



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

Estudio comparativo de tratamientos térmicos (vapor saturado e hidrotérmico) para el control de mosca mexicana de la fruta, *Anastrepha Ludens Loew* (Diptera: Tephritidae) en mango para exportación.

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A:
ISAAC SIERRA PÉREZ**

ASESORES: Dra. Ma. ANDREA TREJO MÁRQUEZ

Dr. SERGIO JIMÉNEZ AMBRIZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



El presente trabajo fue financiado y forma parte del proyecto PAPIIT: “La microbiota del mango, componente importante para mantener la inocuidad del fruto” (IN217807).



Dedico la presente tesis a:

A mis seres queridos que siempre estuvieron ahí y darme la fuerza para seguir adelante. Gracias por no dejarme caer y brindarme su confianza, sin ustedes hubiera sido más difícil todavía.

A mis padres, Florentina Pérez Barragán y Abel Sierra Zarate, por su amor, apoyo y el gran esfuerzo que realizamos juntos ya que este logro también es de ustedes. Gracias por confiar en mi, gracias por todo ma', gracias por todo "viejo".

A mi hermana, Alejandra Sierra Pérez, que siempre estas ahí cuando mas te necesito, yo siempre estaré ahí cuando me necesites, aunque sea para tapar tus briagas. Échale ganas flak eres la próxima, no nos defraudes.

A mis ti@s, prim@s y sobrin@s gracias por esos grandes momentos en que hemos crecido juntos, ustedes son parte fundamental de mi vida.

A mi amor, Marcela Ávila, gracias por la vida por haberte puesto en mi camino, gracias por tu cariño, amor y comprensión, te amo princesa.

A la UNAM, gracias por abrirme tus puertas y darme la oportunidad de formar parte de esta gran institución.

A mis profesores de la carrera, que con su apoyo y dedicación siguen formando personas con carácter.

A la Dra. Andrea Trejo y al Dr. Sergio Jiménez, por darme la oportunidad de colaborar con ustedes en este gran proyecto.

A mis hermanos del barrio, Zury, Hector, Mario F. Fercho, Gus, Mario, Milton, Negro, Angela, Alma y los que faltan, gracias por brindarme su amistad.

A los cuatrerros, Cesar, Oscar, Sandy, Nayely, Moy, Alejandro, Fabiola, Paulina, Gaspar, Citlalli, Victor, Eric, Diego, Alicia, Salvador, Marco Antonio, Alejandro, Jonathan, los mejores años de mi vida los pase con ustedes. Siempre estarán en mi corazón.

Al Cow-parade, que nunca dejamos de apoyarnos y cuidarnos, amigos, si se pudo, espero que ustedes no lo dejen para después.

A mis amigos de la carrera de las generaciones 26 y 27, gracias por todo.

A mis compañeros de laboratorio, especialmente a Gaby, Selene y Adela, gracias por su apoyo. Y por haber formado parte de mi vida, gracias "Moon".



ÍNDICE

	Página
RESUMEN	i
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Generalidades del fruto del mango <i>Mangifera indica</i> Linneus	3
2.2. Descripción	3
2.3. Variedades	5
2.3.1. Variedades que se cultivan en México	6
2.4. Importancia económica	8
2.4.1. Producción mundial de mango	9
2.4.2. Producción nacional	9
2.4.1.1. Principales estados productores	10
2.4.1.2. Estacionalidad y distribución geográfica	10
2.5. Composición química y valor nutritivo	11
2.6. Cambios durante la maduración	12
2.6.1. Respiración	13
2.6.2. Carbohidratos	14
2.6.3. Pigmentos	15
2.6.4. Enzimas	15
2.7. Pérdidas poscosecha del mango	16
2.7.1. Desordenes fisiológicos	16
2.7.2. Daños mecánicos	18
2.7.3. Factores fitosanitarios	18
2.7.3.1. Enfermedades	18
2.7.3.2. Plagas	21
2.8. Generalidades de la mosca de la fruta	23
2.8.1. Especies	24
2.8.1.1. Mosca mexicana de la fruta	25
2.8.1.1.1. Taxonomía	26
2.8.1.1.2. Morfología	27
2.8.1.1.3. Ciclo de vida	29
2.8.1.1.4. Frutos hospederos	32
2.8.1.1.5. Distribución	32



2.9. Métodos de control en precosecha	33
2.9.1. Trampeo masivo	33
2.9.2. Control químico	33
2.9.3. Medidas cuarentenarias	33
2.9.4. Liberación de machos o insectos estériles	34
2.10. Tratamientos físicos poscosecha de mango	34
3. OBJETIVOS	38
3.1. Objetivo general	38
3.2. Objetivos particulares	38
4. MATERIALES Y MÉTODOS	39
4.1. Cuadro metodológico	39
4.2. Material biológico	40
4.3. Tratamiento de las muestras de mango	40
4.4. Caracterización física, fisiológica, química y fisicoquímica del mango variedad 'Ataulfo'	40
4.5. Establecimiento e incremento de la colonia de la mosca mexicana de la fruta	41
4.6. Infestación de los frutos	43
4.7. Selección de las condiciones de tiempo y temperatura para los tratamientos térmicos	45
4.7.1. Tratamiento hidrotérmico	45
4.7.2. Tratamiento con vapor saturado	47
4.8. Evaluación del efecto de los tratamientos térmicos en la infestación de <i>Anastrepha ludens</i> y en los parámetros de calidad	51
4.9. Técnicas analíticas	51
4.9.1. Caracterización física y fisiológica	51
4.9.1.1. Determinación de pérdida de peso	51
4.9.1.2. Determinación de firmeza	51
4.9.1.3. Determinación del color	51
4.9.1.4. Determinación de respiración	52
4.9.2. Caracterización fisicoquímica y química	52
4.9.2.1. Determinación de la acidez, pH y sólidos solubles	52
4.9.2.2. Determinación del contenido de humedad	52
4.9.2.3. Determinación del contenido de carbohidratos	53



4.9.2.4. Determinación del contenido de fibra cruda	53
4.9.2.5. Determinación del contenido de proteína	53
4.9.2.6. Determinación del contenido de grasa	53
4.9.2.7. Determinación del contenido de cenizas totales	54
4.10. Análisis estadísticos	54
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
5.1. Evaluación de las características físicas, fisiológicas, químicas y fisicoquímicas del mango variedad 'Ataulfo'	55
5.2. Selección de condiciones de temperatura y tiempo de los tratamientos por vapor saturado e hidrotérmico	59
5.2.1. Efecto del tratamiento con vapor saturado e hidrotérmico en el control de mosca mexicana de la fruta	63
5.2.2. Efecto de los tratamientos térmicos sobre los cambios en respiración de mango variedad 'Ataulfo'	65
5.3. Evaluación de los tratamientos térmicos sobre los parámetros de calidad del mango variedad 'Ataulfo'	67
5.3.1. Efecto en sólidos solubles	67
5.3.2. Efecto en pH	69
5.3.3. Efecto en acidez	70
5.3.4. Pérdida de peso	71
5.3.5. Efecto en firmeza	73
5.3.6. Efecto en el color	75
5.4. Propuesta tecnológica	79
5.4.1. Diagrama de proceso de una planta empacadora de mango	79
5.4.2. Descripción del tratamiento hidrotérmico (USDA, APHIS-IS Y SAGARPA – DGSV, 2003)	88
5.4.3. Modificaciones al sistema para convertirlo en sistema que utilice vapor saturado	89
6. CONCLUSIONES	93
7. RECOMENDACIONES	95
8. REFERENCIAS	96
9. ABREVIATURAS	



ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Leyenda	Página
1.	Diferentes tipos de árboles de mango	4
2.	Diferentes variedades de mango	5
3.	Principales Variedades de mango cultivadas en México en el 2005	6
4.	Distribución de la producción mundial de mango en 2005	9
5.	Distribución de la producción nacional de mango en el 2005	10
6.	Estacionalidad de mango en México	11
7.	Antracnosis en mango	19
8.	Mancha negra en mango	20
9.	Pudrición del pedúnculo en mango	20
10.	Mancha negra bacteriana en mango	21
11.	Diferentes especies de mosca de la fruta	25
12.	Mosca mexicana de la fruta <i>Anastrepha ludens</i> Loew macho (izquierda) y hembra (derecha)	26
13.	Cabeza en vista frontal y lateral de <i>A. ludens</i>	27
14.	Tórax en vista dorsal y lateral de <i>A. ludens</i>	28
15.	Ala derecha de <i>A. ludens</i>	28
16.	Abdomen y ovipositor típico del género <i>Anastrepha</i>	29
17.	Ciclo de vida de la mosca mexicana de la fruta	31
18.	Jaula para la crianza de moscas de la fruta	41
19.	Domo-señuelo para la oviposición de las moscas	42
20.	Dieta especial para larvas de mosca mexicana de la fruta	42



21. Separación de pupas de la dieta	43
22. Infestación de los frutos con las moscas	45
23. Sistema para la aplicación de tratamiento hidrotérmico	46
24. Malla para evitar la quemadura de los frutos	46
25. Cámara de vapor con sistema de recirculación	48
26. Resistencias eléctricas para el calentamiento del agua	48
27. Sistema de recirculación de la cámara de vapor	48
28. Contenedores de la cámara de vapor	50
29. Cambios en la respiración del mango variedad 'Ataulfo' durante el almacenamiento a 20° C	59
30. Efecto de los tratamientos con vapor caliente en la infestación de larvas de mosca mexicana de la fruta	62
31. Efecto del tratamiento con vapor caliente a una temperatura de 48° C a diferentes tiempos de exposición	62
32. Efecto del tratamiento con vapor caliente en la desinfestación de <i>A. ludens</i>	64
33. Cambios en la respiración de mangos sometidos a tratamientos por vapor saturado e hidrotérmico	66
34. Efecto de los tratamientos térmicos, hidrotérmico y vapor saturado sobre los sólidos solubles totales (SST)	68
35. Efecto de los tratamientos térmicos, hidrotérmico y vapor saturado sobre el pH	70
36. Efecto de los tratamientos térmicos de vapor e hidrotérmico sobre la concentración de acidez	71
37. Efecto de los tratamientos térmicos sobre la pérdida de peso	72
38. Efecto de los tratamientos térmicos de vapor saturado e hidrotérmico sobre la Firmeza	74
39. Luminosidad de mangos control y tratados térmicamente	76
40. Tono de mangos control y tratados térmicamente	77



41. Intensidad del color de mangos control y tratados térmicamente	78
42. Diagrama de bloques del proceso de empaçado para mangos de exportación	79
43. Recepción del producto a la planta empacadora	80
44. Selección manual del fruto	81
45. Selección y clasificación mecánica del fruto	82
46. Lavado por aspersión o inmersión de los frutos	83
47. Aplicación del tratamiento hidrotérmico	83
48. Hidroenfriado de los frutos	84
49. Empacado de los frutos	85
50. Almacenamiento del producto	86
51. Diagrama de distribución de una planta empacadora de mango	87
52. Primer propuesta de modificación	89
53. Segunda propuesta de modificación	90



ÍNDICE DE TABLAS

Número	Leyenda	Página
1.	Características principales de las variedades cultivadas en México	7
2.	Composición química y valor nutritivo del mango variedad 'Ataulfo'	12
3.	Principales especies de mosca de la fruta en México	25
4.	Ubicación taxonómica de la mosca mexicana de la fruta <i>A. ludens</i> Loew	26
5.	Zonas de control fitosanitario para el control de mosca de la fruta	32
6.	Ingredientes para preparar 1kg de dieta especial para moscas adultas	43
7.	Ingredientes para preparar 1 kg de dieta especial de larvas	45
8.	Caracterización física del mango	56
9.	Composición química del mango variedad 'Ataulfo'	57
10.	Características fisicoquímicas del mango variedad 'Ataulfo'	57
11.	Características del sistema hidrotérmico y vapor saturado	91



RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del tratamiento térmico con vapor saturado, con el fin de proponer un método alternativo al tratamiento hidrotérmico para la desinfestación de la mosca mexicana de la fruta, *Anastrepha ludens* Loew, en mango de la variedad 'Ataulfo'. Esta plaga representa una gran problemática económica para nuestro país al ser uno de los principales productores y el primer lugar en exportaciones de mango a nivel mundial. Además, para la comercialización de este fruto a los Estados Unidos se debe cumplir el requisito del tratamiento cuarentenario y estar libre de esta plaga.

Se trabajó con mango variedad 'Ataulfo' procedente de Guerrero y se seleccionaron las condiciones del tratamiento con vapor saturado en las cuales se evitó el desarrollo de las larvas de *A. ludens* dentro del mango sin afectar los parámetros de calidad del fruto. Se evaluaron los efectos del tratamiento con vapor saturado (48° C y 16 minutos) y se compararon con el tratamiento hidrotérmico (46.1° C y 65 minutos), en donde se observó que después de haber sometido los frutos al tratamiento y su posterior almacenamiento a 20°C no se presentó desarrollo de los huevecillos de *A. ludens*.

En la tasa de respiración se observaron efectos inmediatos después de haber sometido los frutos a los diferentes tratamientos, presentándose una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los frutos del tratamiento hidrotérmico (237.86 mg CO₂ / Kg_{PF} h) y el control (59.62 mg CO₂ / Kg_{PF} h). Sin embargo, no se observó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el tratamiento con vapor saturado (86.63 mg CO₂ / Kg_{PF} h) y el control. Estos cambios no repercutieron en el tiempo de vida útil del fruto, ya que en todos los casos se presentó el inicio de la senescencia al 7° y 8° día de almacenamiento. En los parámetros de calidad, acidez, pH y pérdida de peso, se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los frutos sometidos al tratamiento hidrotérmico con respecto al tratamiento con vapor saturado. Sin embargo, no se encontró diferencia ($p \geq 0.05$) con respecto a los controles.

El tratamiento con vapor saturado puede ser considerado como una alternativa viable al tratamiento hidrotérmico, presentando ventajas para un país como México en donde la disponibilidad de agua en los estados del sur es un problema frecuente. Los tratamientos con vapor, pueden ayudar a mantener la calidad de los frutos y cumplir con los requisitos para su exportación a Estados Unidos.



1. INTRODUCCIÓN

El Mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los frutos de mayor importancia a nivel mundial, ya que ocupa el quinto lugar dentro de los principales productos frutícolas cultivados. Actualmente, México ocupa el quinto lugar en la producción de mango después de países como India, China, Tailandia y Pakistán, con una superficie cultivada de 156 963 hectáreas y una producción de 1 503 010 toneladas representado el 5.7% de la producción mundial. México ocupa el primer lugar en cuanto a exportaciones de mango, destacando la exportación de variedades como: 'Tommy Atkins', 'Haden', 'Kent', 'Keitt' y 'Ataulfo', de este último, se ha incrementado sustancialmente su volumen de exportación al mercado americano, principalmente por sus características sensoriales y vida de anaquel. Los principales estados productores son Guerrero, Nayarit Chiapas y Veracruz (FAO, 2005; SAGARPA, 2005).

Entre los principales problemas que se presentan en la comercialización del mango encontramos los fitosanitarios, destacando principalmente las plagas y las enfermedades. Una gran cantidad de insectos con hábitos alimenticios diversos los encontramos en este cultivo.

Las moscas de la fruta de la familia Tephritidae son consideradas como una de las 10 plagas de frutales de mayor importancia económica en el mundo. Destacan entre ellas los géneros *Anastrepha* y *Ceratitís*. Las especies del género *Anastrepha* son las más devastadoras al ocasionar daños directos a la fruta (Aluja, 1993; Aluja, 1994; Aluja *et al.*, 1996).

En el mundo existen alrededor de 4 000 especies del género *Anastrepha*, reportándose 185 especies que viven en los trópicos de América. En México, cuatro especies de las 19 reportadas, son consideradas de importancia económica. De éstas, la mosca mexicana de la fruta, *Anastrepha ludens* (Loew) y la mosca del mango, *Anastrepha oblicua* (Mcquart) representan el 96% de todos los individuos capturados con las trampas McPhail (Aluja y Liedo, 1986; Aluja, 1994; Aluja *et al.*, 1996).

Los principales hospederos de la mosca mexicana de la fruta, *A. ludens*, son los frutos cítricos (*Citrus* sp.) y el mango (*Mangifera indica* L.) entre otros (Aluja *et al.*, 1987; Aluja, 1993; Toledo, 1993; Moreno *et al.*, 1994; Aluja *et al.*, 1996).



La presencia de la mosca mexicana de la fruta en mangos de exportación es motivo de restricciones cuarentenarias, ya que el daño producido por *A. ludens* lo provoca en estado larvario al alimentarse de la pulpa del fruto; además, las perforaciones hechas por la hembra al ovipositar origina indirectamente la caída de la fruta antes de madurar (Stone, 1942; González, 1976).

Existen diferentes métodos de control para disminuir el ataque que representa ésta plaga, entre ellos destacan, el control físico, con la aplicación de la trampa McPhail, que es utilizado también para la detección de la plaga; el control químico, con la aplicación de plaguicidas, principalmente el rocío aéreo de una mezcla de malatión – cebado, pero suele dejar residuos tóxicos sobre los frutos los cuales pueden afectar tanto a los insectos benéficos como a los seres humanos, provocando intoxicaciones (Aluja *et al.* 1993).

Actualmente, el control legal, representa el método más importante para la eliminación de ésta plaga y consiste en establecer una serie de medidas cuarentenarias para limitar el movimiento de frutas de áreas infestadas a otras áreas libres de la plaga. El control legal esta reglamentado por acuerdos internacionales, nacionales, regionales y locales (Aluja, 1994).

Recientemente, se han desarrollado varios métodos alternativos de desinfestación para el control de las moscas de la fruta en mango, entre ellos destacan los tratamiento con aire caliente forzado, tratamiento con vapor saturado y tratamiento de inmersión en agua caliente o hidrotérmico (Sharp *et al.*, 1988; Aluja, 1994; Sharp y Gould, 1994).

Actualmente el único tratamiento autorizado para mangos de exportación a la E. U. A. es el tratamiento hidrotérmico a una temperatura de 46.1° C por 65, 75 o 90 min. dependiendo del peso del fruto (USDA - SAGARPA, 2003).

Con base a los inconvenientes económicos y ambientales que representan algunos de los métodos de control de la mosca mexicana de la fruta, *A. ludens*, el objetivo de este trabajo es comparar el tratamiento térmico de vapor saturado en la desinfestación de *A. ludens* en mango (*Mangifera indica L.*) variedad Ataulfo como una alternativa al tratamiento hidrotérmico, y que cause el mínimo efecto en los parámetros de calidad del fruto para exportación a Estados Unidos.



2. Antecedentes.

2.1. Generalidades del fruto del mango *Mangifera indica* Linneus.

El mango *Mangifera indica* L. es originario del sureste de Asia y más específicamente, de la India en la zona comprendida entre Asma (India) y la antigua Birmania (hoy Nyanmar) donde aún existen poblaciones silvestres y que se ha cultivado desde tiempos prehistóricos. Se estima que la mayoría de los cultivares comerciales provienen de materiales importados de la India donde hoy día se tienen reportados 998 cultivares avanzados procedentes de la India y Sri Lanka y 102 cruza de mango (Galán– Saucó, 1999). Los españoles introdujeron este cultivo a sus colonias tropicales de Continente Americano, por medio del tráfico entre Filipinas y México desde el puerto de Acapulco a la región del Golfo de México (Estado de Veracruz) por los siglos XVI y XVII. La obtención en 1912 en Florida del excelente cultivar 'Haden', a la que luego seguirían otros cultivares como 'Tomy Atkins', 'Kent', 'Keitt', 'Irwin', etc., marca, sin duda, el comienzo del desarrollo moderno de este cultivo en el mundo occidental (Galán– Saucó, 1999; INFOAGRO, 2006; CCI, 2005).

De allí se expandió al resto de las regiones en el mundo; al parecer, fue introducido por los portugueses transportándolo al sur de África, Brasil y la isla de Barbados. En América, los grandes cultivadores son actualmente Brasil y México. Colombia también es productor de esta fruta y las principales zonas de producción se encuentran en los Llanos Orientales, Tolima y la Costa Atlántica (CCI, 2005; INFOAGRO, 2006).

2.2. Descripción.

El mango (*Mangifera indica* L.) es considerado como uno de los frutos preferidos a nivel mundial, a causa de su atractivo color, delicioso sabor, agradable fragancia y excelentes propiedades nutricionales, que lo hacen ser un producto ampliamente consumido (Salunkhe y Desai, 1984; Mitra y Baldwin, 1997).

El mango es un cultivo de clima tropical y subtropical, por lo tanto su distribución geográfica se encuentra entre los trópicos de cáncer y capricornio. Las condiciones de clima que requiere este frutal



para su desarrollo son: época seca, durante tres meses antes de la floración, temperatura óptima de 24 a 27° C y una altura máxima de 600 metros sobre el nivel del mar; el suelo en que se cultiva debe estar bien drenado, profundo y fértil (SIAP/SAGARPA, 2003).

El frutal es una planta arbórea erecta, originaria de la india, es un hermoso árbol de talla mediana que puede alcanzar los 20 – 25 m de altura y en ocasiones hasta 40 m (Figura 1). Este árbol es de follaje persistente, con copa densa y ancha (Mitra y Baldwin, 1997).

Las frutas son drupas oblongadas con ligeras variaciones en el tamaño, forma, color, presencia de fibra, textura, sabor y olor según la variedad (Figura 2). El tamaño del fruto varía desde 5 hasta 30 cm de largo. El peso fluctúa entre 50 g y hasta los que pesan más de 2 kg, la forma de la fruta varía de redonda a ovalada u oblongada, o bien puede ser alargada con una longitud que varía de 5 a 20 cm según la variedad o tipo de que se trate (FAO, 2005).



Figura 1. Diferentes tipos de árboles de mango.
FUENTE: INFOAGRO (2006)

La piel del fruto (epicarpio) es bastante fuerte, lisa, dura, cerosa y puede poseer una o varias combinaciones de color verde, amarillo, naranja, púrpura o rojizo cuando el fruto esta maduro. La pulpa es extremadamente jugosa y puede o no ser fibrosa. Es firme, rica en azúcares, y tiene un sabor que va de muy dulce a ácido o agrio, mientras que el color ronda de amarillo pálido a anaranjado intenso. Algunas tienen olor a trementina, mientras que otras son agradablemente fragantes. La semilla es ovoide oblongada o alargada la cual esta recubierta por una dura, gruesa y leñosa cáscara (endocarpio) con una cepa fibrosa externa, que se puede extender dentro de la pulpa (Cruz y Pérez, 1998; Shaw *et al.*, 1998; INFOAGRO, 2006; FAO, 2005).



Figura 2. Diferentes Variedades de mango.
FUENTE: Higueral Produce (2002)

2.3. Variedades.

La especie *Mangifera indica* L., es el miembro más importante de los *Anacardiaceae* o familia del marañón que incluye alrededor de 600 miembros. Tiene algunos parientes bien conocidos, tales como el marañón (*Anacardium occidentale* L.), el pistachero (*Pistacia vera* L.), los mombins (*Spondias* spp.), y la familiar hiedra venenosa o roble venenoso de Norteamérica (*Rhus toxicodendron* L, ó *R.radicans* L.), entre otros (INFOAGRO, 2006).

Los rasgos primarios que diferencian a los cultivares son la forma y el color del fruto. Dentro de los rasgos secundarios se encuentran la forma de la especie de la hoja y los pares de nervadura en la misma y los rasgos terciarios incluyen a la configuración de la inflorescencia y de las hojas. Además de las numerosas variedades de semillero, más de mil cultivares vegetativos se encuentran reportados. La mayoría de estos cultivares, provenientes de la India, surgieron a partir de la selección de semilleros y de la manutención de recombinaciones controladas (Samson, 1986; Morton, 1987).

Los cultivares en el mundo se clasifican en dos grupos (Morton, 1987; CRFG, 1996; DIR's Hortoinfo, 2000; Cornell University, 2002):

- Monoembríonicos (originarios de la India). La semilla tiene un solo embrión, dan fruto de alto color y son propensos al ataque de antracnosis. Esta variedad tiene en general pulpa sin fibra,



buenas características para su almacenamiento y es comercialmente la más importante del mundo.

- Poliembriónicos (originarios de Indochina y Filipinas). Los embriones son de pulpa fibrosa y su fruta generalmente es incolora pero es más resistente al ataque de antracnosis. Otra variedad se desarrolló en la antigua Indochina y Filipinas, con pulpa dulce y sin fibra. Estas variedades se han desarrollado en las Indias Occidentales y Sudamérica y se encuentran diseminadas por todo el mundo.

2.3.1. Variedades que se cultivan en México.

Las principales variedades que se cultivan en México son: 'Ataulfo', 'Haden', 'Keitt', 'Irwin', 'Kent', 'Manila', 'Palmer', 'Sensation', 'Tommy Atkins' y 'Van Dyke' (tabla 1). Sin embargo, las que más se comercializaron en el 2005, fueron: 'Manila', 'Haden', 'Ataulfo', 'Tommy Atkins', 'Kent', 'Criollo' y 'Keitt', entre las cuales se concentró el 70% de la producción total (figura 3) (SIAP / SAGARPA, 2004; EMEX, 2005).

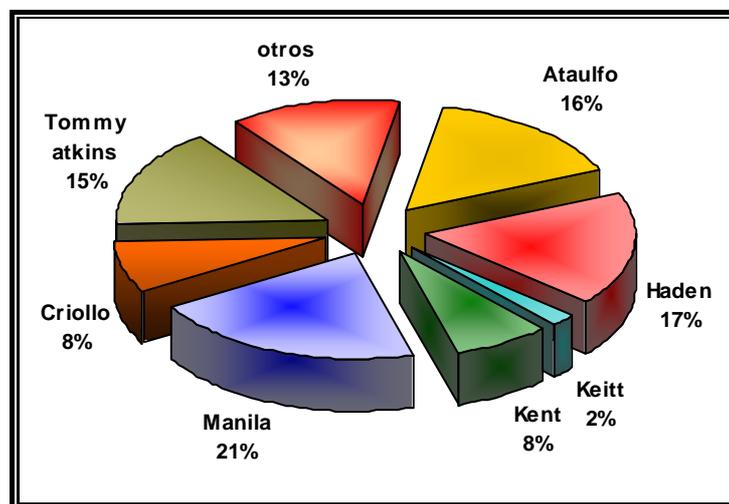


Figura 3. Principales Variedades de mango cultivadas en México en el 2005
FUENTE: SIAP / SAGARPA (2005)



Tabla 1. Características principales de las variedades cultivadas en México.

