-Young DH, Kohle H, Kauss H. 1982. Effect of chitosan on membrane permeability of suspension cultured *Glycinemax* and *Phaseolus vulgaris* cells. *Plant Physiol* 70:1449– 54.