Variedad	Tamaño	Características	Estacionalidad	Principales estados productores
 Ataulfo	Pequeño, plano y de forma alargada	De tipo indonesio, descendiente del mango Manila, con un peso de 170–340 g, Cáscara de color amarilla y delgada; el sabor es delicado y dulce, la textura es suave y jugosa, casi sin fibra.	Enero - Junio	Chiapas, Michoacán, Guerrero y Nayarit
 Haden	Mediano a grande y de forma ovalada	Origen Indio, descendiente del Mulgova, con un peso de 450 – 700 g, la cáscara es lisa y de tonos que cambian de verde a amarillo con partes rojas y puntos amarillos y blancos, el sabor es dulce y su textura es firme, con muy poca fibra.	Febrero – Agosto	Michoacán, Jalisco, Guerrero, Colima, Nayarit y Sinaloa
 Irwin	Forma oval alargada de tamaño mediano	Descendiente "lippens", fruto con un peso de 350–450 g, su piel es de color amarillo-naranja a rosa con tonos rojo oscuro. Su pulpa es amarilla, casi sin fibra, con un sabor dulce moderado	Mayo - Julio	Nayarit, Guerrero y Michoacán.
 Keitt	Grande y de forma ovalada redonda	Descendiente de Mulgova. Su peso se encuentra de 550–750 g, su piel es ligeramente gruesa, de color amarillo verdoso con tonos rojo claro y lavanda, su pulpa es de color amarillo brillante, firme, libre de fibra y de sabor muy dulce.	Abril - Septiembre	Nayarit, Jalisco, Colima y Sinaloa
 Kent	Grande y de forma ovalada	Se deriva del semillero Sandersha. De 500–750 g, su piel es verde con tonos rojos y puntitos amarillos. Su pulpa es libre de fibra; el sabor es jugoso y dulce, la textura es suave y tierna.	Abril – Agosto	Michoacán, Nayarit, Jalisco, Sinaloa y Colima
 Manila	Forma alargada larga y pequeña	Originario de México, de tipo filipino. De color amarillo, con un peso de 180–300 g y sabor dulce.	Enero – Agosto	Chiapas, Veracruz, Michoacán, Oaxaca, Guerrero, Sinaloa y Colima
 Palmer	Grande de forma ovalada y gruesa	Su piel es ligeramente gruesa, de color amarillo-naranja con tonos rojos, lenticelas grandes y numerosas. Su pulpa es amarilla, firme, con una moderada presencia de fibra.	Julio – Agosto algunas veces septiembre	Baja California Sur y Sinaloa

**Tabla 1.** Características principales de las variedades cultivadas en México (Continuación).

 Sensation	De forma oval, oblicua y puntiagudo; de tamaño pequeño a mediano	Descendiente de Edgehill, su piel es delgada, adherente, de color amarillo brillante a amarillo-naranja con tonos rojizos y con lenticelas pequeñas de color amarillo claro. Su pulpa presenta muy poca fibra, muy aromático con un moderado sabor dulce.	Agosto – Octubre	Guerrero
 Tommy Atkins	Mediano a grande y de forma ovalada	Desarrollado y cultivado para la exportación. Con un peso de 450 – 700 g. La piel es de color dorada con tonos verdes y rojos, con lenticelas amarillas verdosas, de piel gruesa. Su pulpa es jugosa, de textura firme y con poca fibra	Febrero – Agosto	Campeche, Veracruz, Michoacán, Oaxaca, Guerrero, Nayarit, Jalisco y Colima
 Van Dyke	Forma oblongada – oval de tamaño pequeño	Relativamente nuevo de 250 – 400 g, de color rojo amarillento. Su pulpa contiene una escasa presencia de fibra y una excelente calidad.	Junio – Julio	Oaxaca y Sinaloa

FUENTE: Elaborado con información tomada de: Samson (1986); Morton (1987); Galán – Sauco (1999); EMEX (2005).

2.4. Importancia económica.

El mango, por su sabor único y su atractiva apariencia, es considerado uno de los mejores frutos en el mercado mundial por ser una fuente de ingresos de exportación de los países productores (Salunkhe y Desai, 1984; Jacobi *et al.*, 2001^a). Sin embargo, la importancia económica real del mango estriba en el tremendo consumo local que se realiza en cada villa y ciudad de las tierras bajas de los trópicos, ya que se trata de una de las plantas más fructíferas de los países tropicales (INFOAGRO, 2006).

Como cosecha de exportación, se coloca bastante abajo en la lista de las frutas, siendo sobrepasada en mucho por los plátanos, cítricos, aguacates, dátiles, higos, piñas y posiblemente otros, pero ocupa el segundo lugar, sólo superándolo los plátanos, en términos de uso doméstico (INFOAGRO, 2006).



2.4.1. Producción mundial del mango.

Debido a que la producción del mango requiere de la conjunción de factores climáticos que favorezcan su óptimo desarrollo, sólo unos cuantos países pueden considerarse como productores potenciales de este frutal. El 75% de la producción mundial en el 2005 se concentró en cinco países: India, China, Tailandia, México y Pakistán. Destacando a India, que aportó cerca de la mitad de la producción mundial, y por otro lado, México descendió un lugar en la producción mundial (figura 4) (FAO, 2005).

2.4.2. Producción nacional.

En el 2005, la superficie cultivada en México fue de 173 837 hectáreas y se produjeron 1 503 010 TM de frutos (FAO, 2005) ubicándose en el quinto lugar en producción mundial. Actualmente ocupa el primer lugar en exportación de mango con el 24% de las exportaciones mundiales, colocando 216 316 TM de las 918 999 TM que se exportaron en el 2005. Sin embargo, tan sólo el 14.4% de lo que se produce lo dedica a la comercialización internacional en fresco y el restante 85% se consume internamente (FAO, 2005).

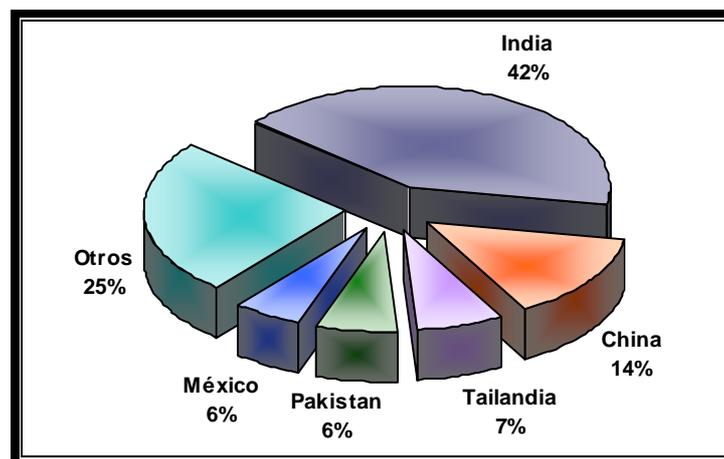


Figura 4. Distribución de la producción mundial de mango en 2005
FUENTE: FAO (2005)



2.4.2.1. Principales estados productores.

El mango en el país, toma una importancia peculiar, ya que ocupa el tercer lugar en superficie cosechada con el 16.5% del total nacional y primer lugar en lo que a productores frutícolas de exportación se refiere. El cultivo del mango se ha extendido a todo el territorio nacional, cerca de 24 entidades han destinado importantes superficies para la producción de esta fruta, sin embargo los principales productores son: Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Nayarit y Sinaloa que concentran más del 70% de las áreas sembradas, cosechadas y en producción (figura 5) (SIAP / SAGARPA, 2004).

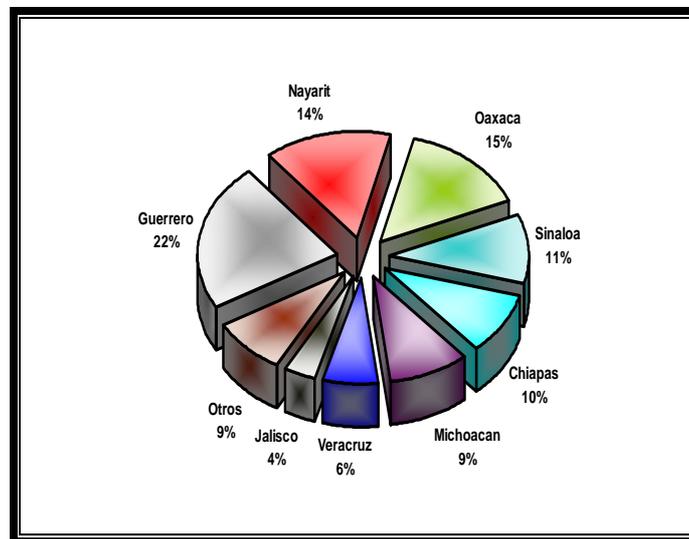


Figura 5. Distribución de la producción nacional de mango en el 2005
FUENTE: SIAP / SAGARPA (2005)

2.4.2.2. Estacionalidad y distribución geográfica.

La producción de mango en nuestro país comienza en enero, mes en el que inicia la cosecha en el estado de Chiapas, sumándose en febrero, Guerrero, Oaxaca y Colima, entidades donde la época de alta producción se presenta a finales del mes de junio. En estos estados se cultivan principalmente las variedades 'Manila', 'Manililla', 'Criollo', 'Oro' y 'Ataulfo', donde a excepción de esta última, todas las demás variedades se comercializan en el mercado nacional. La oferta de mango proveniente de los estados de Veracruz, Sinaloa, Nayarit, Jalisco y Michoacán se inicia a partir del mes de mayo y terminando en el mes de agosto y, en Nayarit y Sinaloa hasta septiembre. En estos estados se



producen las siguientes variedades: 'Kent', 'Keitt', 'Tommy Atkins' y 'Haden' las cuales son las más aceptadas en el mercado internacional (figura 6) (SIAP / SAGARPA, 2004; FAO, 2005).

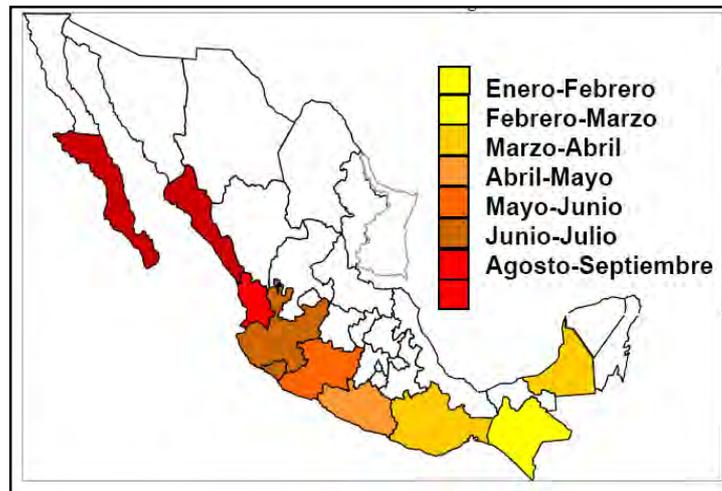


Figura 6. Estacionalidad de mango en México
FUENTE: SIAP / SAGARPA (2003)

2.5. Composición Química y Valor Nutritivo.

Por su sabor y aroma, el mango es un producto que generalmente se consume en fresco, por su alto contenido en vitamina A, C, D y el complejo B, aminoácidos, carbohidratos, ácidos grasos, minerales, ácidos orgánicos, proteínas, fibras y antioxidantes, bajo en calorías, grasas y sodio, es considerada como una fruta altamente saludable e imprescindible en una dieta balanceada (EMEX, 2005; Mukherjee, 2000).

La composición química del mango varía de acuerdo a la variedad y grado de madurez (Tabla 2). Durante el proceso de maduración, el mango es inicialmente ácido, astringente y rico en ácido cítrico (vitamina C), A, B₁ y B₂. Los principales azúcares en el mango son la fructuosa, glucosa y la sacarosa, representando este último, el 15 – 20% del total de los sólidos solubles. Los principales ácidos orgánicos presentes son el ácido málico y el cítrico, encontrándose también en cantidades pequeñas el ácido tartárico, oxálico y glicólico (Mukherjee, 2000; Salunkhe y Desai, 2000).

**Tabla 2.** Composición química y valor nutritivo del mango variedad 'Ataulfo'.

Componente	Cantidad por 100 gramos de porción comestible
Fósforo	14 mg
Calcio	10 mg
Hierro	0.4 mg
Potasio	170 mg
Sodio	10 mg
Vitaminas	
Niacina	0.04 mg
Tiamina	0.04 mg
Riboflavina	0.07 mg
Vitamina C	35 mg
Vitamina A	4 800 U. I.
Agua	81.7 g
Proteína	0.7 g
Grasa	0.4 g
Carbohidratos	16.8 g
Fibra Cruda	0.9 g

FUENTE: Souci y Fachmann (2000).

2.6. Cambios durante la maduración.

El fruto pasa a lo largo de su vida por un serie de etapas, caracterizadas por una secuencia de continuos cambios metabólicos que pueden dividirse en tres etapas fisiológicas fundamentales: crecimiento, maduración y senescencia, sin que sea fácil establecer cuando acaba una y empieza la otra (Rhodes, 1971).

La maduración de las frutas está ligada a complejos procesos de transformación de sus componentes. Los azúcares y otros componentes sufren importantes modificaciones, formándose dióxido de carbono (CO₂) y agua. Todos estos procesos tienen gran importancia porque influyen en los



cambios que se producen durante el almacenamiento, transporte y comercialización de las frutas, afectando también en cierta medida a su valor nutritivo. Fenómenos especialmente destacados que se producen durante la maduración son la respiración, el dulzor, el ablandamiento y los cambios en el aroma, la coloración y el valor nutritivo (Rodhes, 1971).

La etapa más importante y compleja en el desarrollo de la fruta, es el proceso de maduración, que puede dividirse en dos fases: maduración fisiológica y maduración comercial. La primera suele iniciarse antes de que termine el crecimiento celular y finaliza, más o menos, cuando el fruto tiene las semillas en disposición de producir nuevas plantas. La maduración fisiológica sólo se completa adecuadamente en el árbol. La maduración comercial hace referencia al proceso por el cual las frutas adquieren características sensoriales que las definen como comestibles (Rhodes, 1971; Leopold y Kriedemann, 1975).

2.6.1. Respiración.

La respiración tiene como funciones primarias la liberación de energía química almacenada como azúcares, lípidos y otros sustratos, y la formación de esqueletos de carbono que pueden ser usados en varias reacciones de síntesis y mantenimiento. Efecto de ella es el proceso por el cual el oxígeno es aprovechado para metabolizar compuesto de almacenamiento (azúcares y almidón) para formar diversos productos derivados como: CO₂, agua y energía (calor) (Lamúa, 2000).

No controlar la tasa de respiración trae como consecuencias:

- Pérdida de energía y con esta su menor capacidad en el tiempo para que pueda mantener su condición inicial (vida útil).
- Reducción del valor alimenticio total dado su inversión de reservas.
- Pérdida de peso como materia seca debido a la eliminación de dióxido de carbono; y se pierde peso fresco por la eliminación de agua.
- En un ambiente donde el oxígeno es limitado, puede deteriorarse el producto dado que no hay buena ventilación y se tienen entonces condiciones anaerobias.



- Incremento en la temperatura en el ambiente, dado que no obstante la energía liberada en el proceso de respiración sirve para actividades normales del producto, el mayor porcentaje de esta es liberada al medio circundante, lo que requiere estar removiendo cantidades adicionales de energía (Hardenburg *et al.*, 1986).

En frutos climatéricos se alcanza un mínimo en la producción de CO₂, durante la etapa de madurez fisiológica (preclimaterio), posteriormente empieza a aumentar (inicio del climaterio) hasta alcanzar su máximo (máximo climaterio) que generalmente coincide con la madurez de consumo. El descenso final de la respiración (postclimaterio) coincide con la fase de senescencia y muerte celular (Lamúa, 2000).

El mango al ser un fruto climatérico presenta una creciente producción autocatalítica de etileno que junto con la respiración provoca cambios químicos en el fruto que conducen a la formación del color, aroma y textura para ser consumido. También se incrementa la actividad de la catalasa, peroxidasa y enzimas que degradan considerablemente la pared celular (Mitra y Baldwin, 1997). Los patrones respiratorios y el comportamiento postcosecha de los frutos varían ampliamente de acuerdo con la variedad, las condiciones climáticas y el lugar de cultivo (Lakshimnarayana y Subramanyam, 1970).

2.6.2. Carbohidratos.

Los cambios bioquímicos que mayor relevancia tienen durante la maduración de frutos se presentan en los carbohidratos. El contenido de azúcares aumenta invariablemente debido a la hidrólisis que experimentan los polisacáridos, los azúcares formados son utilizados para la respiración. La degradación de los polisacáridos contenidos en las membranas celulares ejerce una importante contribución sobre el aumento del contenido de azúcares (Primo, 1998).

Durante la maduración del mango, el almidón acumulado se hidroliza, con la formación de azúcares. La hidrólisis de los gránulos de almidón en el cloroplasto continúa hasta la maduración (Medlicott *et al.*, 1986; Selvaraj *et al.*, 1989; Kumar *et al.*, 1994).



La glucosa, la fructosa y la sacarosa constituyen la mayoría de los monosacáridos, que se han distribuido para estar en concentraciones similares en los mangos maduros (Shashirekha y Patwardhan, 1976; Shaw *et al.*, 1998).

2.6.3. Pigmentos.

El color de la piel es un importante criterio en la aceptación del mango. En los frutos inmaduros, se presenta un color verde debido a la abundancia de clorofila localizada en los cloroplastos, además contiene otros pigmentos; xantofilas (colores amarillos) y carotenos (colores naranjas). La maduración se caracteriza por una degradación de la clorofila, al mismo tiempo que se desenmascara el color de xantofilas, carotenos y antocianos dependiendo de la variedad del mango (Tirill y Burgoeis, 2002).

El color de la piel durante la maduración del fruto presenta colores desde verde oscuro, verde oliva; algunas veces púrpura, amarillo-naranja o amarillo, los cuales aparecen dependiendo de la variedad. (Jonh *et al.*, 1970; Lakshminarayana, 1980; Lizada, 1993).

2.6.4. Enzimas.

La maduración del mango se caracteriza por el ablandamiento de la pulpa. El climaterio se asocia con la pérdida de firmeza en el fruto. La información disponible con relación a la pared celular y el proceso de ablandamiento puede obedecer a procesos enzimáticos y no enzimáticos (Díaz-Sobac *et al.*, 1997).

El ablandamiento del mango se caracteriza por un aumento en la solubilidad de las pectinas de la pared celular. La temperatura es muy importante no solo en la maduración del mango, sino también en la actividad de las enzimas que causan el ablandamiento de la fruta. La enzima poligalacturonasa (PG), responsable de la degradación del enlace α -1-4 de los residuos del ácido galacturónico, y la enzima pectinesterasa (PE), que cataliza la desesterificación de los grupos metilos de las pectinas ácidas, se encuentra presente en mangos maduros. Otras hidrolasas de la pared celular que también se encuentran presentes en mangos maduros son las celulasa, β -galactosidasa, galactanasa y xilinas. La masa molecular de las hemicelulosas de la pared celular disminuye durante la maduración lo que indica



también, que se lleva a cabo un proceso no enzimático durante el ablandamiento de la pulpa. En general, los polisacáridos solubles en agua aumentan durante la maduración (Díaz-Sobac *et al.*, 1997).

Otro factor importante es el pardeamiento originado por múltiples alteraciones a los tejidos como pueden ser traumatismos mecánicos, choques térmicos o alteraciones fisiológicas. Aunque el pardeamiento puede o no ser de origen enzimático, la mayoría de ellos, son debidos a la oxidación enzimática de los compuestos fenolitos por la acción de las polifenol oxidasas (PPO) o de las peroxidasas (POD) (Billot, 2002).

Durante la oxidación el papel esencial lo desempeñan las PPO, sin embargo el papel fisiológico de las PPO en el desarrollo y maduración de los frutos no esta claramente establecido. Las peroxidasas se caracterizan por su capacidad para oxidar diferentes dadores de hidrogeno, están implicadas en diversas funciones bioquímicas y fisiológicas, en particular la reticulación de las paredes por los ácidos fenolitos y en la disposición de las ligninas. Las reacciones catalizadas por las peroxidasas generan compuestos que modifican el sabor de los frutos y favorecen al pardeamiento (Billot, 2002).

2.7. Pérdidas poscosecha del mango.

Las pérdidas poscosecha en México se pueden calcular en un rango de 25 al 45%, y principalmente es atribuido a desórdenes fisiológicos (daños por frío), daños mecánicos (por un mal manejo del fruto), problemas fitosanitarios como enfermedades (Antracnosis, Cenicilla, pudrición del pedúnculo, pudrición por *Alternaria*, entre otros) y el ataque de plagas (mosca de la fruta principalmente el género *Anastrepha*) (Becerra, 1995; Aguirre y Fernández, 1999; Páez, 2006).

2.7.1. Desórdenes fisiológicos.

Los desórdenes fisiológicos son producto de alteraciones que ocurren en los tejidos del fruto y se pueden generar en respuesta a un ambiente adverso, especialmente a temperatura o composición atmosférica, como a deficiencias nutricionales durante el crecimiento y desarrollo del fruto. De éste término se excluyen las alteraciones originadas por plagas o patógenos. En general, la mayoría de los



desórdenes fisiológicos se desarrollan o manifiestan en la etapa de postcosecha de la fruta pero se inducen durante el crecimiento y maduración del producto (Wills *et al.*, 1989).

El principal desorden fisiológico que se presenta, es el conocido comúnmente como daño por frío. Las frutas y hortalizas de origen tropical, subtropical y templado son susceptibles al frío y presentan este desorden en distinto grado y con diferente sintomatología. Dicha susceptibilidad depende del cultivar, temperatura y tiempo de exposición, del grado de madurez, de las características climáticas de la zona y del cultivo y en especial las temperaturas anteriores a la cosecha (Wang, 1990; Salveint y Morris, 1990; Bramlage y Meir, 1990).

Este desorden es uno de los principales problemas poscosecha por lo cual la vida comercial de muchos productos se ve afectada. La presencia de este desorden constituye un importante impacto económico, permitiendo menor disponibilidad de alimentos, menor estacionalidad de la oferta y costos variables a lo largo del año.

La gran susceptibilidad de los frutos tropicales y subtropicales al daño fisiológico por frío, referido como daño por frío, es la más seria desventaja de la refrigeración para extender la vida postcosecha de estos productos (Couey, 1982).

Los frutos de origen tropical están generalmente sujetos a este daño fisiológico cuando se exponen a temperaturas inferiores al rango de 10 a 13° C, y superiores al punto de congelación. Los daños se caracterizan por debilitamiento de los tejidos a causa de su incapacidad de llevar a cabo los procesos metabólicos normales, y estos dependen del producto en particular, siendo los síntomas comunes:

- Decoloración interna y externa
- Puntilleo superficial
- Incremento en pérdidas de peso
- Incremento del deterioro
- Comportamiento pobre en la maduración
- Pérdida de habilidad para sintetizar compuestos aromáticos típicos



Es importante destacar el hecho de que los síntomas del daño por frío se evidencian días después de que el producto ha estado expuesto a temperatura ambiente y que responden a un efecto acumulativo de la combinación de tiempo de exposición y el diferencial de temperaturas más bajas que la temperatura recomendada (Hardenburg *et al.*, 1986).

2.7.2. Daños Mecánicos.

El daño mecánico induce pérdidas de agua a través de heridas en la superficie del producto, facilita el ingreso de patógenos, acelera la respiración y con frecuencia también la producción de etileno, lo que causa mayor liberación de calor, una maduración más rápida y una vida útil reducida (Hardenburg *et al.*, 1986).

El daño mecánico se origina básicamente en 1) la *compresión* o fuerza de una masa de producto sobre los productos que se encuentran en la base, situación que encontramos en el transporte a granel de los frutos hacia las plantas agroindustriales o hacia las empacadoras, 2) el *impacto*, que puede darse por choque fruta contra fruta, como el que se genera cuando los frutos chocan con las paredes de un transportador o por los cambios de dirección, 3) la *vibración*, que ocurre cuando se transporta frutos por caminos irregulares, donde la fruta choca una contra otra o bien con el recipiente contenedor. La respuesta de un fruto a perder su forma depende del cultivar, el grado de hidratación celular, el estado de madurez, el tamaño y peso del producto, las características de la piel y también de la temperatura (Thompson, 1998).

2.7.3. Factores fitosanitarios.

2.7.3.1. Enfermedades.

Las enfermedades postcosecha pueden ocasionar serias pérdidas de fruta tanto en términos de cantidad, como de calidad. Los mangos infectados con patógenos pierden valor comercial (Wilson *et al.*, 1994; Allende-Molar *et al.*, 2002). Existen muchas enfermedades que aquejan al mango, de las cuales podemos mencionar las siguientes:



- **Antracnosis.**

Se trata de una de las enfermedades que causan graves daños postcosecha en todas las zonas productoras de mango y está asociada a regiones donde se presenta alta humedad, sin embargo no tiene incidencia en climas secos. Es producida por el hongo *Colletotrichum gloeosporoides* y afectan hojas, flores y sus pedúnculos (figura 7) (Mukherjee, 2000).

Los frutos pueden ser infectados en cualquier etapa de crecimiento. Los frutos jóvenes afectados se desprenden y caen de los árboles; en los frutos maduros, se forman manchas negras concéntricas y pequeñas que aumentan su tamaño a medida que madura el fruto.



Figura 7. Antracnosis en mango
FUENTE: Mango information Network (2003).

- **Mancha negra.**

Esta enfermedad postcosecha es causada por el hongo *Alternaria alternata* (figura 8). Se presenta una vez que los frutos han sido recolectados, al comienzo de la maduración; el patógeno penetra a través de las lentécelas. Inicialmente se presenta con la aparición de pequeñas manchas circulares, a continuación estas manchas se agrandan y dan lugar a una mancha única que llega a cubrir la mitad del fruto. La enfermedad progresa y las manchas penetran a la pulpa que se oscurece y ablanda (Mukherjee, 2000).



Figura 8. Mancha negra en mango
FUENTE: Dave's Garden (2004).

- **Pudrición del pedúnculo o Muerte negra.**

Esta enfermedad se puede presentar cuando los niveles de antracnosis son reducidos por control precosecha o factores climatéricos. La infección es causada por *Lasioidplodia theobromae* y *Dohiorella spp.* Esta infección provoca la aparición de manchas negras en la base del pedúnculo y puede extenderse sobre todo el fruto en pocos días si las condiciones ambientales son favorables (figura 9) (Mukherjee, 2000; Salunkhe, 2000).



Figura 9. Pudrición del pedúnculo en mango
FUENTE: Dave's Garden (2004).

- **Pudrición por hongo negro.**

Causada por *Aspergillus niger vr. tieghem.* Provoca manchas de color gris o café pálido que pueden formarse en cualquier parte de la superficie del fruto, las cuales toman a lesiones de color café o negro provocando áreas hundidas y suaves (Mukherjee, 2000).



- **Mancha negra bacteriana.**

Es causada por la bacteria *Xanthomonas campestris*. Las infecciones provocan áreas hundidas alrededor de las heridas y rápidamente llegan a ser grietas en la superficie del fruto (figura 10) (Mukherjee, 2000).



Figura 10. Mancha negra bacteriana en mango
FUENTE: Dave's Garden (2004)

- **Oidium**

La enfermedad causada por Oidium (*Erysiphe cichoracearum*; *imp. Oidium mangiferae*) de acuerdo con el nivel de daño, puede ocasionar pérdidas en la cosecha que van desde el 2% hasta el 25%. La inflorescencia afectada toma una apariencia blanquecina, produciendo la apariencia de haber sido espolvoreada con harina de trigo. Ataca primero las hojas tiernas, que se encuentran cercanas a las inflorescencias, extendiéndose luego a todo lo largo del eje floral y del pedúnculo. El patógeno se alimenta de las células externas de las flores y frutos inmaduros, que se secan y se caen (Roberts y Boothoyd, 1978; Páez, 2006).

2.7.3.2. Plagas.

Entre los principales problemas fitosanitarios que afectan al mango destacan las plagas, presentándose gran cantidad de insectos con hábitos alimenticios diversos y cuya presencia no determina que dañe al mango. Las plagas más importantes por los daños directos al fruto, o indirectos (follaje y ramas) que causan son: mosca de la fruta, trips, hormigas y escamas. La presencia de estos insectos no indica que el cultivo este en etapa de riesgo, pero si influye en la calidad de la fruta,



además, el daño causado puede ser la “puerta de entrada” para ciertos patógenos causantes de otros problemas fitosanitarios que afectan el rendimiento y la calidad del producto (Altieri *et al.*, 1989).

- **Trips**

Los trips (*Selenotrips rubrocintus*) representan un peligro en los cultivos del mango. Estos insectos se caracterizan por tener un aparato de tipo “raspador–picador”. Se alimentan a base de polen, esporas de hongos y son de importancia económica ya que afectan el follaje, las inflorescencias y los frutos de diferentes especies. Su control se hace aplicando productos químicos y /o control biológico. En el caso de control con productos químicos el más usado es el malation (endosulfan) (Galán-Saúco, 1999).

- **Broca del mango o secamiento del mango**

La broca del mango (*Hypocryphalus mangiferae*) es de color castaño. El color de la larva es blanco y de forma encorvada. Este insecto perfora la corteza del árbol hasta el leño, aunque no penetra en éste. También es considerado un vector de la enfermedad conocida como secamiento del mango, producida por el hongo *Ceratocystis fimbriata* E., que puede producir la muerte de la planta si se deja aumentar el nivel de población dentro del huerto (Páez, 2006).

- **Trigona**

El trigona (*Trigona sinipc*, *T. trimidense*) son abejas silvestres que atacan los brotes nuevos. También afectan flores y frutas pequeñas (Páez, 2006).

- **Coccidos.**

Los insectos de esta familia que atacan al mango son numerosos, como la cochinilla blanca, la cochinilla de la tizne, el piojo rojo, etc. Sus daños se producen tanto en el tronco como en hojas y frutos; además originan una melaza sobre las partes afectadas que favorece el ataque de diversos hongos. Los frutos pueden sufrir decoloraciones que impiden su exportación (Páez, 2006).



- **Mosca del mediterráneo**

Las hembras de la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*) ovipositan en la cáscara de los frutos; posteriormente emergen las larvas que se alimentarán y destruirán completamente la pulpa, ocasionando en algunos casos, la madurez prematura del fruto atacado. Finalmente las larvas caen al suelo para pupar (Galán-Saúco, 1999).

2.8. Generalidades de la mosca de la fruta.

La producción de frutales en general tiene diversos problemas de sanidad, principalmente plagas y enfermedades. Entre las plagas más importantes de los frutales mexicanos se encuentran las moscas de la fruta que tienen entre sus hospedantes comunes al mango y a los cítricos. Estas moscas representan un serio problema para la exportación de estos productos agrícolas, tanto por las normas internas y externas que regulan su comercialización como por las condiciones exigidas para que el producto sea exportable (Aluja, 1994).

Las moscas de la fruta, se incluyen en el Orden Diptera de la familia *Tephritidae*. De acuerdo al número de generaciones producidas al año se pueden dividir en dos grandes grupos generales: especies univoltinas (una generación al año) que habitan en regiones de clima templado (especies de *Rhagoletis*), y las especies multivoltinas (varias generaciones al año) comunes en regiones con climas tropicales y subtropicales (especies de *Anastrepha*) (Aluja, 1993).

Las moscas de la fruta de la familia *Tephritidae* son consideradas como una de las 10 plagas de frutales de mayor importancia económica en el mundo (Aluja, 1993). Destacan de entre ellas los géneros *Anastrepha* y *Ceratitis* (Aluja, 1993). Las especies del género *Anastrepha* son las más devastadoras al ocasionar daños directos a la fruta (Aluja, 1994; Aluja *et al.*, 1996).

Los adultos del género *Anastrepha* llegan a medir de 1.5 a 6 mm de longitud, con color café amarillento. En el tórax, tienen una franja delgada y clara, que se ensancha hacia la parte posterior y dos franjas a los lados, que llegan hasta la sutura transversal; frecuentemente con mancha difusa en la



parte media de la sutura escuto – escutelar, pleura y metanoto café amarillento y los dos, con una franja café obscura o negra (Aluja, 1993).

Las larvas ocasionan daños, pues al alimentarse de la pulpa del fruto forman túneles donde posteriormente se desarrollan hongos y bacterias, que descomponen la fruta, provocando que la pulpa adquiera un color café oscuro con aspecto desagradable y zonas necróticas, fibrosas y endurecidas (Aluja y Boller, 1992b; Aluja 1993; Aluja, 1994).

2.8.1. Especies.

En el mundo existen alrededor de 4 000 especies del género *Anastrepha*, reportándose 185 especies que viven en los trópicos de América (Aluja, 1994; Aluja *et al.*, 1996). Se han reportado que el 43% se encuentra en América del Sur, el 15% en Centroamérica y Panamá; el 4% en México y EUA; el 1% en las pequeñas y grandes Antillas (Aluja, 1994).

Las especies del género *Anastrepha* están consideradas como la plaga nativa más importante de los frutales, hortalizas y algunos otros cultivos en la porción tropical y subtropical de América (Tabla 3). Del género *Anastrepha*, se conocen siete especies que destacan por el daño que causan a los frutos: *A. fraterculus* Wiedemann, *A. grandis* (Mcquart), *A. serpentina* (Wiedemann), *A. striata* Schiner, la mosca del la fruta del Caribe, *A. suspensa* (Loew), la mosca mexicana de la fruta, *A. ludens* y la mosca de la fruta de la India Occidental, *A. oblicua* (figura 11) (Aluja *et al.*, 1987a; Aluja *et al.*, 1987b; Aluja 1993; Toledo, 1993; Moreno *et al.*, 1994; Aluja *et al.*, 1996).

En México, cuatro especies de las 19 reportadas, son consideradas de importancia económica (Aluja y Liedo, 1986). De estas, la mosca mexicana de la fruta, *Anastrepha ludens* (Loew) y la mosca del mango, *Anastrepha oblicua* (Mcquart) representan el 96% de todos los individuos capturados con las trampas McPhail (Aluja *et al.*, 1996).



Tabla 3. Principales especies de mosca de la fruta en México.

Nombre científico	Nombre Común	Fruto al que ataca
<i>Anastrepha ludens</i>	Mosca mexicana de la fruta	Mango y Cítricos.
<i>A. obliqua</i>	Mosca del mango	Mango, ciruela
<i>A. striata</i>	Mosca de la guayaba	Guayaba
<i>A. serpentina</i>	Mosca de los zapotes	Zapotes (de traspatio)
<i>Rhagoletis pomonella</i>	Mosca de la manzana	Manzana, tejocote, durazno

FUENTE: Elaborada a partir de información recopilada de: Aluja *et al.* (1987); Aluja (1993); Aluja *et al.* (1996).

Las moscas de la fruta son una plaga bien conocida en México, por el impacto devastador que pueden tener sobre la producción comercial de frutos; regiones frutícolas enteras han sido forzadas a salir del comercio, debido a infestaciones graves de estos insectos (Aluja y Liedo, 1986)



Figura 11. Diferentes especies de mosca de la fruta
FUENTE: Prieto *et al.* (2005)

2.8.1.1. Mosca mexicana de la fruta.

Los primeros estudios morfológicos y descriptivos de la especie *A. ludens* se iniciaron en 1933 por Damp con una amplia variedad de árboles hospederos silvestres y cultivados. Las especies de *Anastrepha* son endémicas en el Nuevo Mundo y están restringidas en ambientes tropicales y subtropicales que se encuentran desde el Sur de Estados Unidos hasta el Norte de Argentina (Aluja, 1994).



La especie *A. ludens* (figura 12) es una especie neotropical que se localiza desde la parte más baja del Río Grande en Texas hasta Costa Rica (Aluja, *et al.*, 1983).



Figura 12. Mosca mexicana de la fruta *Anastrepha ludens* Loew macho (izquierda) y hembra (derecha).
FUENTE: Biology Cabinet, (2007)

2.8.1.1.1. Taxonomía.

La ubicación taxonómica de la mosca mexicana de la fruta *A. ludens* se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Ubicación taxonómica de la mosca mexicana de la fruta *A. ludens* Loew

Categoría taxonómica	Nombre científico
Phyllum	Arthropoda
Subphyllum	Mandibulata
Clase	Insecta
Subclase	Pterygota
División	Endopterygota
Orden	Diptera
Suborden	Cyclorhapha
Sección	Acalyptrata
Superfamilia	Tephritoidea
Familia	Tephritidae
Subfamilia	Trypetinae
Tribu	Toxotrypanini
Grupo	Fraterculus
Género	<i>Anastrepha</i>
Especie	<i>Anastrepha ludens</i> (Loew)

FUENTE: Hernández-Ortiz (1992); Norrbon y Hernández-Ortiz (1993).



2.8.1.1.2. Morfología.

Para poder identificar claramente a esta plaga, se presentan algunas características particulares de la mosca mexicana de la fruta *A. ludens* Loew.

- **Características morfológicas de los adultos de la mosca de la fruta.**

Cabeza.- Cabeza es grande y ancha con las genas y el vértice amarillos totalmente; la cara recta moderadamente desarrollada y sin una protuberancia media; cerdas ocelares pobremente desarrolladas y apenas visibles, frente ancha con dos pares de sedas orbitales presentes; longitud antenal moderada; ojos grandes de color verde luminoso; antenas de tipo decumbente formada por tres segmentos, son cortas y presentan aristas; el aparato bucal con probóscide corta, carnosa y con labella grande (figura 13) (Aluja, 1993; Hernández, 1992).

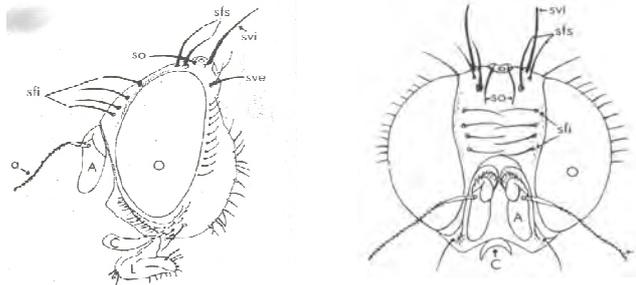


Figura 13. Cabeza en vista frontal y lateral de *A. ludens*
FUENTE: Aluja (1993)

Tórax.- Constituido por tres regiones características que son: el preescuto, el escuto y el escutélum que lleva gran cantidad de setas; macrosetas del tórax castaño negruscas o totalmente negras; con una franja delgada clara que se va ensanchando hacia la parte posterior y dos franjas más a los lados que van de la sutura transversa hasta poco antes de llegar al escutelo. Con una mancha oscura en la parte media de la sutura escuto-escutelar; a veces difusa. Pleura y metanoto café amarillo y los lados con una franja café oscuro o negro (figura 14) (Aluja, 1993; Hernández, 1992).

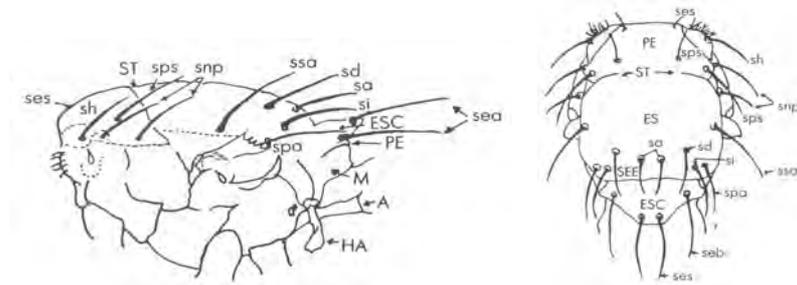


Figura 14. Tórax en vista dorsal y lateral de *A. ludens*

FUENTE: Aluja (1993)

Alas.- Son grandes con bandas de color café amarillento pálido, formando diversos patrones de coloración; bandas costal y S tocándose en la vena R4+5 ó ligeramente separadas; mancha hialina en el ápice de R1 siempre presente; banda en V separada de la banda en S o ligeramente conectadas, el brazo distal de la banda V completo o algunas veces separado del brazo proximal en su porción superior; curvatura de la vena M moderada (figura 15) (Aluja, 1993; Hernández, 1992).

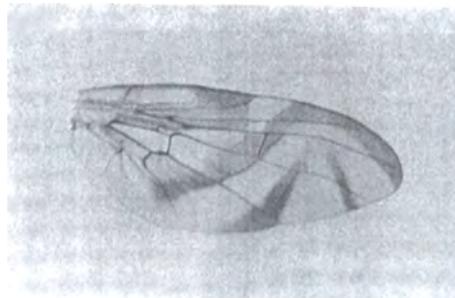


Figura 15. Ala derecha de *A. ludens*

FUENTE: Aluja (1993)

Abdomen.- Constituido por cinco o seis segmentos con todos los terguitos amarillos. La genitalia del macho es pequeña y en algunos casos parcialmente expuesta, se compone de dos ganchos triangulares y alargados, cada uno muestra dos dientes cerca de la parte media (figura 16) (Aluja, 1993; Hernández, 1992).

Ovipositor o Aculeus.- De tamaño mediano de 3.4 a 4.7 mm de longitud presenta de 9 a 10 dientes por lado de forma redondeada. Funda del ovipositor o séptimo segmento de tamaño variable pero siempre más largo que el resto del abdomen, hasta casi dos veces más largo que este.

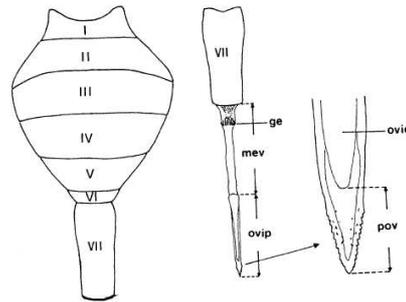


Figura 16. Abdomen y ovipositor típico del genero *Anastrepha*
FUENTE: Hernández (1992).

2.8.1.1.3. Ciclo de vida.

Los estados biológicos de las moscas de la fruta varían de región a región, dependiendo de las características climáticas que prevalezcan en una determinada zona y de las condiciones ecológicas, teniendo gran influencia la temperatura, humedad, disponibilidad de alimento, vegetación, sustrato de oviposición y pupación (Aluja, 1993). El desarrollo de larvas y pupas es muy sensible a la temperatura e influye además en la supervivencia, longevidad y reproducción (Yang *et al.*, 1994; Yasuda *et al.*, 1994).

La mosca de la fruta presenta metamorfosis completa que incluye huevo, larva, pupa y adulto (figura 17). La mayor parte de su vida la pasan en estado inmaduro, cuando dañan a los frutos (Aluja *et al.*, 1987a; Aluja, 1993; Aluja *et al.*, 1996). Su ciclo de vida dura aproximadamente de 35 a 40 días, dependiendo de las condiciones climáticas. Presentan de 4 a 8 generaciones por año, aunque en los trópicos pueden presentarse hasta 10 generaciones (Aluja, 1993).

- **Huevo.**

Cuando la hembra es fecundada perfora con su ovipositor la epidermis de los frutos próximos a madurar, generalmente en el área cercana al pedúnculo y deposita de 5 a 15 huevecillos de menos de dos milímetros de color blanco cremoso, alargados y ahusados en los extremos y el desarrollo inmaduro se realiza en el interior del fruto, lo que significa que haya poca probabilidad de afectar las etapas inmaduras con rocíos foliares (Moreno *et al.*, 1994).



La oviposición se efectúa de tres a seis días después del apareo. Una hembra puede ovipositar hasta 400 huevecillos durante su vida; estos son ovipositados a pocos milímetros de la epidermis y tardan de uno a cuatro días en eclosionar (Aluja, 1994).

- **Larva.**

Las larvas emergen de la ovipostura, alcanzan a medir de 3 a 15 mm de longitud con forma mucidiforme, o sea, ensanchada en la parte caudal y adelgazándose gradualmente hacia la parte frontal; de color blanco o blanco amarillento (Aluja, 1993a).

Las larvas permanecen dentro del fruto de 8 a 15 días, pero este tiempo es variable y está determinado por factores ambientales (Aluja, 1994) y se puede extender a más de 60 días. Los frutos maduran más pronto cuando se encuentran infestados. Las larvas pasan por tres estadios, que se pueden determinar por el tamaño de las mismas y presentan dimorfismo sexual; cuando alcanzan el tercer estadio, salen del fruto produciendo un orificio redondo, rodeado por una zona de consistencia blanda (Aluja, 1993; Aluja, 1994).

La salida de la larva ocurre cuando el fruto ha caído al suelo, donde recorre una corta distancia y se entierra de 5 a 10 cm de profundidad para pupar (Aluja 1993; Moreno *et al.*, 1994), y está determinada por las características del fruto (pH, temperatura interna, grado de pudrición) y por señales físicas, cuando la fruta madura cae al suelo o es expuesta a la lluvia. La profundidad de pupación está influida en gran parte por el tipo, pH, grado de compactación y la humedad del suelo (Aluja, 1994).

- **Pupa.**

El estado de pupa tiene una duración de 13 a 17 días; es una cápsula cilíndrica con 11 segmentos, de 3 a 10 mm de longitud y 1.25 a 3.25 mm de diámetro; el color varía en las distintas especies; los espiráculos anteriores y posteriores se observan igual que en las larvas, solo que más oscuros (Aluja, 1993). Los machos de *A. ludens* maduran en 5 días y las hembras en 8 días a 26° C. El adulto próximo a emerger rompe el pupario con el ptilinum, estructura que se localiza en la parte frontal de la cabeza (Aluja, 1993; Sivinski, 1993).



- **Adulto.**

Los adultos son más grandes que las moscas domésticas y se reconocen fácilmente por las ornamentaciones oscuras en las alas transparentes. Presentan ojos verdes, en el tórax tienen dibujos anaranjados, amarillos, cafés o negros (Aluja, 1993).

El apareo ocurre entre los seis y doce días después de la emergencia, durante el día. Viven de 30 a 40 días aproximadamente en zonas tropicales, aunque pueden mantenerse vivas de ocho a doce meses en climas templados (Aluja, 1993; Sivinski, 1993).

En condiciones de laboratorio la longevidad, frecuencia y sobrevivencia se incrementa en gran medida (Sivinski, 1993). La edad de la primera reproducción está fuertemente influenciada por la temperatura y varía de 8 a 20 días, dependiendo de la especie. El tipo de alimento, disponibilidad de agua, tamaño de la mosca y población de la mosca influye en el promedio de vida (Aluja, 1994).

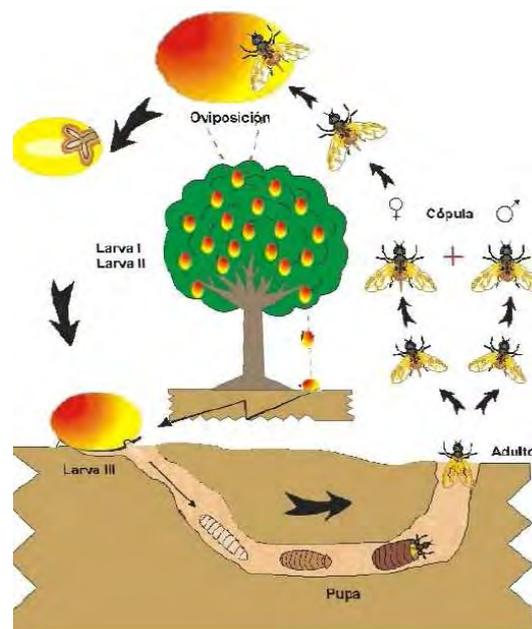


Figura 17. Ciclo de vida de la mosca mexicana de la fruta.
FUENTE: Hernández (1992).



2.8.1.1.4. Frutos hospederos.

Anastrepha ludens es la especie de mayor distribución en todo el país con amplia dispersión en el altiplano. De alimentación frugívora y polífaga se conocen alrededor de 25 hospederos naturales, los cuales comprenden varias familias, entre los que destacan sus hospederos nativos, el zapote amarillo (*Sargentiu gregii*) y en menor proporción el zapote blanco (*Cusimiroa edulis*). Los hospederos introducidos afectados con mayor daño y frecuencia son varias especies de cítricos (*Citrus sp.*) y el mango (*Mangifera indica L.*) en este último al parecer se encuentra una competencia con *A. oblicua* en la utilización de dicho recurso (Aluja *et al.*, 1983; Aluja *et al.*, 1987a; Aluja *et al.*, 1987b; Aluja *et al.*, 1990; Aluja, 1993; Toledo, 1993; Aluja, 1994; Moreno *et al.*, 1994; Aluja *et al.*, 1996).

2.8.1.1.5. Distribución.

La mosca mexicana de la fruta (*Anastrepha ludens* Loew) es encontrada en Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México y Nicaragua. La plaga se ha establecido en Río Grande en el sur del valle de Texas. La mosca mexicana de la fruta se encuentra también a lo largo de México con la excepción de algunas regiones en el norte del país. En la tabla 5 se clasifican las diferentes zonas según el control fitosanitario. (SAGARPA, 2004).

Tabla 5. Zonas de control fitosanitario para el control de mosca de la fruta

Zonas de aplicación	Estados
Zona libre de mosca de la fruta	Chihuahua, Sonora, Baja California y Baja California Sur
Zona de baja prevalencia de mosca de la fruta	Coahuila, Nuevo León, Sinaloa y la zona norte y centro de Tamaulipas
Zona de bajo control fitosanitario	Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Colima, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco y la zona sur de Tamaulipas

FUENTE: SAGARPA (2007)



2.9. Métodos de control en precosecha.

2.9.1. Trampeo masivo.

Los tratamientos no químicos. Entre estos, se pueden mencionar la aplicación de trampas cebadas con atrayentes alimenticios conocidas como trampas de McPhail o foliares, se utilizan para detectar la presencia y ubicación de la plaga de mosca de la fruta pero su costo suele ser caro, se rompe fácilmente y su manejo es muy complicado (Aluja *et al.*, 1989; Aluja *et al.*, 1990; Aluja, 1994; Aluja *et al.*, 1996; Aluja y Prokopy, 1992; Aluja y Prokopy, 1993b; Greany y Rhierd, 1993; Robacker y García, 1993; Robacker *et al.*, 1996).

Se han desarrollado modificadores del comportamiento de los insectos, feromonas o atrayentes sexuales, visuales, químicos volátiles; disuasivas en la oviposición, el uso de radiaciones, etc (Robacker y García, 1993; Landdolt y Philips, 1997; Robacker *et al.*, 1993).

2.9.2. Control químico.

La aplicación de insecticidas se hacen de manera poco responsable ambientalmente hablando; no obstante, la destrucción de alimento y fibras por plagas continua en un 37% y las pérdidas por insectos casi se han duplicado (Pimentel *et al.*, 1991; Pimentel, 1995; Lacey y Gottel, 1995).

Actualmente, el método más utilizado para el control de la mosca es una mezcla de roció aéreo a base de malatión-cebado. Sin embargo, el malatión rompe el control biológico por su toxicidad residual sobre insectos benéficos no plaga (Moreno *et al.*, 1994; Greany y Rhierd, 1993; Georgia y Poinar, 1989).

2.9.3. Medidas cuarentenarias

Este control se ejecuta a través de cuarentenas, permisos limitados, certificados de origen, certificación de huertos, autorización y cumplimiento estricto de procedimientos para la desinfestación de frutas, establecimiento de zonas libres de moscas y muchas otras medidas. El control legal esta



reglamentado por acuerdos internacionales, nacionales, regionales y locales (Aluja *et al.*, 1987^a; Aluja, 1993; Aluja, 1994 Sharp *et al.*, 1988; Sharp y Gould, 1994; Hallman *et al.*, 1995; Aluja y Boller, 1992a; Aluja y Boller, 1992b).

2.9.4. Liberación de machos o insectos estériles.

Consiste en producir una gran cantidad de larvas de macho de la plaga, y someterlas a irradiación con una fuente de radiación gamma de Cobalto 60 para lograr la atrofia del aparato reproductor, produciendo así una gran cantidad de machos estériles. Posteriormente los machos son liberados en grandes cantidades y se aparean con las moscas hembras, desplazando a los menos abundantes machos fértiles nacidos en libertad. La técnica es tremendamente efectiva y permite minimizar el impacto de las plagas a la vez que reduce sustancialmente la utilización de pesticidas y plaguicidas químicos (IPEN, 2007).

La técnica de insecto estéril (TIE) tiene un alto potencial de control y es un procedimiento relativamente benigno para el medio ambiente, demostrando su utilidad para la supresión o erradicación de la mosca de la fruta (Ponce *et al.*, 1993).

El uso de la TIE presenta varias limitantes. Un problema para su producción en masa, es que es un proceso avanzado y costoso, y produce un gran número de hembras no deseadas las cuales no contribuyen significativamente al control estéril, pero consumen la mitad de los recursos del programa (Aluja, 1993; Baranowki *et al.*, 1993). La aplicación está limitada a condiciones especiales: poblaciones de insectos bien establecidos, restringidas en su distribución y requieren previamente la reducción de la población silvestre, la cual se lleva a cabo con el rocío aéreo de malation, el cual causa serios problemas ambientales por lo que es poco aceptable (Gingrich, 1987; McDonald *et al.*, 1993; Aluja, 1993; Aluja, 1994).

2.10. Tratamientos físicos postcosecha en mango.

El mango es uno de los frutos más sensibles al daño por frío y al ataque tanto de enfermedades como de plagas, provocando esto grandes pérdidas económicas para el país. Se han desarrollado



tratamientos poscosecha, los cuales tienen efectos positivos en el alargue de la vida de anaquel y el control de patógenos y plagas. La aplicación y el desarrollo de estas técnicas favorecen la eliminación de tratamientos químicos que van unidos a la conservación y que también pueden provocar intoxicaciones por un mal manejo de los productos químicos aplicados.

Una de las principales razones por la cual se utilizan tratamientos térmicos poscosecha para la conservación de frutos y hortalizas es la de evitar en lo posible el uso de tratamientos químicos poscosecha, ya que el mercado actual demanda productos, en la medida de lo posible, exento de productos químicos.

La máxima tolerancia de las plantas a las altas temperaturas normalmente es en el rango de 42 – 60° C. Una corta exposición a temperaturas cercanas a la máxima soportada, son una situación de crisis que relaciona la supervivencia y la capacidad de recuperación, mientras más expuesto a temperaturas inferiores es más difícil de cuantificar el daño (Paull y Chen, 2000). Los mangos son considerados con una relativa alta tolerancia al calor, cuando se compara con otras frutas.

Entre los principales tratamientos poscosecha aplicados en mango encontramos:

- **Tratamiento con vapor (VHT: Vapour Heat Treatment).**

Tratamiento térmico donde se utiliza vapor caliente que va desde los 43 – 47° C por rangos de tiempo desde 10 minutos hasta 6 horas. Cabe mencionar que estos tratamientos han prestado mayor eficiencia para la eliminación de diversas plagas en sus diversos estados de crecimiento. Por ejemplo, la aplicación de vapor a 51.2°C/ 90 minutos provoca la muerte de el 100% de larvas de la mosca de la fruta del Caribe (Sharp, 1991).

- **Tratamiento con aire caliente forzado (FHAT: Forced Hot-Air Treatment).**

Utilizando aire caliente forzado como medio de calentamiento con condiciones de tiempo / temperatura similares a los utilizados en los tratamientos de vapor.



- **Atmósferas Controladas.**

Tratamiento que tiene como finalidad mantener la calidad de los organismos vegetales almacenados con atmósferas controladas como una tecnología coadyuvante al frío. Con el objetivo de mantener bajos los niveles de O₂ y elevados niveles de CO₂, para prolongar la vida de estos. La utilización de atmósferas con concentraciones elevadas de CO₂ y bajas en O₂ puede disminuir la tasa respiratoria, así como reducir la producción de etileno, provocando un aumento en la vida de anaquel (Mitra y Baldwin, 1997). Se ha encontrado que atmósferas ricas en CO₂ pueden controlar a la mosca de la fruta (Yahia y Flores, 2001).

- **Tratamiento de inmersión en agua caliente o hidrotérmico (HWT: Hot Water Immersion Treatment)**

Actualmente existe un plan de trabajo desarrollado conjuntamente por el *United States Department of Agriculture (USDA)*, *Animal and Plant Health Inspection Service, International Service (APHIS-IS)* y por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en el cual se describen los lineamientos por los cuales debe ser aplicado el tratamiento hidrotérmico para mangos de explotación a Estados Unidos y se resumen a continuación.

Tratamiento para mangos de México, contra el combate de *Anastrepha* spp. (*A. ludens*, *A. serpentina* y *A. obliqua*) y *Ceratitidis capitata*.

El tratamiento se aplicará a mangos del tipo Francis u otros de forma similar de 570 gramos o menos durante 75 minutos, y de 375 gramos o menos durante 65 minutos. Para otras variedades, tratar los mangos de 900 gramos o menos durante 110 minutos, 700 gramos o menos durante 90 minutos y de 500 gramos o menos durante 75 minutos.

Se mantendrán los mangos a una temperatura no menor de 21.1° C (70° F), antes de iniciar el tratamiento. La fruta deberá estar sumergida a 4 pulgadas (10.2 cm) bajo la superficie del agua a una temperatura de 46.1° C (115° F), que deberá mantenerse durante todo el proceso de tratamiento, excepto que, por fallas técnicas la temperatura baje hasta 45.4° C (113.7° F) por un periodo no mayor



de 15 minutos en cualquier tratamiento de 110 y 90 minutos y/o no más de 10 minutos en tratamientos de 75 o 65 minutos. El agua no deberá estar a una temperatura menor de 45.4° C (113.7° F) después de los primeros cinco minutos del tratamiento y por el resto del proceso.



3. Objetivos

3.1. Objetivo general.

Comparar el efecto del tratamiento térmico de vapor saturado con el tratamiento hidrotérmico para el control de la mosca mexicana de la fruta (*A. ludens*), sin que afecte la calidad en mango (*Mangifera indica* L.) variedad 'Ataulfo' y que permita establecer una alternativa para las empresas exportadoras de estos productos.

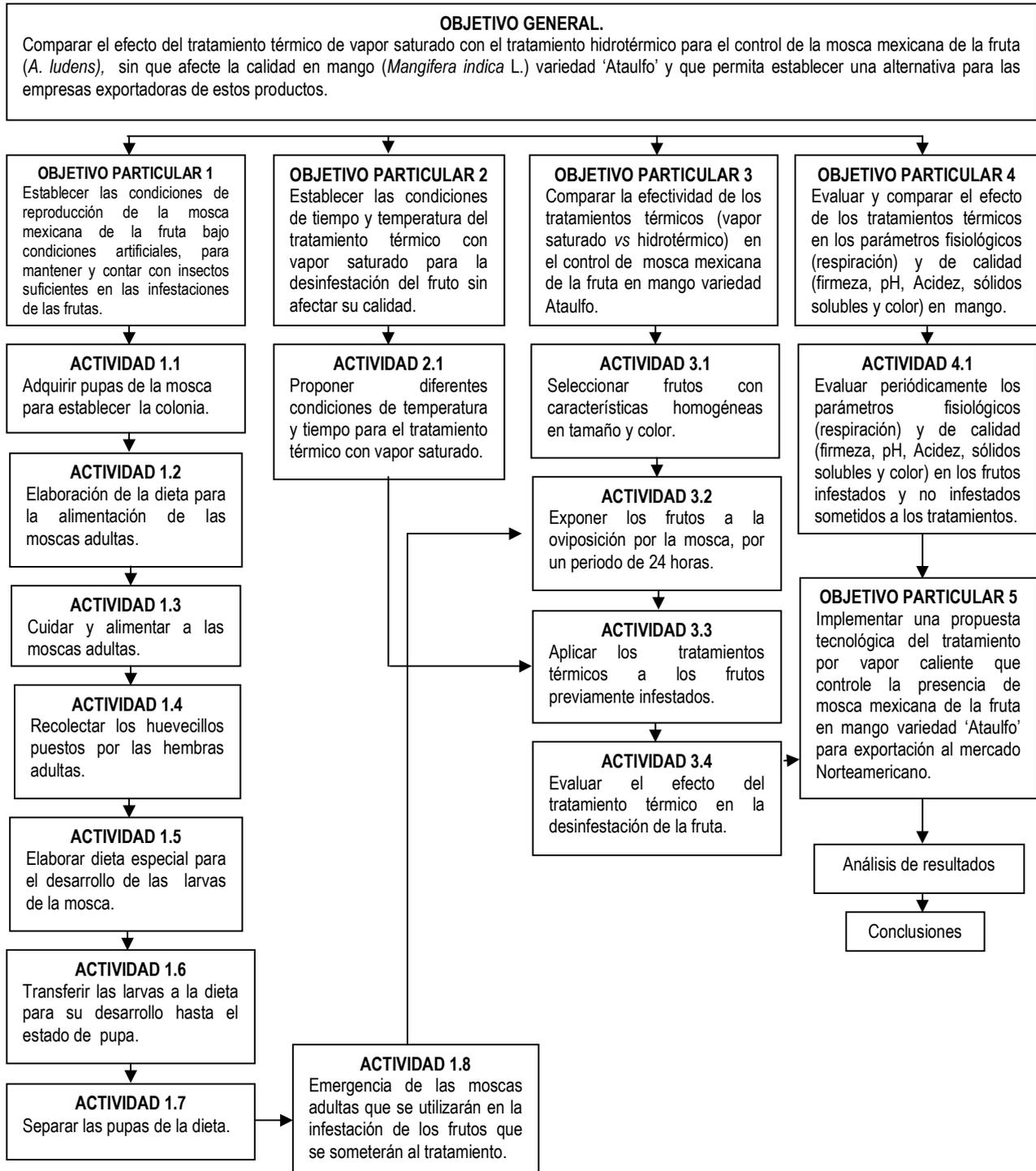
3.2. Objetivos particulares.

1. Establecer las condiciones de reproducción de la mosca mexicana de la fruta bajo condiciones artificiales, para mantener y contar con insectos suficientes en las infestaciones de las frutas.
2. Establecer las condiciones de tiempo y temperatura del tratamiento térmico con vapor para la desinfestación del fruto sin afectar su calidad.
3. Comparar la efectividad de los tratamientos térmicos (vapor saturado vs hidrotérmico) en el control de mosca mexicana de la fruta en mango variedad 'Ataulfo'.
4. Evaluar y comparar el efecto de los tratamientos térmicos en los parámetros fisiológicos (respiración) y de calidad (firmeza, pH, Acidez, sólidos solubles y color) en mango.
5. Implementar una propuesta tecnológica del tratamiento por vapor caliente que controle la presencia de mosca mexicana de la fruta en mango variedad 'Ataulfo' para exportación al mercado norteamericano.



4. Materiales y Métodos.

4.1. Cuadro metodológico.





4.2. Material biológico.

Se trabajó con frutos de mango (*Mangifera indica L.*) de la variedad 'Ataulfo', procedentes del estado de Guerrero y adquiridos en la Central de Abastos de la Ciudad de México.

Las moscas de la fruta de la especie *Anastrepha ludens* en estado de pupa, fueron adquiridas en el insectario del Colegio de Postgraduados en Montecillos Estado de México, con las cuales se inició el establecimiento de la colonia. Las moscas emergidas de las pupas se mantuvieron a temperatura ambiente (25° C) en jaulas de madera.

4.3. Tratamiento de las muestras de mango.

Se realizó una primera selección de los frutos en base a su color, utilizando mangos en estado de madurez fisiológica y posteriormente se descartaron los frutos que presentaron daños físicos o mecánicos.

Una vez realizada la selección, se lavaron bajo el chorro de agua y con una esponja suave para eliminar el látex derramado durante la cosecha, posteriormente se secaron bajo una corriente de aire producida por un ventilador. Una vez lavados y secados se realizó una caracterización física en base a su peso, diámetro polar y ecuatorial, y se establecieron los diferentes lotes con frutos tomados aleatoriamente para la realización de cada experimento.

4.4. Caracterización física, fisiológica, química y fisicoquímica del mango variedad 'Ataulfo'.

Se realizó una evaluación física, fisiológica, química y fisicoquímica del mango variedad 'Ataulfo'. Para establecer los principales parámetros físicos los frutos se pesaron y midieron para establecer su tamaño, forma y se determinó el color; como parámetro fisiológico la determinación de la respiración. Los parámetros químicos y fisicoquímicos determinados fueron: contenido de humedad, carbohidratos, proteína, grasas, fibra cruda, cenizas, sólidos solubles, pH, acidez titulable,



evaluación de la firmeza, determinación del color y pérdida de peso. Todos estos análisis de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.9 de técnicas analíticas.

4.5. Establecimiento e incremento de la colonia de la mosca mexicana de la fruta.

Para el establecimiento de la colonia, las pupas de la mosca mexicana de la fruta, se mantuvieron en un lugar en el que permanecieron bajo condiciones controladas de laboratorio. Las moscas se conservaron en jaulas con marcos y base de madera con dimensiones de 30 cm por cada lado, cuatro de sus caras cubiertas con telas de mosquitero y otra de ellas con un vidrio deslizante, el cual nos facilitó el acceso a las jaulas y manipulación de las moscas (figura 18). Dentro de las jaulas se colocó un recipiente con agua y una porción de dieta especial para las moscas adultas con el objetivo de alimentar a las moscas adultas una vez emergidas de su pupa.



Figura 18. Jaulas para la crianza de moscas de la fruta.

Una vez que las moscas se establecieron y comenzó su cópula, se introdujo un domo con un diámetro de 10 cm aproximadamente elaborado con cera y de un color verde, con el propósito de atraer a las moscas. Dicho domo sirvió como señuelo para que las moscas ovipositarán en él y después recolectar los huevecillos por medio de arrastre con agua aplicada con una piseta (figura 19).



Figura 19. Domo-señuelo para la oviposición de las moscas.

Los huevecillos se recolectaron y se colocaron sobre un papel filtro húmedo contenido en una caja de petri, la cual se introdujo a una cámara de cría con una temperatura de $28 \pm 2^\circ \text{C}$ para la incubación de los huevecillos. Posteriormente, cuando cerca del 80% de los huevecillos eclosionaron, fueron transferidos a una dieta especial para el desarrollo de las larvas (Tabla 6 y 7) como se observa en la figura 20.



Figura 20. Dieta especial para larvas de mosca mexicana de la fruta

Desarrolladas las pupas se separaron de la dieta con ayuda de un colador y bajo el chorro de agua (figura 21). Posteriormente fueron introducidas en una jaula para esperar la emergencia de las moscas adultas. Este proceso se repitió varias veces hasta que se logró una colonia de moscas lo suficientemente grande que satisficiera las necesidades del proyecto.



Figura 21. Separación de pupas de la dieta.

4.6. Infestación de los frutos.

Con la formación de la colonia de moscas lista, se formaron grupos de 100 machos y 100 hembras de las moscas por jaula, introduciendo también la porción de dieta y el recipiente con agua para su alimentación.

Tabla 6. Ingredientes para preparar 1kg de dieta especial para moscas adultas

Ingrediente	
Azúcar	833.30 g
Miel de abeja	50 ml
Jugo de mango	50 ml
Levadura de cerveza	50 g
Vitamina E	1.33 g
Vitamina B	1.33 g
Vitamina C	1.33 g
Hidrolizado de proteína	3.33 g

**Tabla 7.** Ingredientes para preparar 1 kg de dieta especial de larvas

Ingredientes	
Zanahoria deshidratada (polvo)	69.4 g
Levadura de cerveza	48.6 g
Azúcar	69.4 g
Olote molido	104.1 g
Agua	694.4 ml
Ácido clorhídrico	6.9 ml
Benzoato de sodio	1.4 g

Por otro lado, con los frutos se formaron tres lotes de mangos para cada tratamiento: *blanco*, estos frutos no fueron tratados ni infestados, sólo se incubaron a 28° C para establecer que los frutos no vinieran infestados desde el campo, para este grupo se utilizaron 12 frutos; *control*, estos frutos fueron infestados y no tratados con la finalidad de conocer si hubo infestación o no por parte de las moscas y determinar por comparación el efecto de los tratamientos térmicos, éste lote estuvo formado por 36 frutos por tratamiento 12 frutos para la evaluación del tratamiento, 12 frutos para la evaluación fisiológica y 12 frutos para la evaluación de los parámetros de calidad; *tratados*, estos frutos fueron infestados y tratados con el objetivo de evaluar la efectividad del tratamiento aplicado, éste lote estuvo formado por 36 frutos por tratamiento divididos en tres grupos de 12 de la misma forma que el grupo control.

Una vez definidos los lotes de frutos y formados los grupos de moscas por jaula, se procedió a introducir manualmente los frutos en las jaulas, cuidando de no aplastar a las moscas con los frutos, hasta exponer 72 frutos en total por cada tratamiento. El periodo de infestación fue de 24 horas (figura 22).



Figura 22. Infestación de los frutos con las moscas.

Los frutos se retiraron manualmente, transcurrido el tiempo de infestación, para después someterlos al tratamiento térmico (vapor saturado o hidrotérmico) e incubarlos. De los frutos control y de los frutos tratados se retiraron 12 frutos de cada uno para la evaluación del efecto del tratamiento, y estos frutos se incubaron a 28° C. Los frutos restantes se utilizaron para la evaluación de los parámetros fisiológicos y de calidad.

4.7. Selección de las condiciones de tiempo y temperatura para los tratamientos térmicos.

Uno de los objetivos principales durante la selección de las condiciones fue eliminar por completo el desarrollo de las larvas (infestación) de los frutos, y posteriormente ver el efecto de estas condiciones en los parámetros de calidad y en la respiración del fruto como parámetro fisiológico fundamental.

4.7.1. Tratamiento hidrotérmico.

Las condiciones a las cuales fue aplicado este tratamiento fueron a una temperatura de 46.1 °C por un tiempo de 65 minutos. Condiciones estipuladas en el acuerdo entre la USDA y la SAGARPA, para mangos de exportación (USDA, APHIS-IS Y SAGARPA – DGSV, 2003), en el que se establece que para mangos variedad 'ataulfo' y de peso menor a 300 g se establece la temperatura y el tiempo mencionado anteriormente.



El tratamiento hidrotérmico se realizó simulando un sistema como el utilizado en empacadoras para mangos de exportación (figura 23). Se realizaron los tratamientos en un baño provisto de un Termoregulador (Marca Techne, Modelo FTE-10AP), que consiste en un recipiente metálico con dimensiones de 60 cm de largo por 30 cm de ancho y 30 cm de alto, el cual se llenó de agua destilada hasta tres cuartas partes de su capacidad, con el fin de no desbordar el agua cuando fueran introducidos los frutos. Para el calentamiento del agua se contó con una resistencia eléctrica conectada a un termostato que fue ajustado a la temperatura a la cual se aplicó el tratamiento; junto al termostato se encuentra una pequeña bomba de recirculación, con el propósito de mantener el agua del sistema a la misma temperatura.

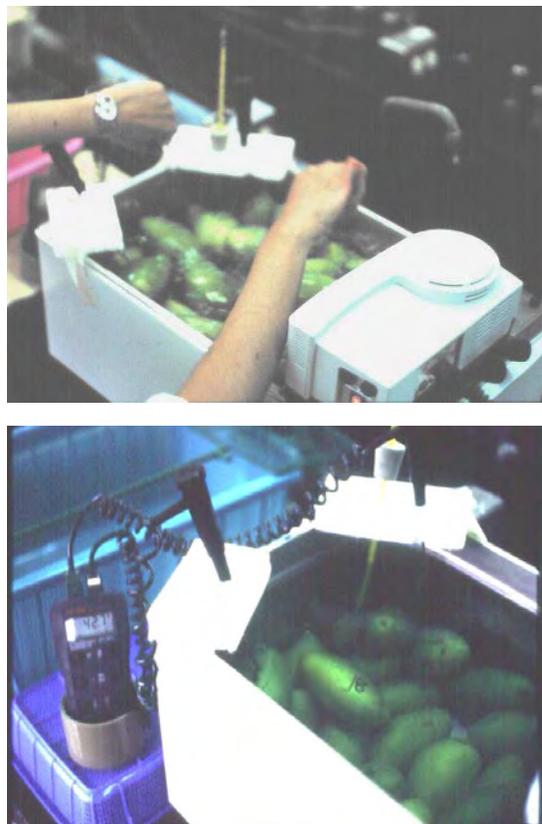


Figura 23. Sistema para aplicación del tratamiento hidrotérmico.

Como complemento del sistema se tuvo una malla la cual evitó que los frutos entraran en contacto directo con la resistencia evitando posibles quemaduras a los frutos (figura 24). Por otro lado, para tener un buen control de la temperatura del agua, se utilizó un termómetro como herramienta auxiliar. Para conocer la temperatura de los frutos se utilizó un termopar conectado a un



microprocesador de la marca Dual-Input, tipo K. La punta del termopar fue introducido en la pulpa de uno de los frutos.



Figura 24. Malla para evitar la quemadura de los frutos.

4.7.2. Tratamiento con vapor saturado.

El equipo en el cual se desarrollaron las pruebas de los tratamientos térmicos por vapor saturado (figura 25) fue diseñado en el Laboratorio Postcosecha de Productos Vegetales ubicado en el Centro de Asimilación Tecnológica (CAT) de la UNAM.

El equipo cuenta con los siguientes elementos de diseño:

- 2 Resistencias eléctricas.
- Sistema de recirculación.
- Termostato (0-110°C).
- Termopares.
- Termómetro (-10 a 100°C)
- Parrilla metálica.
- Contenedores.



Figura 25. Cámara de vapor con sistema de recirculación

La obtención del vapor necesario para las condiciones que requería el tratamiento térmico se generó a partir del calentamiento gradual de agua (de preferencia desalinizada para evitar sedimentaciones en las resistencias) por medio de unas resistencias eléctricas ubicadas en el fondo del equipo (figura 26), controladas por un termostato ajustado a la temperatura del agua deseada, el cual regula el apagado y/o encendido de las resistencias eléctricas cuando se alcanza la temperatura deseada.



Figura 26. Resistencias eléctricas para el calentamiento del agua

Este medio de calentamiento además cuenta con un sistema de recirculación (figura 27), el cual prevé que el agua no se quede estancada, permitiendo así la libre circulación del líquido para obtener una uniformidad en la temperatura por toda la cámara del vapor generado. Este sistema de recirculación cuenta con una red de tuberías conectadas en los orificios de entrada y salida de la cámara; esta red además contiene, entre otras cosas, una pequeña bomba que impulsa el líquido a



través de la tubería hasta el interior de la cámara lo que hace que se lleve a cabo la recirculación del líquido dentro de la cámara.

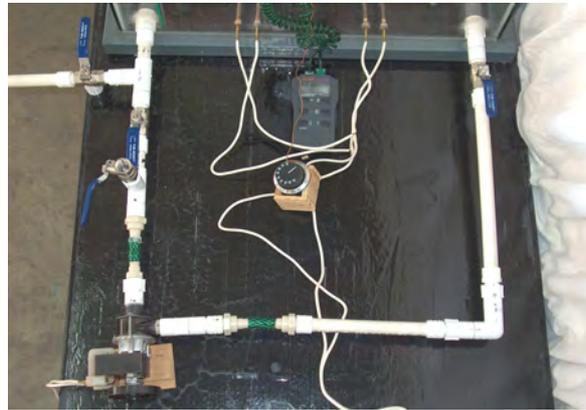


Figura 27. Sistema de recirculación de la cámara de vapor.

Ligado a este sistema de calentamiento el termómetro y los termopares brindan el control de las temperaturas del agua, del vapor generado y del fruto. Debido a que el termostato tiene un rango de funcionamiento de $\pm 2^\circ \text{C}$, el termómetro es una herramienta auxiliar en el control de la temperatura del líquido debido a que la temperatura del agua es proporcional a la del vapor generado, por esta razón el termómetro brinda la temperatura a la cual debemos fijar las condiciones del termostato. En cambio los termopares, divididos en dos puntas de lectura individual que están conectadas a un microprocesador marca Dual-Input, tipo K, brindan la temperatura del vapor generado dentro de la cámara al colocar una de sus puntas a la mitad del espacio libre del equipo (figura 28), mientras que la otra punta es penetrada hacia el interior del fruto la cual nos refiere la temperatura del interior del mismo. En tanto, la forma en que se colocaron los lotes de los frutos dentro de la cámara es por medio de contenedores en forma de reja que permiten el libre acceso del vapor a través del fruto, y para evitar el contacto directo del fruto con el agua en calentamiento estas rejillas se colocan sobre una parrilla metálica que las mantiene por arriba del nivel del líquido en calentamiento.

Para este tratamiento se propusieron temperaturas de 42, 46 y 50° C por 0, 5 y 10 minutos para cada temperatura. Posteriormente se llevó a cabo otro experimento, en el cual se propuso una temperatura de 48° C y tiempos de 0, 5, 9, 13 y 16 minutos.



Figura 28. Contenedores de la cámara de vapor.

4.8. Evaluación del efecto de los tratamientos térmicos en la desinfestación de *Anastrepha ludens* y en los parámetros de calidad.

Una vez aplicado cada tratamiento térmico, los diferentes lotes de frutos sometidos a diferentes condiciones de tratamiento, y los controles se conservaron por 15 días en una cámara a 28° C y 70% de HR para el desarrollo de las larvas dentro del fruto y poder llevar a cabo la evaluación de la efectividad del tratamiento comparando la infestación de los frutos tratados con la infestación presentada en los frutos controles.

La forma de evaluación que se llevó a cabo para ambos tratamientos (vapor saturado e hidrotérmico) fue a través de un conteo manual de las larvas. Para llevar a cabo el conteo, en los mangos se realizaron cortes en la pulpa con un cuchillo para separarla de la semilla y así facilitar la búsqueda de larvas en el mango. El criterio de evaluación que se utilizó en los tratamientos fue clasificar como no efectivo aquel tratamiento en el que existiera la presencia de por lo menos una larva.

Para el caso de establecer el efecto de los tratamientos térmicos en los parámetros de calidad se evaluó diariamente la respiración y se llevó a cabo un muestreo en los diferentes estadios de maduración del fruto (preclimaterio, climaterio, máximo climaterio y posclimaterio) y así llevar un seguimiento del efecto del tratamiento térmico a los largo del proceso de maduración. Se evaluaron



los cambios en el pH, acidez, sólidos solubles, color y textura de acuerdo a las técnicas analíticas descritas en el siguiente apartado.

4.9. Técnicas analíticas.

4.9.1. Caracterización física y fisiológica.

4.9.1.1. Determinación de pérdida de peso.

Se determinó por diferencia de pesos utilizando una balanza electrónica (marca Sartorius, modelo 1872). Se comparó el peso inicial y el peso en cada estadio de maduración para cada lote de frutos. El peso inicial fue evaluado el día en que el fruto llegó al laboratorio. El resultado se expresó como porcentaje de pérdida de peso durante el almacenamiento.

4.9.1.2. Determinación de la firmeza.

La evaluación de la firmeza se llevó a cabo con un penetrómetro manual de la marca TR modelo FT-327. Se colocó la punta cilíndrica del penetrómetro sobre una de las caras de la zona ecuatorial del mango y se ejerció una presión sobre el fruto hasta que éste fuera penetrado, reportando la lectura en kg / cm².

4.9.1.3. Determinación de color.

La medición de color se llevó a cabo con un colorímetro (marca Minolta, modelo CR300) por el sistema Hunter Lab (L, a y b). Donde **L*** es la luminosidad o el brillo del color en el rango de 0 (negro) a 100 (blanco); **a*** indica la variación del color rojo al verde, tomando coloraciones rojizas cuando los valores son positivos (+a) y coloraciones verdes cuando los valores son negativos (-a); **b*** indica la variación del color amarillo al azul, tomando coloraciones amarillas cuando los valores son positivos (+b) y coloraciones azules cuando los valores son negativos (-b) (Kudachikar *et al.*, 2003). Las medidas de color fueron realizadas en la piel en la zona ecuatorial del mango. **a*** y **b*** son las coordenadas de la cromaticidad (Croma) o de la saturación de color que fue calculada mediante la



ecuación $C = [a^2 + b^2]^{1/2}$; también son utilizadas para evaluar el tono al calcular el ángulo Hue con la ecuación $H^\circ = \arctan[b/a]$, el cual va de valores de 0 = rojo-púrpura, 90 = amarillo, 180 = azul-verde y 270 = azul (McGuire, 1992).

4.9.1.4. Determinación de la respiración.

La respiración de los frutos se determinó tomando en cuenta la producción de CO_2 generado por los frutos. Los frutos se colocaron en un contenedor sellado por un periodo de una hora, para evitar daños por ausencia de O_2 y acumulación de CO_2 en el sistema. Para su cuantificación se conectó la salida del frasco de ventilación conteniendo la muestra a un analizador de gases (marca Nitec) durante un minuto. Los resultados se expresaron en $\text{mg CO}_2 / \text{kg PF h}$.

4.9.2. Caracterización fisicoquímica y química.

4.9.2.1. Determinación de pH, acidez y sólidos solubles.

Para realizar las determinaciones de pH, acidez y sólidos solubles se pesaron 10 g de pulpa de mango y se homogeneizaron con 90 ml de agua destilada, se filtraron y se midió el pH a temperatura ambiente con un potenciómetro (marca Woonsocket, modelo RI 02895). Se determinó el contenido de sólidos solubles mediante un refractómetro de marca Atago modelo 2111 con escala 0 – 32%, colocando una gota de muestra sobre el refractómetro previamente calibrado y se efectuó la lectura directa. Los resultados se expresaron en °Brix. La acidez se determinó con la muestra filtrada, tomando una alícuota de 20 ml a la cual se le adicionaron 3 gotas de fenolftaleína, posteriormente se titularon con hidróxido de sodio 0.1 N. Los resultados se expresaron en % de ácido cítrico (AOAC, 1990).

4.9.2.2. Determinación de humedad.

El contenido de humedad se determinó por el método de secado en estufa, en el cual el agua se elimina por el efecto del calor aplicado a la muestra. Calculando el contenido de agua en la



muestra por pérdida de peso debido a la evaporación del agua por calentamiento a 70° C (Pearson, 1998). El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

4.9.2.3. Determinación de carbohidratos.

La determinación de carbohidratos se realizó por la técnica de Lane y Eynon, la cual se basa en la reacción de oxido-reducción del ión cúprico (Cu^{++}) a ión cuproso (Cu^{+}) o agentes oxidantes suaves, que reaccionan con las aldosas de los azúcares reductores en presencia de un indicador (Pearson, 1998). Los resultados se expresaron en g/100 g de muestra.

4.9.2.4. Determinación de fibra cruda.

Esta determinación se realizó por el método de Kennedy-Wendy. Esta técnica se fundamenta en la determinación de los materiales insolubles (Ligninas, celulosas y hemicelulosas) presentes en el fruto, mediante la realización de unas hidrólisis en medio ácido y alcalino (Pearson, 1998). Los resultados se expresaron en g/100 g de muestra.

4.9.2.5. Determinación de proteína.

El contenido de proteína se realizó por el método de Lowry *et al.* (1951) que se basa en la reacción de las proteínas con cobre en solución alcalina y mediante reducción del reactivo de Follin-Ciocalteu (Ácido fosfomolibdicofosfotúngstico), que reduce a heteropolimolibdeno azul por la oxidación de aminoácidos aromáticos que es catalizada por cobre. La reacción se lleva a cabo en medio alcalino (pH 10 – 10.5). Se utilizó como estándar albúmina sérica bovina (SIGMA). Los valores de concentración de proteína se determinaron por interpolación gráfica en una curva patrón obtenida a 720 nm y se expresan como mg/ml.

4.9.2.6. Determinación de grasa.

La cantidad de grasa en las muestras se llevó a cabo por el método de Soxhlet, en el cual la grasa se extrae de la muestra, por arrastre con éter de petróleo a partir del residuo desecado, el



solvente se elimina por evaporación quedando el residuo de grasa, el cual se pesa expresando los resultados en g / 100g de muestra (Pearson, 1998).

4.9.2.7. Determinación de cenizas totales.

Para la determinación de cenizas totales se utilizó el método de Klemm, el cual se fundamenta en la obtención del residuo inorgánico resultante después de la calcinación e incineración de la materia orgánica a 550°C (Pearson, 1998). Los resultados se expresaron en g / 100g de muestra.

4.10. Análisis estadísticos.

Para el análisis de los resultados se llevó a cabo un análisis factorial y un análisis de varianza (ANOVA), para saber si existe una diferencia significativa durante la aplicación de los tratamientos y se aplicaron pruebas de rango múltiple (Duncan) utilizando el programa estadístico SPSS.



5. Resultados y discusión.

5.1. Evaluación de las características físicas, fisiológicas, químicas y fisicoquímicas del mango variedad 'Ataulfo'.

Una de las características más importantes en los frutos son las físicas, propiedades que distinguen a cada una de las variedades que se comercializan. También estas características son parámetros establecidos por Normas nacionales e internacionales para clasificar a los frutos de acuerdo a la calidad.

El mango 'Ataulfo' presenta una semilla que abarca un 20% aproximadamente del peso de la fruta, la parte comestible corresponde al 68% del peso total del fruto y el 12% restante corresponde a la piel del fruto. Esta variedad de mango ha incrementado su comercio, ya que presenta características que lo hacen muy atractivos para el consumidor.

La caracterización física, química y fisicoquímica del mango variedad 'Ataulfo' se hicieron con el objetivo de conocer a nuestro material de estudio. Esta caracterización se llevó a cabo a una temperatura de 25° C y en estado de madurez comercial del fruto.

En la tabla 8 se muestran las características físicas de los mangos variedad 'Ataulfo' procedentes de Guerrero. Los frutos presentaron un peso promedio de 221.64 gramos que, de acuerdo con la Norma Mexicana NMX- FF- 058-SCFI-2006 (productos alimenticios no industrializados para consumo humano, fruta fresca-mango) pertenece al grupo Mulgova y presenta las siguientes características: fruta alargada, de cáscara suave, de color amarillo, pulpa ligeramente fibrosa de color amarillo y de sabor y aroma agradables (SCFI, 2006).

Respecto a su peso y por las manchas de látex que presentó la fruta, están clasificadas dentro de la categoría de primera calidad, con el código de calibre que los ubica en el número 20 (número de frutos que pueden ser colocados en un empaque equivalente a 10 lb ó 4.536 kg de peso) según la NMX- FF- 058-SCFI – 2006 (SCFI, 2006).

**Tabla 8.** Características física de mango variedad 'Ataulfo'.

PARÁMETRO	PROMEDIO
Peso (g)	221.64 ± 33.28
Longitud ecuatorial (cm)	20.50 ± 0.89
Longitud polar (cm)	13.12 ± 0.89
Color	
L	67.04 ± 1.73
a	-3.66 ± 6.57
b	57.43 ± 2.16

Los datos presentados son la media de tres replicas (n= 120) ± desviación estándar.

El mango al ser un fruto climatérico, presenta una maduración de tipo: fisiológica y una comercial. La primera se lleva en el árbol y el periodo inicia poco antes de finalizar el crecimiento celular, y finaliza cuando tiene semillas dispuestas para producir nuevas plantas, es aquí donde se llevan a cabo los principales cambios bioquímicos y es muy importante que el fruto no se corte antes de que finalice este periodo ya que se puede ver reflejado posteriormente en la madurez comercial al presentarse de forma irregular. La madurez comercial es aquella en la cual el fruto adquiere las características sensoriales que la definen como comestible (Rhodes, 1971; Leopold y Kriedemann, 1975).

La composición química del mango variedad 'Ataulfo', se presenta en la tabla 9. Los diferentes componentes presentaron diferencias en las dos tipos de maduración. En la madurez comercial se obtuvo un alto contenido de azúcares, esto es, debido a la hidrólisis del almidón que se presenta durante el proceso de maduración de los frutos, provocando con esto un incremento importante en el contenido de azúcares, por esta razón el mango adquiere ese sabor dulce característico que lo hace apto para el consumo, mientras que los mangos en madurez fisiológica el contenido de azúcares fue menor. El contenido de fibra lo convierte en un alimento indispensable ya que ayuda a la digestión y metabolismo de los seres humanos, esta variedad presentó en comparación con frutos del grupo indostan menos fibra; su alto contenido de humedad, lo hace un



producto extremadamente jugoso. Por otro lado, su bajo contenido tanto en proteínas y grasas lo convierten en un producto relevante para la dieta humana.

Tabla 9. Composición química del mango variedad 'Ataulfo'.

Componente	Madurez fisiológica (%)	Madurez comercial (%)
Agua ^a	86.46 ± 1.65	82.50 ± 2.65
Carbohidratos ^b	9.40 ± 1.42	13.20 ± 2.06
Proteína ^c	0.57 ± 0.02	0.68 ± 0.29
Cenizas ^d	0.84 ± 0.28	1.18 ± 0.37
Grasa ^e	0.20 ± 0.69	0.20 ± 0.19
Fibra ^f	0.30 ± 0.27	0.70 ± 0.52

El contenido de cada componente fue determinado por el método: **a**=Secado por estufa; **b**=Colorimétrico DNS; **c**=Lowry; **d**=Klemm; **e**=Soxhlet; **f**=Kennedy-Wendy. Los valores presentados son la media de tres réplicas (n=12) ± desviación estándar.

Por otro lado, en la tabla 10 se presentan las características fisicoquímicas del mango, las cuales suelen ser indicadores del estado de madurez que presenta el fruto. En este caso el pH, acidez y el contenido de sólidos solubles se ven íntimamente relacionados ya que la disminución de la acidez se refleja en un incremento del pH sin llegar a valores alcalinos como en el contenido de sólidos solubles provocado por la hidrólisis del almidón degradándolo en azúcares más simples como la glucosa, sacarosa y fructosa. El cambio en la textura se ve reflejado por cambios en la pared celular debido al incremento de polisacáridos durante la maduración del fruto.

Tabla 10. Características fisicoquímicas del mango variedad 'Ataulfo'.

PARÁMETRO	PROMEDIO
pH	3.73 ± 0.96
Acidez (% de Ac. Cítrico)	0.06 ± 0.05
Sólidos Solubles (° Brix)	15 ± 1.41
Textura (kg/ cm ²)	7 ± 1.63

Los datos presentados son la media de tres replicas (n= 12) ± desviación estándar.



Otro de los principales parámetros que son necesarios para el almacenamiento del mango es la respiración. El climaterio corresponde a un periodo de aumento significativo de la actividad respiratoria asociada a los cambios fisicoquímicos y bioquímicos durante el proceso de maduración. Este periodo de respiración climatérica es una fase de transición entre la maduración y la senescencia. El periodo de maduración del mango es caracterizado por cambios bioquímicos iniciados por la producción de etileno y un incremento en la respiración que provocan cambios en color, aroma y sabor (Salunke y Desai, 1984; Manrique, 2000).

La tasa de respiración es un buen índice de la longevidad del fruto después de cosechado. La intensidad respiratoria es considerada como una medida de la tasa en que se está realizando el metabolismo y como tal, con frecuencia se le considera como una indicación de la vida potencial de almacenamiento del fruto. Una tasa elevada de respiración va asociada con una corta vida en almacenamiento. La respiración también es indicadora de la tasa a la cual el fruto se está deteriorando en calidad y valor alimenticio (Pantastico, 1987).

En la figura 29 se puede observar los cambios en la tasa de respiración, en función de la producción de CO₂ del mango variedad 'Ataulfo' a una temperatura de almacenamiento de 20° C. Comúnmente, la respiración desciende con lentitud a valores bajos inmediatamente antes del comienzo de la maduración; posteriormente, está va aumentando hasta alcanzar su máximo valor conforme va madurando el fruto y desciende después durante la maduración y senescencia (Hobson, 1993). Por lo tanto, se observó que durante el preclimaterio (E1) la producción de CO₂ presentó valores de alrededor de 30 mg CO₂/Kg P_Fh, durante los primeros días de almacenamiento, a partir del tercer día se presentó el inicio del climaterio (E2). En el cuarto día se presentó el máximo climaterio (E3), en este momento se observó la máxima tasa respiratoria alcanzando un valor de 60 mg CO₂/Kg P_Fh, este punto nos indicó que el fruto se encontraba en su madurez comercial, lo cual indicó que están desarrolladas completamente sus características organolépticas para ser consumido. Por último, se observó un descenso en la respiración, llamado postclimaterio (E4) donde se presentó una producción de CO₂ de 9 mg CO₂/Kg P_Fh esta etapa correspondió al inicio de la senescencia presentándose en el séptimo día de su almacenamiento, en este punto comienzan a afectarse ciertas características del fruto, como pueden ser la textura, sabor, color entre otras.



En trabajos realizados por Pantastico (1987), menciona que sólo cuando va a efectuarse la maduración, la tasa de respiración asciende hasta el pico climatérico y luego declina de manera lenta.

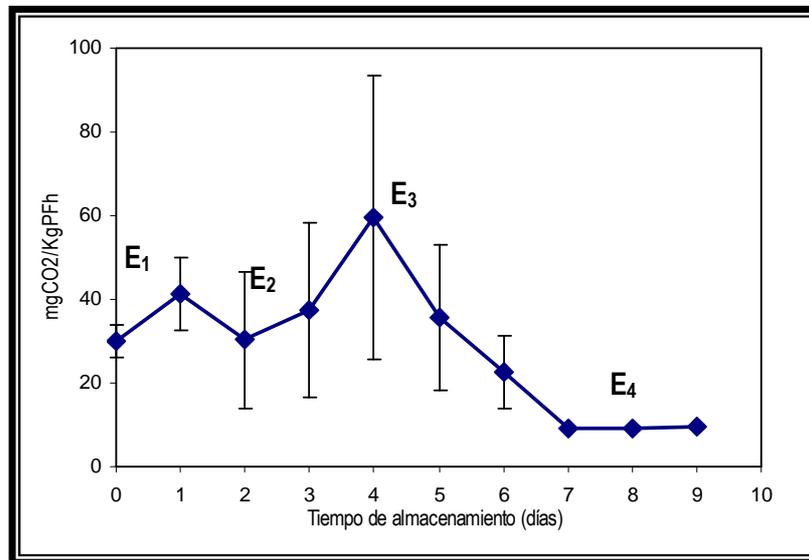


Figura 29. Cambios en la respiración del mango variedad 'Ataulfo' durante el almacenamiento a 20°C.

5.2. Selección de condiciones de temperatura y tiempo de los tratamientos por vapor saturado e hidrotérmico.

Existe una elevada preocupación de los consumidores respecto a la inocuidad de los productos, así como un incremento en las exigencias de calidad de los mismos (Klein y Lurie, 1991). Esto ha aumentado la necesidad de encontrar métodos alternativos en el manejo de productos frutihortícolas. Los métodos térmicos resultan de interés como alternativas o complemento de los tratamientos químicos tradicionales durante el almacenamiento de poscosecha y han sido utilizados por más de un siglo para controlar patógenos (Grondeau y Samson, 1994).

Los tratamientos térmicos traen grandes ventajas, entre las que se encuentran, su efectiva acción fungicida e insecticida, su facilidad de aplicación y el no dejar residuos químicos, además disminuyen la sensibilidad del fruto al frío (Couey, 1989). Actualmente, hay tres métodos en uso en



que estos tratamientos pueden ser aplicados a los mangos, y estos son por vapor caliente (VHT), aire caliente forzado (FHAT) y agua caliente (HWT) (Nyanjage *et al.*, 1998; Jacobi *et al.*, 2001^a).

Debido a que los tratamientos térmicos fueron desarrollados para controlar el deterioro poscosecha y la infestación de insectos, los tratamientos por vapor caliente (VHT) facilitan la operación en muchos países, aunque principalmente estos sean utilizados en tratamientos de cuarentena de productos tropicales (Lydakís y Aked, 2003).

Como es sabido, el mango al ser una fruta tropical, es relativamente resistente a los daños por calor (Couey, 1989). Se llevó a cabo una selección de los tratamientos térmicos más efectivos para eliminar por completo la infestación de mosca mexicana de la fruta en mango, sin afectar los parámetros de calidad y alargar la vida útil del fruto. Se evaluaron en base a las condiciones que no provocaron daños físicos inmediatos al fruto y que presentaron un efecto en el control de la infestación de mosca mexicana de fruta.

Actualmente ya existe un protocolo establecido por la USDA- APHIS-IS y la SAGARPA – DGSV, en el cual se especifican las condiciones de tiempo y temperatura a las cuales deben ser sometidos los frutos del mango, principalmente para su exportación al mercado americano.

Para los tratamientos con vapor caliente se realizó una primera propuesta a temperaturas de 42, 46 y 50° C por tiempos de 0, 5 y 10 minutos para cada temperatura, en base a la susceptibilidad del fruto a altas temperaturas y al efecto de las mismas sobre el control de la infestación de mosca mexicana de la fruta *A. ludens* (Loew).

De las temperaturas propuestas, cabe mencionar que los tratamientos a 42° C con sus respectivos tiempos, no presentaron daños físicos inmediatos al fruto, sin embargo no existió un control en la infestación de larvas de mosca mexicana de la fruta, por consiguiente estas condiciones quedaron descartadas para su posterior análisis. Con el tratamiento a 46° C y con el mayor tiempo de exposición (10 minutos), se observó una disminución considerable en el número de larvas de *Anastrepha ludens* presentes dentro de los frutos, y no se presentaron daños físicos inmediatos, pero sí durante la maduración, por consiguiente no se tomó en cuenta este tratamiento para un



posterior análisis. Con los tratamientos a 50° C y sus respectivos tiempos se observó un mejor control en la infestación de la mosca mexicana de la fruta pero, se presentaron daños físicos inmediatos en el fruto tanto interna como externamente; el principal daño observado fue un cambio radical en el color de la piel del fruto provocado por la exposición a la alta temperatura, pasando del color verde, característico del fruto en su estado preclimático, a un color beige-amarillo, presentándose principalmente en el lado opuesto al pedúnculo del fruto. La alta temperatura provocó en el interior del fruto, principalmente en la zona donde se observó el cambio de coloración de la piel, un ablandamiento de la pulpa y una consistencia chiclosa. En cuanto a la maduración de estos frutos se pudo observar un ritmo más acelerado en la respiración en comparación con los otros tratamientos, por esta razón, los tratamientos a 50° C fueron descartados, ya que se presentaron graves daños y no preservó la calidad del fruto. Esto puede corroborarse con los trabajos de Lydakis y Aked (2003) quienes mencionaron que si la temperatura es demasiado alta o el periodo de tratamiento es demasiado prolongado, puede presentarse una gran variedad de efectos negativos entre los cuales, los más comunes son los altos niveles de pérdida de agua, decoloración de la piel, incremento a la susceptibilidad, a la contaminación por microorganismos y un descenso en la vida media del fruto. Al igual que en los trabajos de Paull y McDonald (1994), quienes mencionaron que los síntomas del daño por calor en frutos maduros son: piel escaldada e incapacidad del fruto para ablandarse completamente o para ablandarse a velocidad normal.

Al no tener resultados satisfactorios con la primera propuesta de los tratamientos y al observar que existió una reducción considerable de larvas entre los tratamientos a 46 y 50° C, como se puede observar en la figura 30, en donde el número de larvas presentes se encontró por debajo de las 100, se propusieron otras condiciones de trabajo. Para esto se propuso trabajar con una temperatura de 48° C y tiempos de exposición de 5, 9 y 13 minutos.

Con estas nuevas condiciones se pudo observar que el fruto no sufrió daños físicos inmediatos, ni durante la maduración de los mismos, sin embargo, el combate de la infestación de la mosca mexicana de la fruta no fue total. De los resultados obtenidos por estos tratamientos se pudo observar que conforme se incrementó el tiempo de exposición del fruto al tratamiento con vapor caliente a 48° C, el número de larvas presentes disminuía.

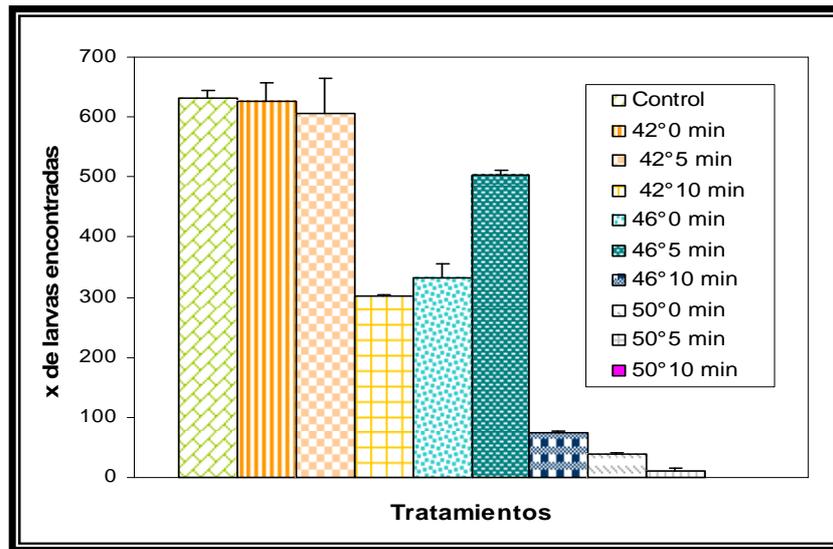


Figura 30. Efecto de los tratamientos con vapor caliente en la infestación de larvas de mosca mexicana de la fruta. Las barras verticales indican \pm desviación estándar.

Al observar lo anterior se propuso realizar un análisis de regresión lineal entre las larvas encontradas contra sus respectivos tiempos de exposición a una temperatura de 48° C, con lo cual, se calculó el tiempo en donde se controlaría la infestación de mosca mexicana de la fruta en su totalidad. El resultado de acuerdo a la regresión aplicada fue el tratamiento a 48° C con un tiempo de 16 minutos (figura 31).

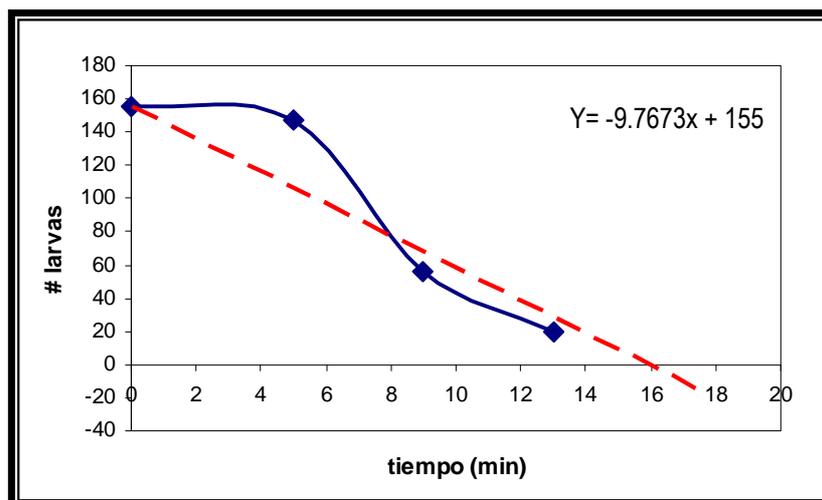


Figura 31. Efecto del tratamiento con vapor caliente a una temperatura de 48° C a diferentes tiempos de exposición.



$$y = -9.7673x + 155$$

$$x = \frac{y - 155}{-9.7673} \quad \text{si } y = 0$$

$$x = \frac{-155}{-9.7673} = 15.87 \approx 15.52 \text{ min.} \approx 16 \text{ min.}$$

La utilización de tratamientos térmicos para el control de insectos comenzó a realizarse a comienzos del siglo XX. Baker (1952) encontró que huevos y larvas de la mosca del Mediterráneo *Ceratitis capitata* morían luego de 8 h a 43° C. El principal método utilizado con este fin es el tratamiento con vapor. Cada producto posee diferentes requerimientos con respecto a la tasa de calentamiento y el tiempo que puede mantenerse a 43 – 46° C sin sufrir daño. Este tratamiento se ha utilizado para cítricos, papaya, pimiento verde, berenjena, mango y otros productos (Hawkins, 1932; Seo *et al.*, 1974; Sugimoto *et al.*, 1983; Furusawa *et al.*, 1984; Merino *et al.*, 1985)

En el caso de tratamientos con agua caliente, el pre-acondicionamiento de pepinos a 32° C por 24 horas permitió que los frutos fueran luego mantenidos a 45° C por una hora a fin de controlar la mosca del melón, sin sufrir daño alguno (Chan y Linse, 1989).

5.2.1. Efecto del tratamiento con vapor saturado e hidrotérmico en el control de mosca mexicana de la fruta.

Se aplicó el tratamiento térmico con vapor saturado a 48° C y un tiempo de 16 minutos, se observó que en los frutos sometidos al tratamiento térmico con vapor saturado, no existió presencia de larvas ni huevecillos, en contraste con los controles en donde se observó que sí hubo infestación por parte de la mosca mexicana de la fruta (figura 32).

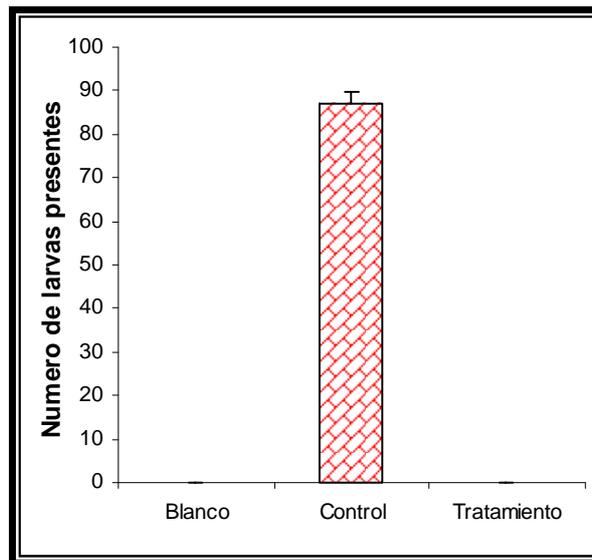


Figura 32. Efecto del tratamiento con vapor caliente en la desinfestación de *A. ludens*. Las barras verticales indican \pm desviación estándar

Al no encontrarse daños físicos en el fruto después de haberse sometido al tratamiento térmico con vapor saturado (48° C y 16 minutos), aunque sí se encontró un efecto notable en cuanto a la respiración, este tratamiento fue aceptado ya que se cumplió con el objetivo de eliminar la infestación producida por la mosca mexicana de la fruta.

El tratamiento hidrotérmico aplicado en mango, donde los frutos son sometidos a una temperatura de 46.1° C y el tiempo de exposición varía con respecto del peso y puede variar desde los 65 hasta los 95 minutos resulta ser la alternativa más viable ya que asegura una mortalidad del 99.99% de huevecillos y larvas, además de proteger la salud humana y el medio ambiente. Los tratamientos con aire caliente, aplicado hasta ahora en mango y uvas, a temperaturas de 46.2 y 47.2° C y una humedad relativa del 40 al 60%, reportan la mortalidad de huevecillos y larvas de *C. capitata*. Los tratamientos a bajas temperaturas, también resultan ser satisfactorios ya que se reporta que con frutos de naranja almacenados durante 16 días a 1° C causa la mortalidad del 100% en larvas de *C. capitata* (Boscán, 2001).



5.2.2. Efecto de los tratamientos térmicos sobre los cambios en respiración del mango variedad 'Ataulfo'

En la figura 33 se puede observar los cambios en la respiración, medida en función de la producción de CO₂ de los mangos sometidos a los dos diferentes tratamientos, hidrotérmico (46.1° C y 65 minutos), vapor saturado (48° C y 16 minutos) y el control.

En los resultados se observa que la aplicación de ambos tratamientos térmicos incrementa la tasa de respiración de los frutos, aumentando la producción de CO₂ con respecto al control y esto se puede observar inmediatamente en el preclimaterio (E₁) encontrándose una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los frutos que fueron sometidos al tratamiento hidrotérmico con respecto al control, donde se presentó un valor de 237.86 mg CO₂ / Kg_{PFh}, valor que se encontró muy por arriba del que se presentó en el máximo climaterio (E₃) en ese tratamiento, esto puede ser atribuido al estrés presentado inmediatamente después de haberse sometido al tratamiento hidrotérmico, en contraste con los frutos tratados con vapor saturado, donde el índice de respiración para el preclimaterio fue elevado en comparación con el control, sin embargo los valores reportados se encuentran por abajo de los obtenidos en el máximo climaterio (E₃), dicho estrés presentado pudo haberse debido al medio de conducción por la cual se transfiere el calor en los tratamientos, ya que para el tratamiento hidrotérmico la transferencia de calor fue de manera directa por el contacto con el agua, caso contrario al tratamiento con vapor en el cual la transferencia de calor se llevó a cabo con el vapor, es decir de manera indirecta. Contrastando los resultados obtenidos en el máximo climaterio (E₃) se puede observar que bajo condiciones del tratamiento hidrotérmico (46.1° C / 65 min.) se obtiene un mayor incremento en la producción de CO₂ presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control y al tratamiento con vapor saturado, con un incremento del 265% (158.18 mg CO₂ / Kg_{PFh}) con relación al control (59.62 mg CO₂ / Kg_{PFh}), por otro lado, el tratamiento con vapor saturado presentó un incremento del 176% (104.86 mg CO₂ / Kg_{PFh}) con respecto al control, lo cual no representó una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) para este caso. Se observó también, que el pico del máximo climaterio se ve modificado por el incremento de la temperatura en el tratamiento con vapor saturado, ubicándose un día antes con respecto al control. Ambos tratamientos presentaron un efecto negativo en la respiración del fruto ya que en ambos casos esta se ve incrementada aunque no se observó una reducción en la vida media del fruto, y esto contrasta



con los trabajos realizados por Saltveit (2001), en donde se reporta que la aplicación de cualquier tratamiento térmico se tiene por respuesta un incremento en la respiración provocando una aceleración y una reducción de la vida media del fruto. Este comportamiento ha sido reportado para otro tipo de frutos como en manzanas (Klein y Lurie, 1990), uvas (Shellie y Mangan, 2000), tomates (Lurie y Klein, 1992) y lechuga (Saltveit, 2001), entre otros.

Jacobi *et al.* (1995) estudiaron el efecto de la madurez de mangos 'Kensington', en estado de maduras fisiológica, sometidos a un tratamiento térmico por vapor caliente a 46.5° C por 10 minutos y encontraron que en el fruto no hubo daño por este tratamiento a diferencia de los resultados obtenidos en el presente trabajo.

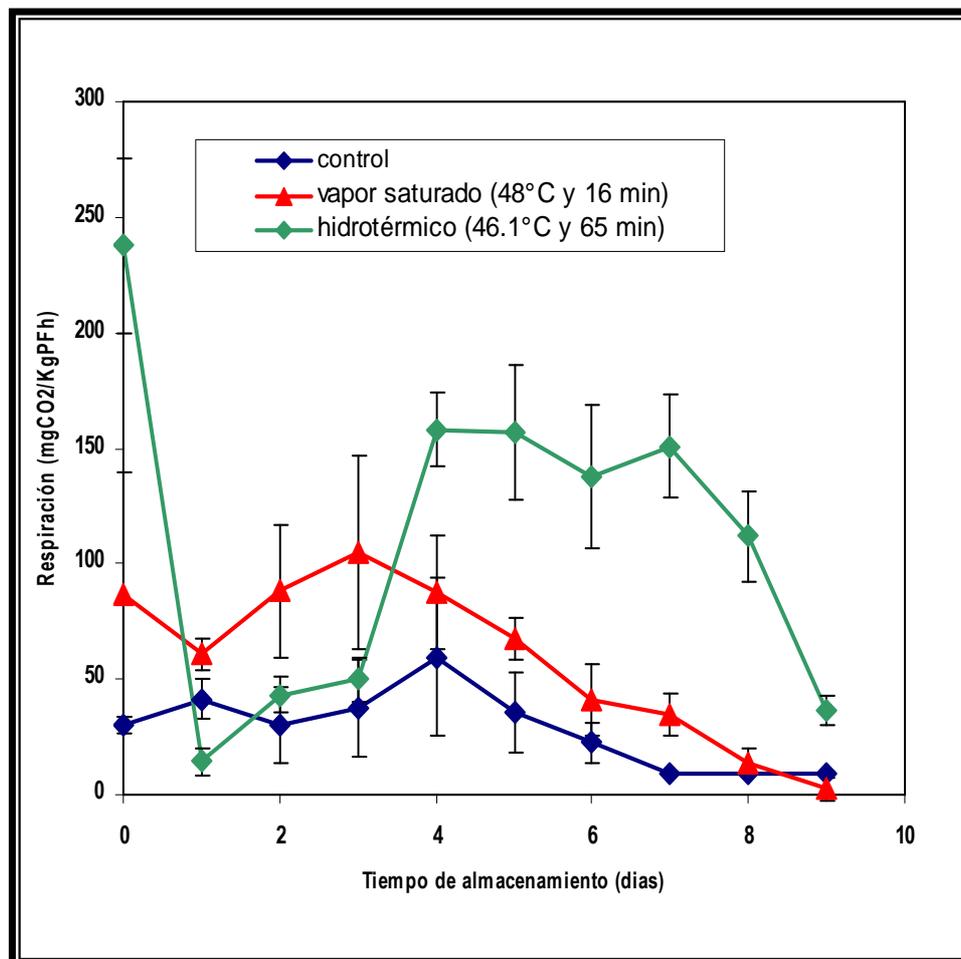


Figura 33. Cambios en la respiración de mangos sometidos a tratamientos por vapor saturado e hidrotérmico.



5.3. Evaluación de los tratamientos térmicos sobre los parámetros de calidad y fisiológicos del mango variedad 'Ataulfo'.

5.3.1. Efecto en sólidos solubles.

El contenido de azúcares fue medido como sólidos solubles totales (SST) que es un índice aproximado de la concentración de sólidos disueltos que se acepta comercialmente, como si todos los sólidos disueltos fueran sacarosa (Primo, 1998).

En el contenido de SST, medidos en °Brix, se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento hidrotérmico (6.66 °Brix), con respecto al control (13 °Brix), esta diferencia pudo deberse a la respuesta inmediata que presentó el fruto después de haberse sometido al tratamiento, en contraste con el tratamiento con vapor saturado (13 °Brix), en donde no se encontró una diferencia significativa ($p \geq 0.05$), respecto al control durante el preclimaterio (E_1). Ya en el inicio del climaterio (E_2) se comienza a observar un incremento en la cantidad de SST, tanto en los frutos control como en los frutos tratados térmicamente como se puede observa en la figura 34. A partir del preclimaterio (E_2) y hasta el postclimaterio (E_4) ya no se presentaron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los frutos control y los frutos sometidos a los diferentes tratamientos térmicos durante todo el periodo de maduración. Es importante destacar esto ya que en el máximo climaterio (E_3), periodo en el cual el fruto está en las condiciones óptimas para su consumo, no se evidenció algún efecto negativo en este parámetro de calidad, obteniendo así un fruto con un dulzor similar a un fruto que no fue tratado térmicamente.

Cuando el mango se aproxima a su estado de madurez fisiológica, el fruto comienza a acumular rápidamente almidón. Una vez que el fruto ha sido cosechado, el almidón acumulado es hidrolizado durante la maduración, disminuyendo con esto sus niveles (Jacobi *et al.*, 2001^b), provocando con esta degradación la formación de sacarosa, glucosa y fructuosa. Como consecuencia de esta hidrólisis, el contenido de azúcares reductores, al igual que los sólidos solubles totales (SST) presentaron el mismo comportamiento incrementándose durante la maduración del fruto (Selvaraj *et al.*, 1989).

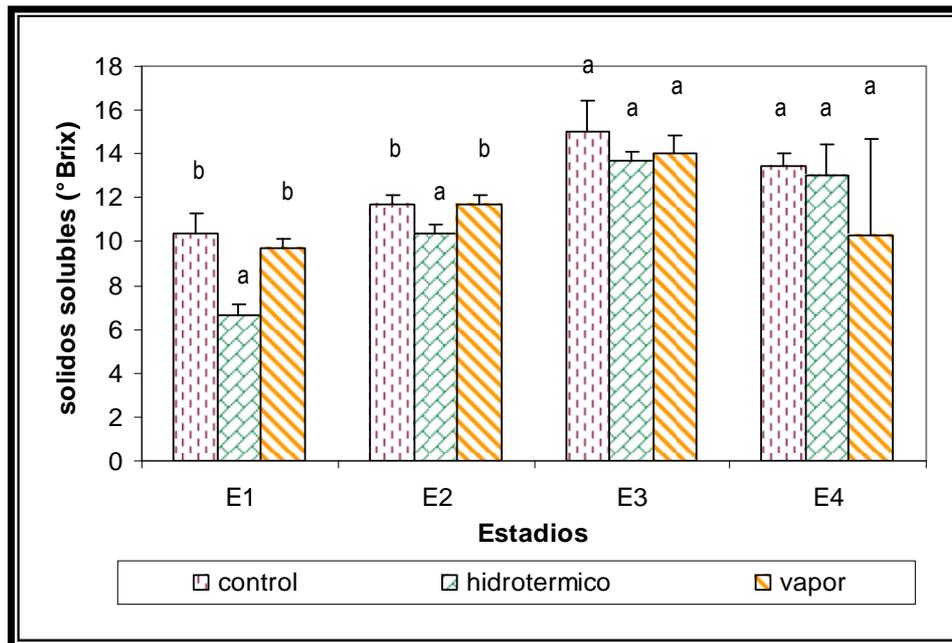


Figura 34. Efecto de los tratamientos térmicos en los sólidos solubles de mangos variedad 'Ataulfo' almacenados a 20° C, en diferentes estadios de maduración: E₁ (preclimaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (postclimaterio). Cada valor representa la media de tres repeticiones \pm desviación estándar. Las barras con letras iguales en cada estadio no difieren significativamente ($p \geq 0.05$).

Durante la maduración de los frutos desde el preclimaterio (E₁) hasta el máximo climaterio (E₃), que es en este estadio donde la mayor cantidad de almidón ha sido hidrolizado en azúcares más simple como sacarosa, glucosa y fructuosa, se observó un incremento en los controles del 50%, mientras que en los frutos tratados hidrotérmicamente presentó 116% en contraste con los que fueron tratados con vapor con un 45.8%. Con lo anterior, se observó que el tratamiento hidrotérmico provocó una aceleración en la transformación del almidón, lo cual no se vio reflejado en el tratamiento con vapor ya que el incremento de SST se llevó a cabo de forma similar a los frutos control, lo anterior contrasta con los trabajos realizados por Jacobi *et al.* (2001a), quienes encontraron que los tratamientos térmicos con agua caliente (HWT) a 47°C por 15 minutos afectan la hidrólisis de almidón, lo cual se refleja en los bajos niveles de SST. Otra explicación del comportamiento observado fue que la aplicación de altas temperaturas, que provocaron un incremento en la tasa respiratoria de los frutos y como en el proceso de respiración se libera CO₂, el carbono liberado proviene de la degradación de los azúcares cuando están en exceso (Hobson, 1993; Ryugo, 1993), lo cual sugiere que esto puede ser la causa de los bajos niveles de SST.



5.3.2. Efecto en pH

Como se puede observar en la figura 35, el pH de los frutos presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los mangos sometidos a tratamiento hidrotérmico con un valor de 2.7, respecto al control que presentó un valor de 1.9, mientras que los frutos sometidos al tratamiento de vapor saturado presentaron un valor de 2, no encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con el control en el preclimaterio (E_1). Dicha diferencia puede ser atribuida a las condiciones bajo las cuales fueron sometidos los frutos del tratamiento hidrotérmico ($46.1^\circ \text{C} / 65 \text{ min}$). Durante el proceso de maduración se puede observar, que tanto en controles como en los frutos tratados con vapor, se presentó un incremento en pH del 194 y 155% respectivamente, desde el preclimaterio (E_1) hasta el postclimaterio (E_4), en contraste con los frutos sometidos al tratamiento hidrotérmico no se observó un cambio en todo el proceso de maduración. Por otro lado, se observó que durante el máximo climaterio (E_3) no se presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los frutos de los diferentes tratamientos y los frutos control, considerado un efecto importante en este parámetro de calidad, en donde varios estudios han mostrados una clara evidencia que la condición y calidad del mango pueden ser mantenidas satisfactoriamente después de la correcta aplicación de los tratamientos térmicos (Nyanjage *et al.*, 1998).

A medida que el contenido de SST se van incrementando por la acción de la hidrólisis del almidón transformándolos en azúcares más simples, la acidez del fruto va disminuyendo viéndose reflejado en un incremento del pH, que va incrementándose conforme avanza la maduración del fruto sin llegar a valores alcalinos, como en trabajos de Doreyappa-Gowda y Huddar (2001), que reportaron que el valor del pH se incrementó considerablemente durante la maduración del fruto, lo cual puede ser atribuido a la declinación de la acidez.

En un estudio realizado por Espinosa y Hernández (2006) se demostró que la aplicación del tratamiento con vapor saturado en condiciones de 46°C por 10 y 20 minutos, para combatir al hongo *Collectotrichum gloeosporioides* en mangos 'Keitt' no se presentó ningún efecto negativo en este parámetro de calidad, indicando que el efecto de los tratamientos térmicos no afectaron el pH, como lo reportado en trabajos de Batista (2002).

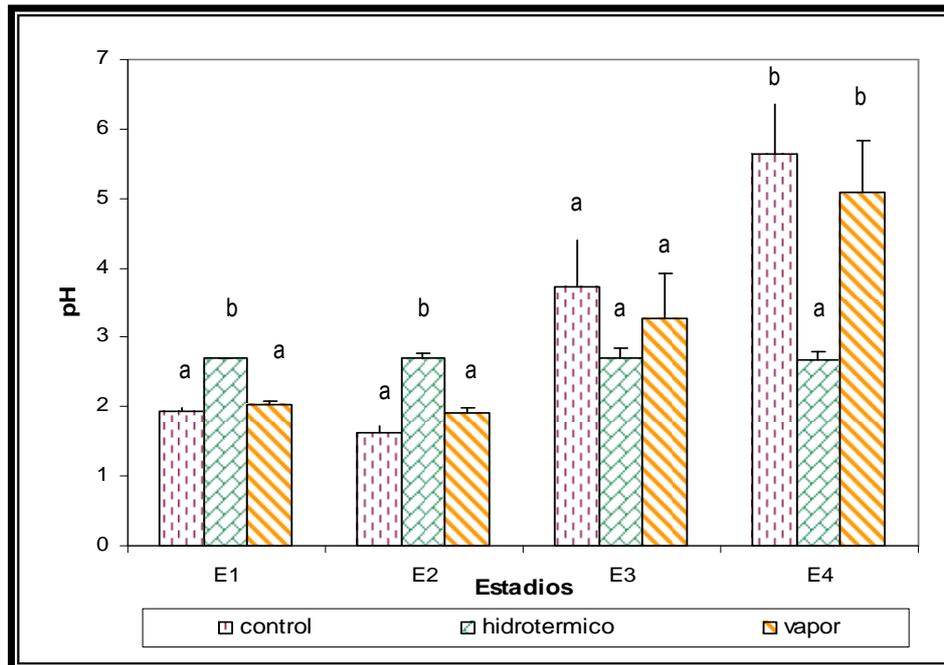


Figura 35. Efecto de los tratamientos térmicos en el pH de mangos variedad 'Ataulfo' almacenados a 20° C, en diferentes estadios de maduración: E₁ (preclimaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio y E₄ (postclimaterio) Cada valor representa la media de tres repeticiones ± desviación estándar. Las barras con letras iguales en cada estadio no difieren significativamente ($p \geq 0.05$).

5.3.3. Efecto en acidez

El aumento del pH corresponde a los cambios en el contenido de acidez titulable. En mango el ácido cítrico es el ácido predominante (Mitra y Baldwin, 1997), el cual presentó un descenso gradual de su concentración inicial al madurar el fruto como se puede observar en la figura 36, presentando concentraciones de acidez en el preclimaterio (E₁) de 0.26 hasta 0.012 en el postclimaterio (E₄) para el caso de los controles; por otro lado, los frutos sometidos al tratamiento hidrotérmico presentaron valores para el preclimaterio (E₁) de 0.28 hasta 0.13 en el postclimaterio (E₄), mientras que los frutos sometidos al tratamiento con vapor saturado presentaron valores de 0.25 hasta 0.01 para el preclimaterio y postclimaterio, respectivamente. Esta reducción en el contenido de acidez fue atribuida a su conversión en azúcares y el fomento de su utilización en los procesos metabólicos (Doreyappa-Gowda y Huddar, 2001).



De la misma forma no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el preclimaterio (E_1) para todos los casos, en donde no se ve reflejado un daño inmediato posterior al tratamiento ya que tanto frutos controles como frutos tratados térmicamente mantuvieron concentraciones similares de acidez. En el máximo climaterio (E_3) se puede observar una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento hidrotérmico con respecto del control en el mismo punto aunque posteriormente tiende a disminuir en el postclimaterio (E_4) siguiendo la misma tendencia a disminuir pero aún así presentando niveles superiores a los presentados por los frutos control y los sometidos al tratamiento con vapor saturado, encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

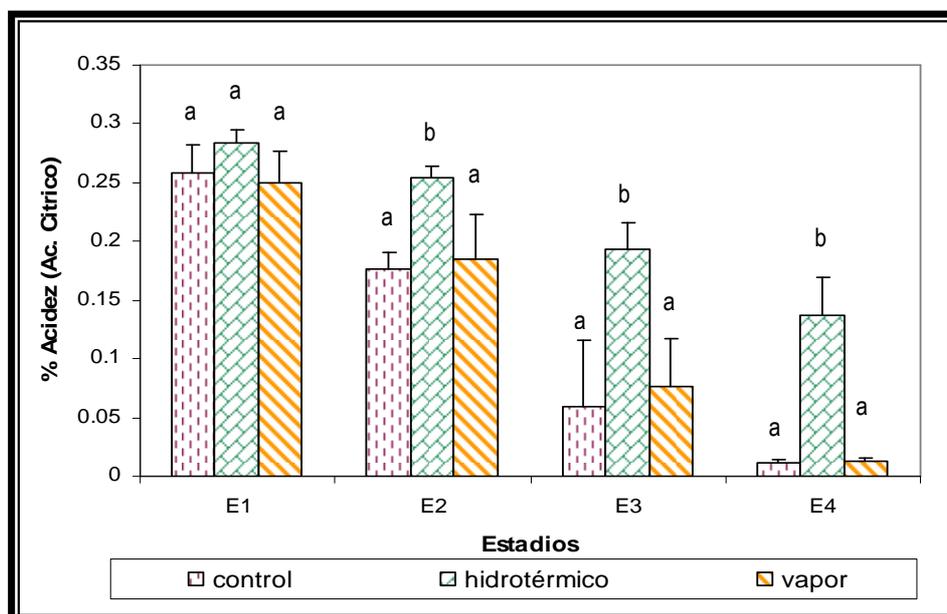


Figura 36. Efecto de los tratamientos térmicos de vapor e hidrotérmico sobre la concentración de acidez de mangos variedad 'Ataulfo' almacenados a 20° C, en diferentes estadios de maduración: E_1 (preclimaterio), E_2 (inicio del climaterio), E_3 (máximo climaterio) y E_4 (postclimaterio). Cada valor representa la media de tres repeticiones \pm desviación estándar. Las barras con letras iguales en cada estadio no difieren significativamente ($p \geq 0.05$).

5.3.4. Pérdida de peso

Como se puede observar en la figura 37 la menor pérdida de peso se llevó a cabo en los frutos control con un 8.36%, desde el preclimaterio (E_1) hasta el postclimaterio (E_4) en comparación con los frutos tratados en donde la pérdida fue de 14.78% para el hidrotérmico y de 9.48% para el de vapor durante el proceso de maduración del fruto. Dichos resultados nos muestran que existió una



mayor pérdida en los frutos tratados hidrotérmicamente mostrando una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con el control. Mientras que, con los frutos sometidos al tratamiento de vapor donde la pérdida de peso fue casi similar a la del control no presentó una diferencia significativa ($p \geq 0.05$).

La pérdida de agua en la pulpa y el rompimiento de ciertas sustancias complejas a simples formadas durante la maduración del fruto son la principal causa de la reducción en peso de la pulpa (Doreyappa-Gowda y Huddar, 2001), que también se ve reflejada en una pérdida de firmeza.

Sin embargo, en otros trabajos se encontró que en mangos 'Keitt' sometidos a un tratamiento térmico por agua caliente a 46.5°C por 45 minutos mostraron significativamente más pérdida de agua que el control, en comparación con los mangos de variedad 'Tommy Atkins', sujetos al mismo tratamiento térmico, los cuales mostraron cambios significativos en peso (Nyanjage *et al.*, 1998). En mangos 'Tommy Atkins' tratados térmicamente con aire caliente forzado a 43.5°C por 20 minutos mostraron una mayor pérdida de peso que los mangos no tratados después de dos semanas de almacenamiento y esta diferencia fue mantenida hasta la maduración (Miller y McDonald, 1991).

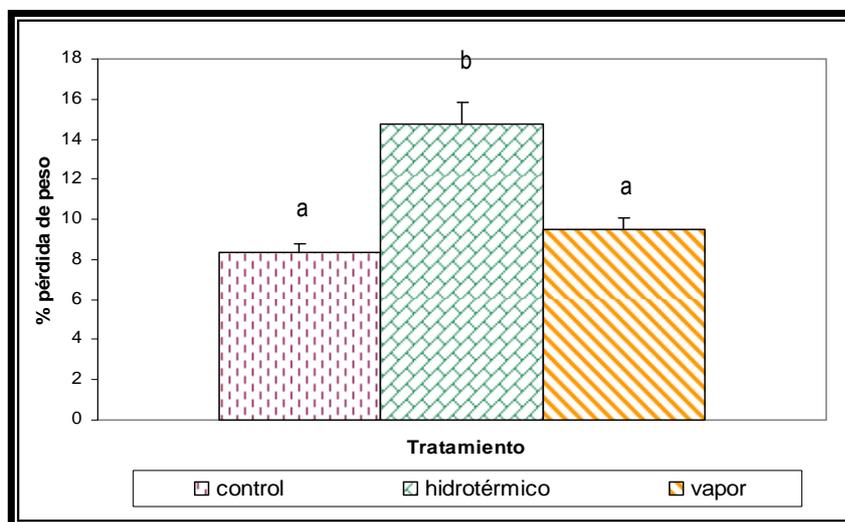


Figura 37. Efecto de los tratamientos térmicos sobre la pérdida de peso de mangos variedad 'Ataulfo' almacenados a 20°C . Cada valor representa la media de tres repeticiones \pm desviación estándar. Las barras con letras iguales en cada estadio no difieren significativamente ($p \geq 0.05$).



5.3.5. Efecto en firmeza

Como se puede observar en la figura 38 la pérdida de firmeza en el control, desde el preclimaterio (E_1) con 13 Kg / cm² hasta el postclimaterio (E_4) con 7 Kg / cm², presentó una tendencia descendente conforme avanzó la maduración del fruto. La firmeza tiende a disminuir durante la maduración ya que es provocada por los diferentes cambios bioquímicos que se presentan durante este proceso. Para el preclimaterio (E_1) no se observó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los tratamientos térmicos, lo cual indicó que no existió una modificación a nivel de la pared celular, de los tratamientos aplicados con respecto al control. Ya para el inicio del climaterio (E_2) se observó un descenso importante del 64% en la firmeza de los frutos tratados con vapor saturado presentándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control y al tratamiento hidrotérmico en el mismo estadio. Este ablandamiento del tejido puede ser atribuido a una aceleración de la maduración provocado por el estrés sufrido por los frutos que fueron sometidos a tratamientos térmicos.

La pérdida de firmeza en los frutos se debe a los cambios en el grosor de la pared celular, permeabilidad de la membrana y a la cantidad de espacios intercelulares que contribuyen al ablandamiento de los tejidos (Pantastico, 1987). Por esta razón, el ablandamiento de la pulpa puede ser atribuido a diferentes factores concernientes a la alteración de las propiedades de muchos constituyentes de la pared celular y al incremento de los polisacáridos solubles durante la maduración del fruto (Lizada, 1993; Roe y Bruemmer, 1981).

Una vez que los frutos han llegado a su máximo nivel de madurez o máximo climaterio (E_3) y después en el postclimaterio (E_4) se observó que no existe una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los diferentes tratamientos, con una diferencia entre el control y tratamiento de vapor apenas del 11% y para el hidrotérmico del 47% durante el máximo climaterio (E_3), mientras que para el postclimaterio (E_4) la diferencia fue del 1.8% para el tratamiento con vapor y de 16.6% para el tratamiento hidrotérmico, observándose que para estos estadios los frutos no presentaron severos cambios en la pérdida de firmeza respecto al control, como lo manifestaron estudios de Paull y Chen (2000), quienes encontraron que posiblemente la inhibición de las enzimas hidrolíticas de la pared celular originan una interrupción del ablandamiento de la pulpa (Paull y Chen, 2000). Por



otro lado, estudios realizados por Batista (2002) en mango 'Keitt', reportó que al aplicarle un tratamiento térmico por agua caliente a 50° C durante 100 minutos en el interior del fruto, éstos presentaron una disminución mayor de la firmeza que los controles (sin tratamiento) debido a que los tratamientos térmicos aceleran el ablandamiento del fruto en los cultivares de mango estudiados.

El ablandamiento de la pulpa en el proceso de maduración resulta de la desintegración de la pared celular, en parte, por el resultado de los cambios degradativos (solubilización) de las sustancias pécticas, que son estructuralmente necesarias a la pared celular, debido al incremento de la actividad de las enzimas como poligalacturonasa y celulasa (Ashraf *et al.*, 1981; Roe y Bruemmer, 1981; Brinson *et al.*, 1988).

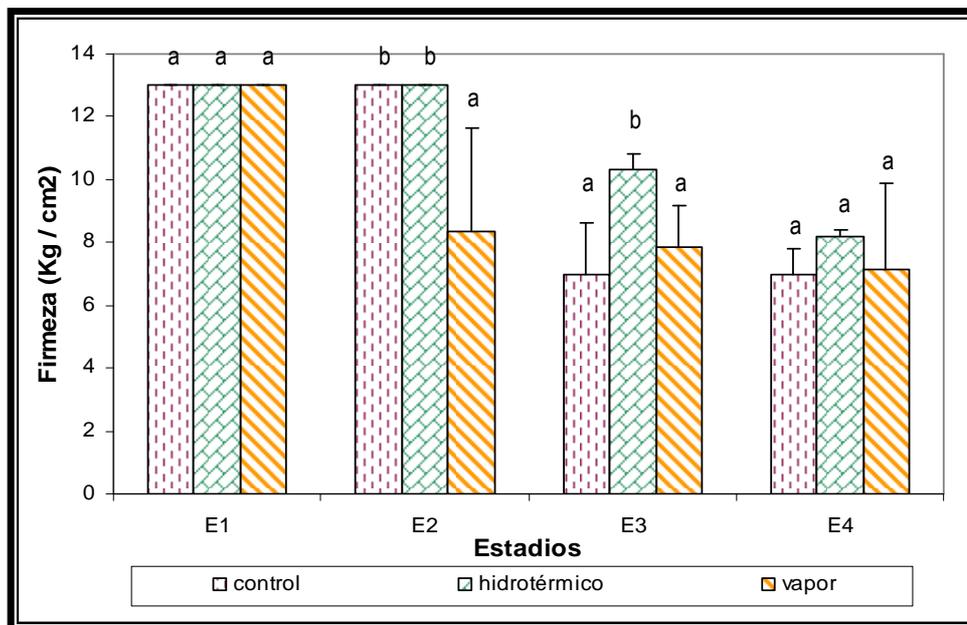


Figura 38. Efecto de los tratamientos térmicos de vapor saturado e hidrotérmico comparados con el control, sobre la firmeza de mangos variedad 'Ataulfo' almacenados a 20° C, en diferentes estadios de maduración: E1 (preclimaterio), E2 (inicio del climaterio), E3 (máximo climaterio y E4 (postclimaterio). Cada valor representa la media de tres repeticiones \pm desviación estándar. Las barras con letras iguales en cada estadio no difieren significativamente ($p \geq 0.05$).



5.3.6. Color

El cambio de color que sufre el mango durante la maduración es una de las principales características de aceptabilidad de este producto. Para el caso del mango variedad 'Ataulfo' destacan las tonalidades amarillas con pequeños puntos color naranja que se presentan conforme va madurando el fruto.

El color puede considerarse bajo tres aspectos: matiz, brillo y saturación. El matiz o clase de color se relaciona con la longitud de onda de la radiación que produce la estimulación óptica; el brillo es la medida del grado de dilución del matiz con el negro; y la saturación es la pureza del color o bien puede considerarse alternativamente como el grado de dilución con el blanco (Lees, 1980).

Como se puede observar en la figura 39 en el tratamiento hidrotérmico se presentaron valores de L^* en el preclimaterio (E_1) superiores a un 64% con respecto a los presentados por el control y el tratamiento con vapor, encontrándose con esto una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) y que posteriormente conforme avanzó la maduración de los frutos la tendencia fue más homogénea mientras que, para el caso de los tratamientos con vapor saturado se reportaron valores de L^* de 58.47, no presentando una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con el control que reportó datos de 58.36 para el mismo estadio, la diferencia encontrada en los mangos tratados hidrotérmicamente pudo deberse a una respuesta de los frutos inmediatamente después de haberse sometido a las condiciones de dicho tratamiento, provocando un incremento instantáneo en la luminosidad de los frutos. Por otro lado, se observó que a partir del inicio del climaterio (E_2) los frutos sometidos a los diferentes tratamientos presentaron un comportamiento similar o igual al control, observándose en todo momento que la luminosidad los frutos del tratamiento hidrotérmico presentaron valores superiores a los del control, presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Respecto a los parámetros a^* y b^* (figura 40) se apreció un cambio en la coloración durante el proceso de maduración del mango, donde a^* tomó valores durante el preclimaterio (E_1) de -16.9 hasta el postclimaterio (E_4) de 17.88 para el control de vapor, donde conforme maduró el fruto comenzó a predominar las tonalidades rojas, característica del mango variedad 'Ataulfo' y la gradual pérdida del color verde predominante en el preclimaterio (E_1). Por otro lado, b^* presentó valores de



42.3 en el preclimaterio (E₁) hasta valores de 62 para el postclimaterio (E₄) en control de vapor, donde se destaca la aparición del color amarillo a lo largo de la maduración de los frutos.

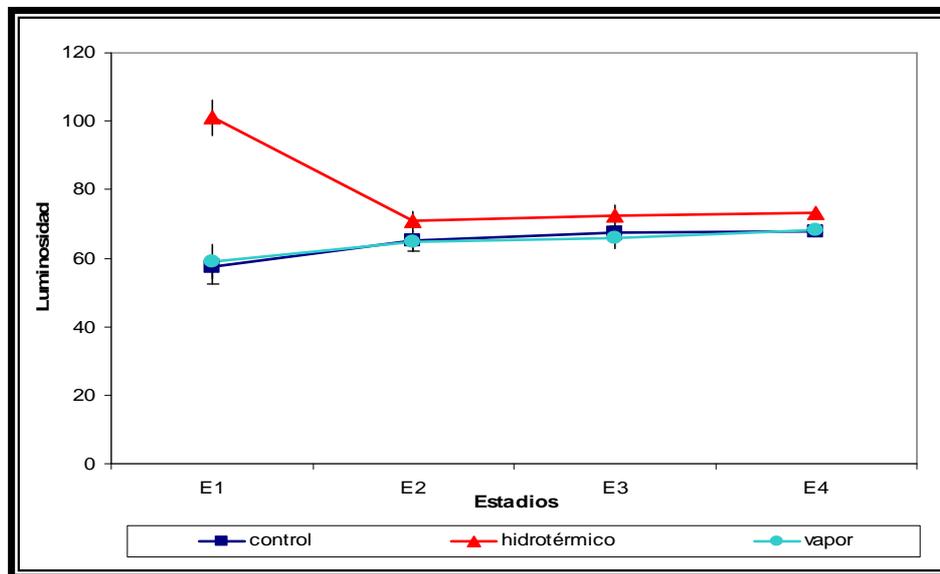


Figura 39. Luminosidad de mangos control y tratados térmicamente, almacenados a 20° C, en diferentes estadios de maduración: E₁ (preclimaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (postclimaterio). Cada valor representa la media de tres repeticiones \pm desviación estándar.

El ángulo Hue presentó una tendencia de incremento al igual que la luminosidad a lo largo del proceso de maduración de los frutos como se observa en la figura 40. El ángulo Hue presentó un valor en el preclimaterio (E₁) de 68, incrementándose hasta el postclimaterio (E₄) a un valor de 74, dicho incremento durante la maduración ubica la coloración de la piel en un tono amarillo.

En los frutos tratados el incremento del ángulo Hue, al igual que en los controles, fue gradual al proceso de maduración de los frutos, presentando en el preclimaterio (E₁) un incremento del 15% en el tratamiento hidrotérmico con respecto al control en el mismo punto, por otro lado un 2% de incremento del tratamiento con vapor con respecto al control, no encontrándose aquí una diferencia significativa ($p \geq 0.05$). Ya en el máximo climaterio (E₃) como se observa, no existió diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los tratamientos térmicos, mientras que en el postclimaterio (E₄) se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control, el tratamiento hidrotérmico y el tratamiento con vapor.

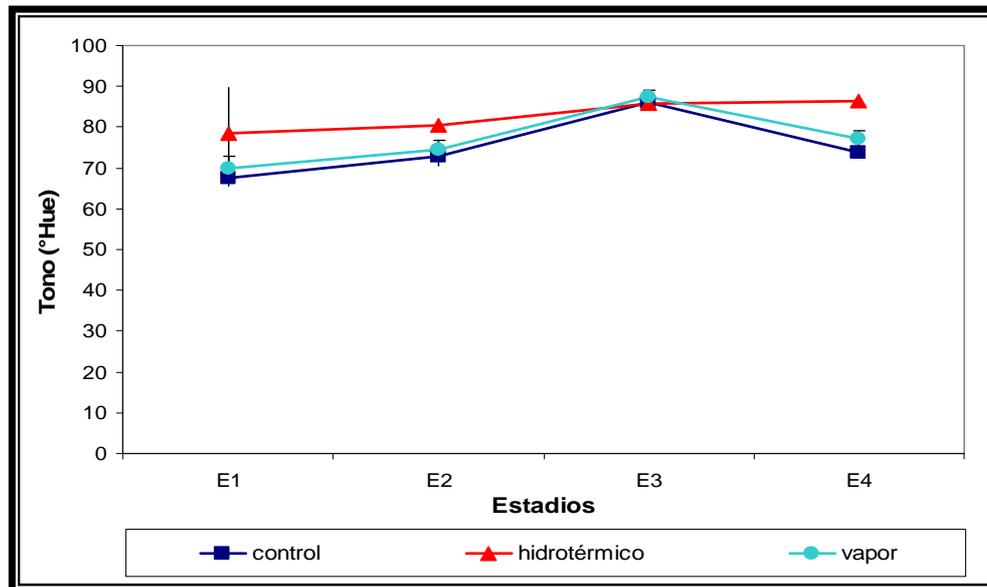


Figura 40. Tono de mangos control y tratados térmicamente, almacenados a 20° C, en diferentes estadios de maduración: E₁ (preclimaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (postclimaterio). Cada valor representa la media de tres repeticiones \pm desviación estándar.

En trabajos realizados por Jacobi *et al.*, (2001^b) mencionaron que los tratamientos térmicos aceleran el amarillamiento de la piel de los frutos, y en algunos casos, mejoran la uniformidad del color desarrollado. Por lo cual, en estudios realizados por Jacobi *et al.*, (2001^a) encontraron que en mango 'Kensington' la aplicación del tratamiento térmico por inmersión en agua caliente a 47° C por 15 minutos, dio lugar a que la piel del fruto madurado sea más amarilla según lo reflejado por los altos valores de ángulo Hue.

En los valores del croma o intensidad de color (figura 41) los frutos control parten desde el preclimaterio (E₁) con 45.4 hasta llegar a valores de 64.5 en el postclimaterio (E₄), donde se puede observar que el punto en donde se obtuvo la mayor intensidad de color fue ya hasta el postclimaterio (E₄), y conforme a la maduración del fruto este adquiere su color característico ya a partir del máximo climaterio (E₃).

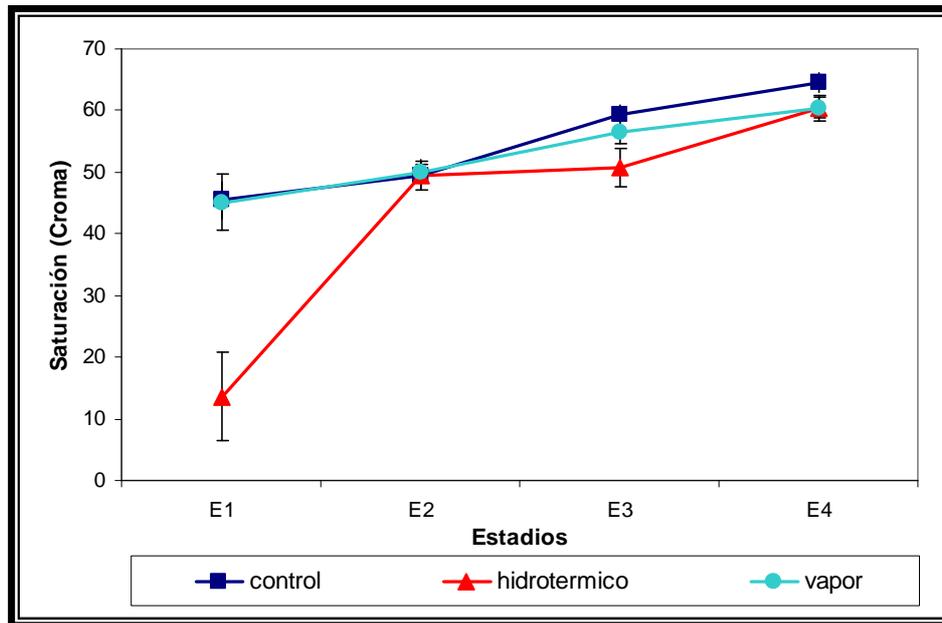


Figura 41. Intensidad del color de mangos control y tratados térmicamente, almacenados a 20° C, en diferentes estadios de maduración: E₁ (preclimaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (postclimaterio). Cada valor representa la media de tres repeticiones \pm desviación estándar.

Como se puede observar, la intensidad de color de los mangos tratados fue similar a la del control en los últimos tres estadios observándose un descenso del 4.9% para el tratamiento con vapor y un 14.5 % para el hidrotérmico en el tercer estadio (E₃), respecto al control en el mismo punto, lo cual nos indicó el efecto que tuvo cada tratamiento en cuanto a la intensidad del color de los frutos durante la maduración no observándose una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y el tratamiento con vapor y si existiendo una diferencia significativa entre el control y el tratamiento hidrotérmico ($p \leq 0.05$).

En trabajos realizados por Nyanjage *et al.*, (1998) encontraron que en mango 'Keitt' sometido a un tratamiento térmico por agua caliente a 46.5° C por 45 minutos, significativamente mejoran la luminosidad, el ángulo Hue y el croma, con respecto al control (no tratado).



5.4. Propuesta tecnológica.

A lo largo del presente trabajo y una vez validados los resultados experimentales de la aplicación del tratamiento con vapor caliente como una alternativa al tratamiento hidrotérmico, se realizó una propuesta tecnológica que pueda ser implementada en empresas empacadoras con fines de exportación del mango variedad ‘Ataulfo’ al mercado norteamericano.

5.4.1. Diagrama de proceso de una planta empacadora de mango.

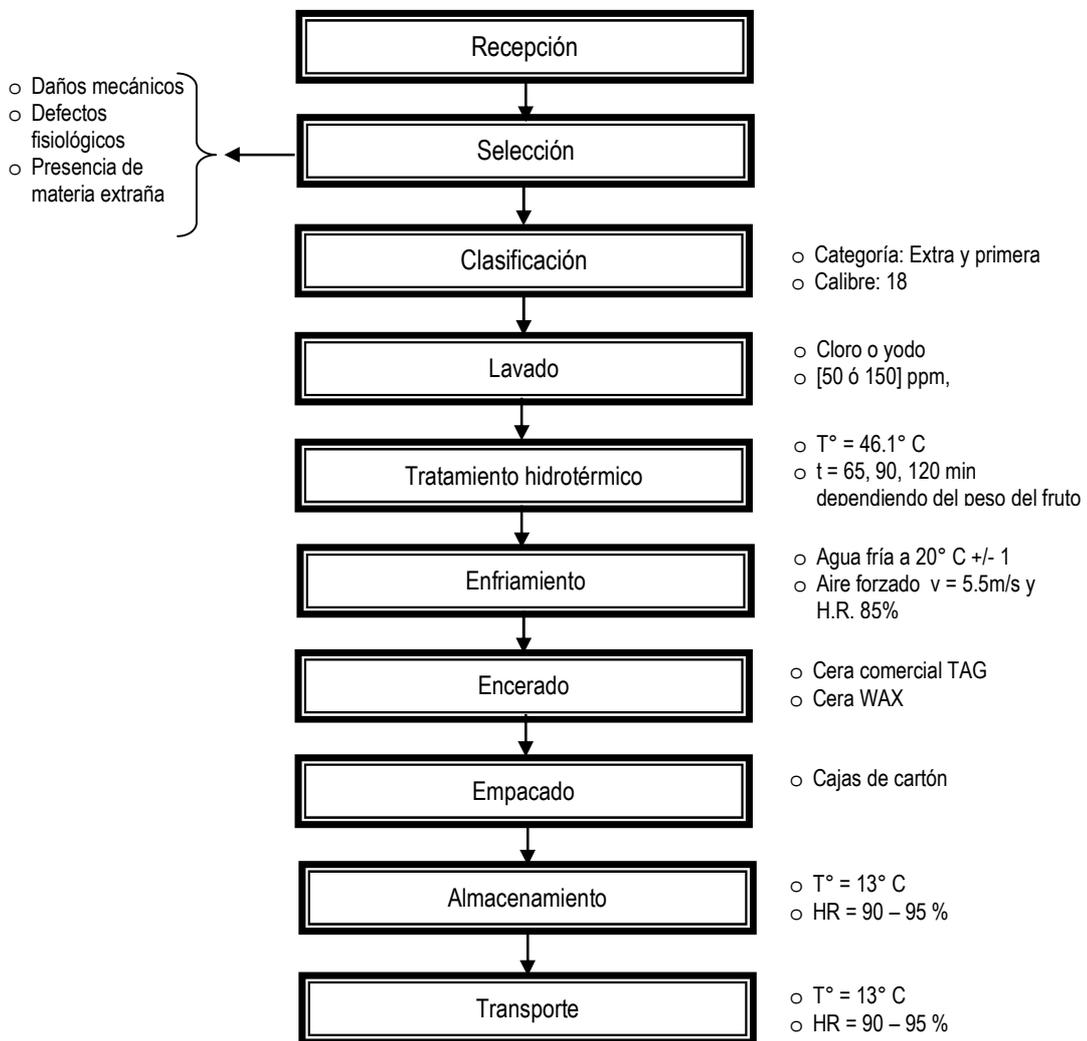


Figura 42. Diagrama de bloques del proceso de empacado de mangos para exportación.
Fuente: PROSERCO (2003)



La propuesta tecnológica que se pretende plantear busca sustituir el tratamiento hidrotérmico sin modificar considerablemente las instalaciones de una planta ya establecida. Para cumplir con este objetivo es necesario conocer las operaciones unitarias que se llevan a cabo dentro de una planta empacadora, las cuales se muestran en el diagrama de proceso (figura 42) y abajo se describen cada una de las operaciones, condiciones y equipo.

- **Recepción de mango variedad ‘Ataulfo’**

Se reciben los frutos provenientes del campo, los frutos llegan a la planta en cajas de madera o “guacales” transportados por vía terrestre o marítima, dependiendo de su procedencia o la localización de la planta (figura 43).



Figura 43. Recepción del producto a la planta empacadora
FUENTE: PROSERCO (2003)

- **Selección y clasificación**

Se realiza una primera selección visual, rechazando los frutos que presenten daños mecánicos, presencia de materia extraña, daños por animales silvestres o daños causados por alguna enfermedad. El producto deberá ser manejado de manera higiénica por el personal de la planta. Posteriormente se lleva a cabo una selección mecánica donde los equipos utilizados basan su operación principalmente en peso, tamaño y forma.



Figura 44. Selección manual del fruto
FUENTE: PROSERCO (2003)

La clasificación consiste en separar el lote en grupos homogéneos, tomando en consideración características físicas de color, tamaño, peso y/o forma (figura 44 y 45).

Según la NMX-FF-058-SCFI-2006, los mangos se clasifican de acuerdo con sus especificaciones o características de calidad, tamaño y ausencia o presencia de defectos en grados de calidad en orden descendente: extra, primera y segunda, siendo utilizados, para la exportación los de categorías extra y primera (SCFI, 2006).

Los mangos de calidad extra, además de satisfacer las especificaciones sensoriales y de madurez (frescos, limpios, enteros, bien desarrollados, con su forma color y sabor característicos de la variedad, de consistencia firme, con pedúnculo de máximo 1 cm , exentos de humedad exterior y libres de descomposición), deben estar prácticamente libres de defectos y dentro de las tolerancias establecidas para esta calidad, sólo se le permiten alteraciones leves de la piel que no afecten el aspecto general del producto y su presentación en el envase.

Los de categoría primera deben satisfacer las especificaciones sensoriales y de madurez, y pueden presentar defectos, siempre y cuando no afecten el aspecto general del producto y su presentación en el empaque. Se admiten en esta categoría defectos menores en forma y color y defectos menores de la piel debido al látex. En ningún caso puede afectarse la pulpa.



Figura 45. Selección y clasificación mecánica del fruto
FUENTE: PROSERCO (2003)

- **Lavado**

Para el mango es comúnmente utilizada la inmersión, como paso previo a otras formas de higienización; con esto se pretende ablandar la tierra adherida y que pueda ser desechada junto con residuos orgánicos. El agua utilizada en esta operación debe demostrarse que es apta para consumo poscosecha según lo referido en la NOM-127-SSA1-1994. Para que la inmersión sea más eficiente el agua debe ser movida por agitadores cubiertos o con corrientes de aire, para producir turbulencia (SSA, 1994).

Otra forma de lavado es la aspersion, utilizada cuando se tienen grandes cantidades de fruta, debido a su eficiencia y rapidez. Esta dependerá de la presión del agua, el volumen, la temperatura, la altura entre el producto y las boquillas de salida, el tiempo de exposición del producto y el número de boquillas utilizadas (figura 46).

En ambos casos se utilizará una solución de cloro y deberá mantenerse entre 50 y 150 ppm de cloro libre en un rango de pH de 6.5 a 7.5.

Una vez lavados los frutos se debe remover la humedad pasando el producto a través de maquinas secadoras, empleando aire a temperatura entre 40° y 50° C por un minuto aproximadamente.



Figura 46. Lavado por inmersión o aspersión de los frutos.
FUENTE: PROSERCO (2003)

- **Aplicación del tratamiento hidrotérmico**

La aplicación del tratamiento consiste en la inmersión de los contenedores con los frutos en una cámara que estará llena de agua caliente a una temperatura constante de 46.1° C y cumplir con lo establecido en la NOM-075-FITO-1997 en la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para la movilización de los frutos hospederos de mosca de la fruta, así como en el plan de trabajo establecido por la USDA, APHIS-IS Y SAGARPA – DGSV del 2003 para frutos del mango para exportación (SAGAR, 1997; USDA-SAGARPA, 2003).

Para la aplicación del tratamiento se utilizará agua que cumpla con la NOM-127-SSA1-1994, en la cual se establecen las condiciones para el uso de agua para consumo humano y tratamientos a los cuales puede ser sometida (figura 47) (SSA, 1994).



Figura 47. Aplicación del tratamiento hidrotérmico
FUENTE: PROSERCO (2003)



- **Enfriamiento**

Inmediatamente después del tratamiento con calor se pasa a un sistema de hidrogenfriamiento mediante la inmersión del mango a un tanque con agua a 20 +/- 1° C durante los primeros 30 minutos inmediatos al tratamiento, y una vez pasado este tiempo, se permitirá el uso de agua a una temperatura menor.

Esta operación se realiza para reducir la intensidad respiratoria y minimizar el riesgo de contaminación por microorganismos. El enfriado puede llevarse de dos maneras, la primera de ellas es con la inmersión de los frutos en agua fría, es la más común, o por aspersión de la misma (figura 48). El agua deberá ser apta para uso poscosecha, realizándose análisis químicos y microbiológicos.

Otra de las formas actualmente es utilizando aire forzado, teniendo cuidado en mantener controladas la temperatura y humedad relativa. En este caso se colocan los contenedores dentro de unas cámaras de lona y dentro de ellas se hace circular una corriente de aire frío y así disminuir la temperatura de los frutos.

Los beneficios del enfriamiento se manifiestan durante el almacenamiento, ya que alarga la vida útil de los frutos.



Figura 48. Hidrogenfriado de los frutos

FUENTE: PROSERCO (2003)



- **Encerado**

Al lavar el mango pierde su capa natural de cera, pero puede adicionarse una capa de cera aplicada artificialmente; esa capa debe tener un grosor y una permeabilidad adecuada, para no crear condiciones anaeróbicas dentro del fruto. Esta práctica aumenta la vida útil del fruto, proporciona al producto características especiales de brillo, reduce las pérdidas de peso en poscosecha y proporciona protección contra microorganismos causantes de pudrición.

Actualmente se utiliza cera comercial TAG (polietileno en emulsión acuosa), que retarda el proceso de maduración y disminuye las pérdidas por deshidratación y la cera WAX, que es aplicada como una emulsión de agua o en aceite natural, aumenta la vida útil del fruto en un 50% (PROSERCO, 2003). Sin embargo, en los mangos para exportación a Estados Unidos, no es una práctica común.

- **Empacado y etiquetado**

Se empacaran los frutos en cajas de cartón (figura 49), que deberán estar libres de polvo y/o plagas. Se evitará por completo el uso de cajas de madera, ya que representan un foco de infección.

Cada empaque deberá llevar en la parte exterior una etiqueta o impresión con caracteres que muestren la naturaleza del producto, identificación del exportador y/o envasador, origen del producto (país y región) y descripción comercial (contenido en kilogramos, número o letra de referencia o número de frutos por envase y designación del producto).



Figura 49. Empacado de los frutos
FUENTE: PROSERCO (2003)



- **Almacenamiento**

Se lleva a cabo en cuartos refrigerados (figura 50) a una temperatura de 13° C y 90 – 95% HR, con esto el mango puede durar entre 2 y 3 semanas.



Figura 50. Almacenamiento del producto

FUENTE: PROSERCO, (2003)

- **Transporte**

Según el destino, el mango debe conservar las condiciones del almacenamiento (13° C, HR= 90 – 95 %) si se dirige a lugares lejanos y su transporte es por vía marítima o terrestre, cuando se realiza por vía aérea, es necesario evitar los golpes con otras cajas, no acumular muchas cajas unas sobre otras y, si es posible, continuar con las características del almacenamiento.

En la figura 51 se muestra el diagrama de distribución de una planta empacadora de mangos para exportación.

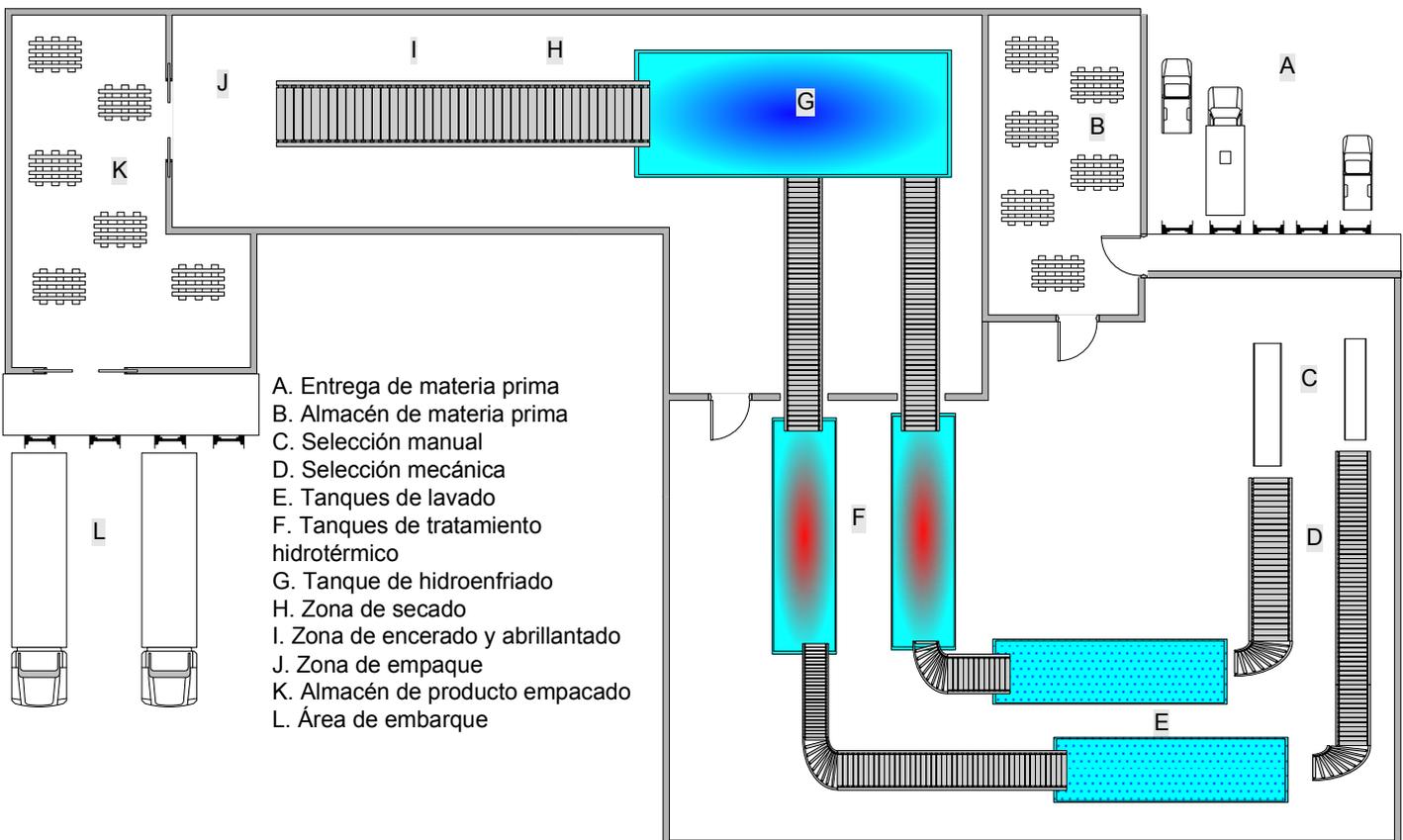


Figura 51. Diagrama de distribución de una planta empacadora de mango



4.4.2. Descripción del tratamiento hidrotérmico (USDA, APHIS-IS Y SAGARPA – DGSV, 2003).

Un sistema de tratamiento hidrotérmico debe contar con una capacidad adecuada para el calentamiento del agua y un control termostático que funcione en forma automática, que permita mantener o superar la temperatura requerida durante el tiempo de tratamiento establecido para el producto. El sistema incluye un equipo para calentamiento de agua de alta capacidad y un sistema de circulación que asegure temperaturas uniformes en todo el producto sometido a tratamiento. Por otro lado, se requiere de un equipo para registrar e imprimir simultáneamente las temperaturas del agua, inicio y terminación de cada tratamiento.

Serán necesarios por lo menos dos sensores de temperatura por tanque. La impresión del registro de las temperaturas de cada sensor debe identificarse fácilmente y registrarse al menos cada 2 minutos.

El control termostático podrá programarse a una o varias temperaturas, dependiendo del equipo de control y tipo de sistema de tratamiento. Además, todas las válvulas y controles que afecten el flujo de calor al sistema, deberán asegurarse para evitar que puedan ser manipuladas durante el proceso de tratamiento.

Todos los controles de la fuente de calor deberán ser automáticos y funcionar continuamente durante todo el proceso de tratamiento.

El sistema contará con un interruptor, un sensor o un dispositivo similar para activar/desactivar los sistemas de registro de tiempo y temperatura cuando la canasta de mangos se coloque o se saque del tanque, o indique si el tratamiento fue interrumpido.

Todos los sistemas hidrotérmicos deben estar diseñados para permitir la instalación de numerosos sensores portátiles, distribuidos en forma uniforme entre la fruta, incluyendo el centro y el perímetro del tanque de tratamiento.



4.4.3. Modificaciones al sistema para convertirlo en sistema que utilice vapor saturado.

- Al igual que el sistema hidrotérmico, se utilizará un tanque, pero esta vez, deberá de contar con una tapa que sellará al sistema y podrá ser removida cada vez que inicie o termine un tratamiento.
- El tanque deberá tener la capacidad suficiente para calentar agua y generar de vapor saturado.
- Para el sistema generador de vapor, se tienen dos propuestas:
 - La primera propuesta es ubicar el sistema generador de vapor saturado en la parte inferior del tanque (figura 52). Estará constituido por resistencias eléctricas y un control termostático, ambos conectados al panel de control del equipo. El control termostático, que funcionará de forma automática, tendrá la capacidad de mantener o superar la temperatura requerida por el sistema. La cantidad de agua a utilizar para la generación de vapor deberá ser como máximo una tercera parte de la capacidad total del tanque. En la zona de generación de vapor se contará con un sistema de recirculación del agua, con el fin de mantener la misma temperatura en toda el agua. Se contará con un sistema de drenado, para drenar el agua que sea utilizada y para controlar la sanidad del tratamiento.

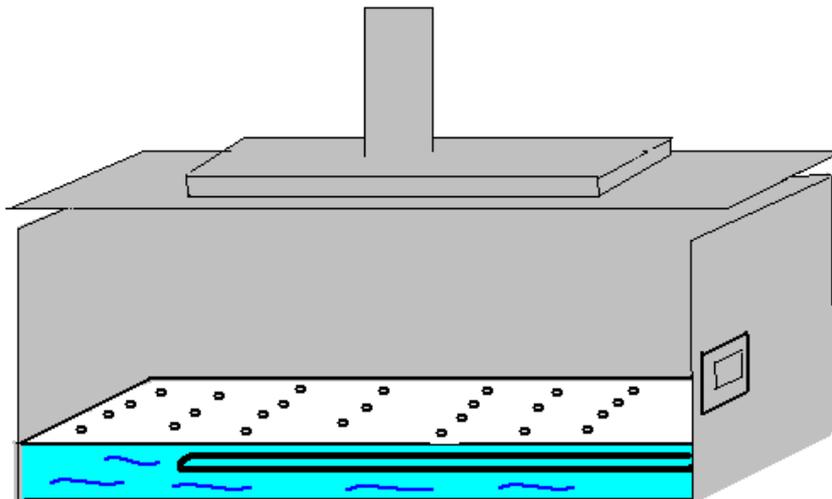


Figura 52. Primer propuesta de modificación

- Una segunda propuesta (figura 53) sería, que dentro del tanque las paredes contarán con orificios por los cuales se inyectaría el vapor proveniente de una caldera, la entrada de vapor



al sistema estaría regulado por sus respectivos juegos de válvulas automáticas, para el control de la presión y la temperatura a la cual entraría el vapor al sistema. Este sistema contaría de la misma forma con un control termostático el cual estará conectado al panel de control del equipo y a su vez al juego de válvulas. En la parte inferior del tanque se contará con un sistema de drenado de líquido condensado, para evitar que la temperatura llegase a disminuir por la acumulación de este.

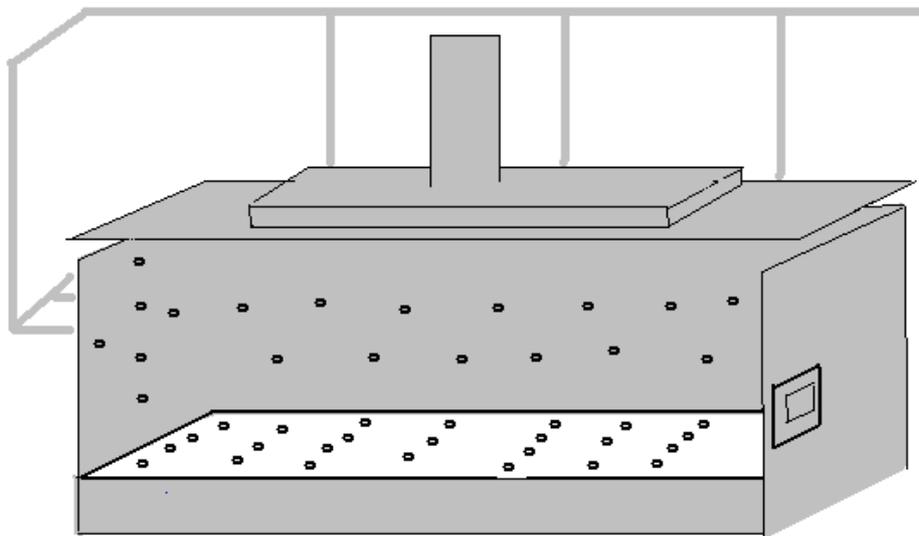


Figura 53. Segunda propuesta de modificación

- La plataforma en la cual se ubicarán las canastas no podrá ser lisa, esta deberá contar con orificios a lo largo y ancho de la misma, para el libre drenado del líquido condensado. El control de esta plancha estará ubicado en el panel de control general del equipo. Tanto su ascenso para la recepción de las canastas y su descenso para la descarga de las mismas se llevará a cabo por un sistema hidráulico el cual evitará que entre en contacto con el líquido al fondo del tanque.
- Para este sistema al igual que el hidrotérmico serán necesarios por lo menos dos sensores de temperatura, uno para el vapor y otro para los frutos, los cuales se identificarán y registrarán las temperaturas por lo menos cada dos minutos del proceso. En ambos casos, el agua utilizada, bastará con que sea apta para tratamientos poscosecha, a la cual se le realizarán análisis químicos y microbiológicos para evitar una contaminación de los frutos.

En la **Tabla 11 se muestran las** Características del sistema hidrotérmico y el de vapor saturado.



Tabla 11. Características del sistema hidrotérmico y el de vapor saturado

	TRATAMIENTO HIDROTÉRMICO	TRATAMIENTO CON VAPOR SATURADO
GENERACIÓN DE CALOR	<ul style="list-style-type: none">Resistencias eléctricas	<ul style="list-style-type: none">Resistencias eléctricasInyección de vapor (generado por caldera)
CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA	<ul style="list-style-type: none">Estanque de acero inoxidable aislado en todo su perímetroSistema de recirculación de aguaSistema de drenado de agua (3 veces al día o al finalizar cada tratamiento)Plataforma hidráulica para carga y descarga del producto, perforada para el libre paso del vapor y como sistema de drenado para el agua.	
		<ul style="list-style-type: none">Tapa hidráulica con cerrado hermético para evitar el escape del vapor <p>Sistema con Resistencias eléctricas</p> <ul style="list-style-type: none">1/3 parte del tanque se llenará con agua destilada para la generación del vapor <p>Sistema con inyección de vapor</p> <ul style="list-style-type: none">Vapor generado por la caldera de la plantaEl tanque contará con orificios en sus caras laterales por donde se inyectara el vaporLa presión del vapor será controlada por válvulas automáticas y calibradas a la presión y temperatura correspondientes al tratamiento
SENSORES DE TEMPERATURA	<ul style="list-style-type: none">Por lo menos 2 por cada tanque	



Tabla 11. Características del sistema hidrotérmico y el de vapor saturado (continuación)

SISTEMA DE REGISTRO	<ul style="list-style-type: none">• Un equipo que registre e imprima simultáneamente las temperaturas del agua, inicio y terminación de cada tratamiento con una precisión de 0.27° C en relación con la temperatura medida por un termómetro calibrado y certificado• Bitácora para registrar todos los tratamientos, descomposturas, reparaciones, cambios y/ o modificaciones
CONTROLES	<ul style="list-style-type: none">• Automáticos• Deberán funcionar continuamente durante todo el tratamiento• Termostato para controlar la temperatura del sistema• Se contará con un sistema de alarma audible para indicar fallas en el sistema• Interruptor, sensor o dispositivo para activar o desactivar el registro de tiempo y temperatura.
LOCALIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Zona cerrada y separada del área de proceso asegurada con malla (24 mallas /in), paredes, cortinas de aire, etc.



6. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en el siguiente trabajo, se concluye lo siguiente:

- ✦ La metodología para el cuidado, mantenimiento y alimentación de las moscas en condiciones artificiales de laboratorio fue adecuada, ya que se logró contar con la colonia de *A. ludens* de manera permanente para lograr la infestación dirigida de los frutos.
- ✦ El proceso de infestación de los frutos en el laboratorio fue adecuado, ya que se establecieron las condiciones del número de moscas hembras y machos (100 de c/u), que se requerían para lograr una infestación en el fruto, sin presentarse una competencia entre los insectos. También se estableció el tiempo (24 horas) y la temperatura (28°C) de incubación para lograr una buena infestación previo al tratamiento térmico.
- ✦ Se establecieron las condiciones para el tratamiento con vapor saturado (48° C y 16 minutos) con las cuales se controló el desarrollo de los huevecillos de la mosca mexicana de la fruta (*A. ludens*), manteniendo la calidad del mango variedad 'Ataulfo' y logrando un efecto similar al tratamiento hidrotérmico.
- ✦ El tratamiento por vapor saturado no provocó un efecto en los parámetros de calidad. El contenido de sólidos solubles, pH y Acidez de los mangos tratados no presentaron diferencia significativa con respecto a los frutos sin tratamiento, por lo que el sabor no se vio afectado. El color tampoco sufrió efectos negativos por la aplicación de los tratamientos.
- ✦ Los tratamientos por vapor saturado provocaron una alteración en la tasa de respiración del fruto, que se vio reflejado en una aceleración de la maduración sin presentarse efectos negativos en la vida media del fruto.
- ✦ El vapor saturado constituye una buena alternativa en nuestro país, principalmente por la problemática que se tiene en cuanto al abastecimiento de agua ya que el tratamiento con



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

vapor, en comparación con el tratamiento hidrotérmico, utiliza un menor volumen de agua lo cual favorece económicamente al país.

- ✦ Comparando el tratamiento con vapor saturado con el tratamiento hidrotérmico, no se observan grandes diferencias entre los efectos que provocan en los parámetros de calidad, químicos, fisicoquímicos y el control de la mosca de la fruta, manteniéndose así como una alternativa viable para muchas empresas.
- ✦ Es posible la implementación del tratamiento con vapor saturado en empresas que utilizan el tratamiento hidrotérmico sin tener que realizar modificaciones considerables en la instalación de la planta.



7. Recomendaciones

Con base a los resultados obtenidos se recomienda lo siguiente:

- ✦ Evaluar el efecto de otros tratamientos como aire caliente, radiaciones ionizantes y no ionizantes (UV-C) para controlar la presencia de la mosca mexicana de la fruta y de esta manera contar con tratamientos poscosecha que no dañen la calidad del producto.
- ✦ Estudiar el efecto del tratamiento con vapor caliente en otras variedades de mango cultivadas en México como: 'Haden', 'Manila', 'Kent' y "Tommy Atkins" para establecer las condiciones del tratamiento y de esta manera ayudar a evitar las pérdidas poscosecha.
- ✦ Evaluar el efecto del tratamiento con vapor caliente en algunas enzimas como: la PPO, POD, fenilamonioliasa (PAL), ACC oxidasa, ACC sintasa, poligalacturonasa y β -galactosidasa que permitan ayudar a establecer las bases bioquímicas de este tratamiento.



8. REFERENCIAS

1. Aguirre, M.C. y Fernández, V.B. (1999). El cultivo del mango. Disponible en: <www.infofrut.com.ar/tema%20y%20nota%20tecnicas-36.html>
2. Allende-Molar, R; García, R.S. y Carrillo, A. (2002). Enfermedades poscosecha en mangos cultivados en Sinaloa. Boletín del CIAD, Mayo-Junio. Departamento de Protección y Nutrición Vegetal, CIAD-Unidad Culiacán. Disponible en: <www.ciad.mx/boletin/mayjun02/mangos.pdf>
3. Altieri, M; Trujillo, L; Campos, C; Klein-koch, C. (1989). El control biológico clásico en América latina en su contexto histórico. *Manejo integrado de plagas* (CATIE) **12**: 82 – 107.
4. Aluja, M. R. (1993). *Manejo integrado de mosca de la fruta*. Trillas. México. pp.-251
5. Aluja, M. R. (1994). Bionomics and Management of *Anastrepha*. *Ann. Rev. Entomol.* **12**:155 – 178.
6. Aluja, M.R. y Boller, E.F. (1992a). Host marking pheromone of *Rhagoletis cerasi*: foraging behavior in response to synthetic pheromonal isomers. *J. Chem. Ecol.* **18**(8): 1299 – 1311.
7. Aluja, M.R. Boller, E.F. (1992b). Host marking pheromone of *Rhagoletis cerasi*: field deployment of synthetic pheromone as a novel cherry fruit fly management strategy. *Entomo. Exp. Appl.* **65**: 141 – 147.
8. Aluja, M.R; Cabrera, M; Guillen, J; Celedonio, H.H; Ayora, F; (1989). Behavior of *Anastrepha ludens*, *A. obliqua* and *A. serpentina* (Diptera: Tephritidae) on a wild mango tree (*Mangifera indica*) harbouring three McPhail tramps. *Insect Sci. Applic.* **10** (3): 309 – 308
9. Aluja, M.R; Cabrera M; Rios, E; Guillen, J; Celedonio, H.H; Hendrichs, J; Liedo, P. (1987b). A survey of the economically important fruit flies (Diptera: Tephritidae) present in Chiapas and a few other fruit growing regions in Mexico. *Fla. Entomol.* **70** (3): 320 – 329.
10. Aluja, M. R; Celedonio H. H; Liedo P; Cabrera M; Lozada N; Quintero G. (1996). Seasonal Population Fluctuation and Ecological Implication of Management of *Anastrepha* Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) in Commercial Mango Orchards in Southern Mexico. *J. Econ. Entomol.* **5**: 654 - 667
11. Aluja, M. R; Guillen J; De la Rosa G; Cabrera M; Celedonio H. H; Liedo P; Hendrichs J. (1987a). Natural host plants survey of the economically important Fruit flies (Diptera: Tephritidae) of Chiapas México. *Fla. Entomol.* 329 – 338.
12. Aluja, M.R; Guillen, J. Liedo, P. Cabrera, M; Rios, E; De la rosa, G; Celedonio, H.H; Mota, D. (1990). Fruit infesting tephritids (Diptera: Tephritidae) and associated parasitoids in Chiapas, México. *Entomophaga.* **35** (1): 39 – 48.
13. Aluja M.R; Hendrich, J; Cabrera, M. (1983). Behavior and Interactions between *Anastrepha ludens* (Loew) and *A. obliqua* (M.) on a field caged mango tree- 1. Lekking behavior and male territoriality. Fruit flies of Economic Importance. Proceedings of the CEC / IOBC Symposium. R. Cavalloro. Ed.: 122 – 133. Athens, Greece. Balkeman, Rotterdam.



14. Aluja, M. R; Liedo P. F. (1986). Perspectives on future integrated management of fruit flies in Mexico. Pest Control: Operation and Systems Analysis in Fruit Fly Management. Proc. NATO ASI Vol. G | M, Mangel, *et al.*, Springer Verlag Hesdelberg, New York. 9 -42
15. Aluja, M.R. y Prokopy, R.J. (1992). Host search behavior by *Rhagoletis pomonella* flies: inter-tree movement patterns in response to wind-borne fruit volatiles under field conditions. *Physiological Entomology*, **17**: 1 – 8.
16. Aluja M.R. y Prokopy R.J. (1993). Host odor and visual stimulus interaction during intratree host finding behavior of *Rhagoletis pomonella* flies. *J. Chem. Ecol*; **19** (11): 2671- 2695.
17. Ashraf, M; Khan, N; Ahmad, M. y Elahi, M. (1981). Studies on the pectinesterase activity and some chemical constituents of some pakistani mango varieties during storage ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **29**: 526-528.
18. AOAC (1990) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC, Food Composition; Additives; Natural Contaminants Volume two. Published by the Association of Official Analytical Chemists, Inc. Arlington, Virginia, USA, 15a Edition, 1298 pp.
19. Baranowski, R; Holly, G; Sivinski, J. (1993). Biological control of the Caribbean fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Fla. Entomol.* **76** (2): 245 -251.
20. Baker, A.G. (1952). The vapor-heat process. USDA Yearbook, U.S. Gov. Print. Off., Wash. DC. 216-217.
21. Batista, A.R. (2002). Estudio preliminar sobre el empleo de los tratamientos térmicos de microondas y agua caliente en la desinfección del mango Keitt. *Alimentaria*, **1**: 89-94.
22. Becerra, L. E. N. (1995). Enfermedades en el cultivo del mango. En: *La producción del mango en México*. Mata, B. I y R. V., Mosqueda (eds). Ed. Uteha/Noriega Editores, México. pp.59.
23. Belloti, A.; Pena, A. (1977). Studies on the cassava fruit fly *Anastrepha* spp. Cassava protection workshop. Proceedings. CIAT. p. 203-208.
24. Billot, J. (2002). El pardeamiento enzimático, en: *Tecnología de las Hortalizas*. Trill, Y. I. y Bourgeois, C. M. (eds.) Editorial ACRIBIA. pp. 233-257.
25. Biology Cabinet. (2007). Research and Advisory on Biology. *Anastrepha ludens* Loew (Mosca Mexicana de la Fruta). Plaga en la región agrícola de Nuevo León, México. Disponible en: < www.biocab.org/Anastrepha.html >
26. Bramlage, W.J. y Meir, S. (1990). Chilling Injury of Crops of Temperature Origin. *Food Science*, **43**: 264 – 266.
27. Brinson, K; Dey, P.M; John, M.A. y Pridham, J.B. (1988). Post-harvest changes in *Mangifera indica* mesocarp cell walls and cytoplasmatic polysaccharides. *Phytochemistry*, **27**(3): 719-723.
28. Boscán, Nancy. (2001). *Métodos cuarentenarios de control de las moscas de las frutas*. FONAIAP, Centro de Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela. pp. 50



29. Chan, H.T., Linse, E. (1989). Conditioning cucumbers for quarantine heat treatments. *HortScience* **24**, 985-989.
30. Consumer, (2006). Conozcamos algo mas sobre las frutas. Disponible en: <<http://frutas.consumer.es/documentos/conozcamos/tropicales/mango.php>>
31. Cornell University, Academic Technology Center (2002). *Mangifera indica* Linneaus. Disponible en: <www.cit.cornell.edu/courses/hort400/mpts/mango.html>
32. Corporación Colombiana Internacional (2005). Origen y *Botánica del mango*. Disponible en: <www.cci.org.co/informacion/mango/mangoorigen.html>
33. Couey, H. M. (1982). Chilling injury of crops tropical and subtropical origin. *HortScience*, **17**: 162 – 165.
34. Couey, H.M. (1989). Heat treatment for control of postharvest diseases and insect pest of fruits. *HortScience*, **24** (2): 198-202.
35. CRFG. California Rare Fruit Grower Inc. (1996). Mango *Mangifera indica* L. Anacardiceae. Disponible en: <www.crfq.org/pubs/ff/mango.html>
36. Cruz, C. y Pérez, C. (1998). "Evaluación del efecto conservador y antimicótico de la película de quitosan en la vida útil del mango (*Mangifera indica* L.) variedad Haden". Tesis de ingeniería en alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.
37. Dave's Garden. (2004). Mango. Disponible en: <<http://plansdatabase.com>>
38. Díaz-Sobac, R., De la Cruz, J., Vázquez-Luna, A., Berinstain, C. I. y García, H. S. (1997). Evaluation of softening and associated enzyme activities during the ripening of coated 'Manila' mangoes. *Journal of Horticultural Science*, **72**: 749-753
39. Dir's Hortoinfo-Internet IPM Resources on Mango. (2000). Disponible en: <<http://ipmnet.org/cicp/fruit/mango.html> >
40. Doreyappa-Gowda, I.N. y Huddar, A.G. (2001). Studies on ripening changes in mango (*Mangifera indica* L.) fruits. *Journal of Food Science and Technology*, **38**: 135-137.
41. EMEX. (2005). Empacadoras de mango de exportación. Disponible en: <www.mangoemex.com/EMEX.html>
42. Espinosa, C. F. y Hernández, M. (2006) Aplicación de tratamientos térmicos por vapor caliente en el control de antracnosis y en los síntomas de daño por frío en mangos variedad 'Keitt'. Tesis de ingeniería en alimentos, UNAM- FES Cuautitlán, . .
43. FAO. (2005). Food and agricultural organization. Base de datos de producción mundial y comercio internacional del mango. Disponible en: <www.fao.org/faostat>
44. Furusawa, K., Sugimoto, T., Gaja, T. (1984). The efectivness of vapor heat treatment against the melon fly *Dacus cucurbitae* Coquillett in eggplant and fruit tolerance to the treatment. *Research Bulletin of the plant protection service, Japan*, **20**, 17-24.



45. Galán- Sauco, V. (1999). *El cultivo del mango*, Ediciones Mundi – Prensa, Barcelona, España, pp.298
46. Georgia, R. y Poinar, G. (1989). Field effectiveness of entomophilic nematodes *Neoplectana* y *Heterorhabditis*. Leslie, A.R; Metcalf, R.L. eds. 1989. *Integrated Pest Management for Turfgrass and Ornamentals*. Washington, DC: U.S. Environ. Prot. Agency. 2313 – 224.
47. Gingrich, R.E. (1987). Demostration of *Bacillus thuriangiensis* as a potential agent for the adult Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* (Wied.). *J. Appl. Ent.* **104**: 378- 385.
48. Greany, P.D; Riherd, C. (1993). Caribbean fruit fly status, economic importance and control (Diptera: Tephritidae) *Fla. Entomol.* **76** (2): 209 – 211.
49. Grondeau, C., Samson, R. (1994). A review of termotherapy to free plant materials from pathogens: especially seeds from bacteria. *Crit. Rev. Plant Sci.* **13**, 57-75.
50. Hallman, G.J; McGuire, R.G. Baldwin, E.A. Campbell, C.A. (1995). Mortality of Federal Caribbean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) in Coated Guaves. *J. Econ. Entomol.* , **20**(5): 1353 – 1355.
51. Hawkins, L.A. (1932). Sterilization of citrus fruit by heat. *Citriculture* **9**, 7-22.
52. Hernández-Ortiz, V. (1992). *El género Anastrepha Schiner en México (Diptera: Tephritidae). Taxonomía, Distribución y sus Plantas Huéspedes*, Jnst. Ecol. Soc. Mex. De Entomol. Capitulo de Antecedentes, pp. 3 – 5.
53. Higueral Produce (2002). Comercialización de todo tipo de frutas y hortalizas. Disponible en: www.higueralproduce.com.mx
54. Hobson, G.E. (1993). Maduración del fruto. En: *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Azcon-Bieto (ed.), J. Interamericana McGraw Hill. España, pp. 463-478.
55. INFOAGRO. (2006). El cultivo del mango. En: *Las frutas tropicales*. Disponible en: www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.html
56. IPEN. (2007). Instituto Peruano de Energía Nuclear. Técnicas nucleares para el control de plagas. Disponible en: www.ipen.gob.pe
57. Jacobi, K.K; MacRae, E.A. y Hetherington, S.E. (2001^a). Effect of fruit maturity on the response of 'Kensington' mango fruit to heat treatment. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **41**: 793-803.
58. Jacobi, K.K; MacRae, E.A. y Hetherington, S.E. (2001^b). Postharvest heat desinfestation treatments of mango fruit. *Scientia Horticulturae*, **89**: 171-193.
59. Jacobi, K.K; Wong, L.S. y Giles, J.E. (1995). Effect of fruit maturity on quality and physiology of high-humidity hot air-treated 'Kensington' mango (*Mangifera indica* Linn.). *Postharvest Biology and Technology*, **5**: 149-159.
60. Jameison, W (1980). Use of Hypobaric conditions for refrigerated storage o meats fruits and vegetables. *Food Technology*. **34**(3): 64-71.



61. Jonh, J; Subbarayan, C; y Cama, H. R. (1970). Carotenoids in 3 stages of ripening mango. *Journal of Food Science* **35**: 262 - 265
62. Ketsa S; Phakawatmongkol, W y Subhadrabhandhu, S. (1999). Peel enzymatic activity and colour changes in ripening mango fruit. *Journal of plant physiology*, **154**: 363 – 366.
63. Klein, J.D. y Lurie, S. (1990). Prestorage heat treatment as a means of improving poststorage quality of apples. *Scientia Horticulturae*, **115**: 265-269.
64. Kudachikar, V.B; Kulkarni, S.G; Aradhya, S.M; Aravinda-Prasad, B. y Ramana, K.V.R. (2003). Physico-chemical changes in mango (*Mangifera indica* L.) varieties 'Alphonso' and 'Raspuri' during fruit development and maturation. *Journal of the Food Science and Technology*, **40**: 285-289.
65. Kumar, S; Das, D. K; Singh, A. K. y Brasat, U. S. (1994). Sucrose methabolism during maturation and ripening of mango cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, **21**: 27-32.
66. Lakshminarayana, S. (1980). Mango. En: Nagy, S. y Shaw, P. E. (Editores.) *Tropical and Subtropical Fruits*. AVI Publishing Co., Wesport, Connecticut, pp. 154-257
67. Lakshimnarayana, S. Y Subramanyam, H. (1970). Carbon dioxide injury and fermentative decarboxylation un mango fruit at low temperature. *Journal of the Food Science and Technology*, **7**: 148 – 152.
68. Lancey, L.A; Goettel, M.S. (1995). Current developments in microbial control of insect pests and prospects for the early 21 st century. *Entomophaga*. **40**(1): 3 – 27
69. Landolt, P.J; Phillipps, T.W. (1997). Host plant Influences on Sex Pheromone Behavior of Phytophagous Insects. *Annu. Rev. Entomol.* **42**: 371 – 391.
70. Lamúa, S. M. (2000). *Aplicación del frío a los alimentos*. AMV Ediciones Mundi Prensa, España, pp. 350
71. Lees, R. (1980). *Análisis de los alimentos, métodos analíticos y de control de calidad*. Ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 288.
72. Leopold, A. C; Kriedemann P. E. (1975). *Plant growth and development*. Ed. McGraw Hill, New York. pp. 16 – 34.
73. Lizada, C. (1993). Mango. En: Seymour, G. B., Taylor, J. E. and Tucker, G. A. (eds) *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman and Hall, London, pp. 255 - 271
74. Lowry, O. H; Rosebrough, N. J; Farr, A. L. y Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biology and Chemistry*, **193**: 265-275
75. Lurie, S. y Klein, J.D. (1992). Ripening Characteristics of tomatoes stored at 12°C and 2°C following a prestorage heat treatment. *Scientia Horticulturae*, **51** : 55-64.
76. Lurie, S; Ronen, R. y Aloni, B. (1990). Grow regulator induced allevation of chilling injury in greenand red bell pepper fruit during storage. *HortScience*. **30** (3): 558-559.



77. Lydakís, D. y Aked, J. (2003). Vapour heat treatment of Sultanina table grapes. II: Effects on postharvest quality. *Postharvest Biology and Technology*, **27**: 117-126.
78. Mango Information Network. (2003). Disponible en: < www.min.pcarrrd.dost.gov.ph >
79. Manrique, Kurt. (2000). *Nociones del manejo poscosecha*. Departamento de Mejoramiento y recursos genéticos. Centro internacional de la papa. pp. 3
80. McDonald, R.E; Miller, W.R. Mitcham, E.J. (1993). Temperature as a quarantine treatment of Caribbean fruit flies (Diptera: Tephritidae) and its effect on product condition and quality. *Fla. Entomol.* **76** (2): 218 – 224.
81. McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *Hort Science*, **27**:1254-1255
82. Medicott, A. P; Bhogal Mohinder y Reynolds S. B. (1986). Changes in peel pigmentation during ripening of mango fruit (*Mangifera indica* var. Tommy Atkins). *Annals of Applied Biology*, **109**: 651 – 656.
83. Merino, S.R., Eugenio, M.M., Ramos, A.U., Hernandez, S.U. (1985). Fruit fly disinfestation of mangoes (*Mangifera indica* L.) Var. “Manila Super” by vapor heat treatment. Manila. Philippines, Ministry of Agriculture and Food, Bureau of Plant Industry.
84. Miller, W. R. y McDonald, R. E. (1991). Quality changes during storage and ripening of ‘ Tommy Atkins’ mangoes treated forced air. *Hort. Science*, **26**(4): 395-397
85. Mitra, S. K. y Baldwin, E. A. (1997). Mango, en: Mitra, S. K. (ed.) *Postharvest physiology and Storage of Tropical and subtropical Fruits*. Cab Internacional. Inglaterra, pp. 85-120.
86. Moreno, D. S; Martínez A. J; Riviello M. S; Cyromazine. (1994). Effects on the Reproduction of *Anastrepha ludens* in the Laboratory and in the Field *J. Econ. Entomol.* **16**: 202 - 211
87. Morton, J. (1987). Mango *Mangifera indica* L. En: Morton, J.. *Fruits of warm climates*. Miami FL. Disponible en: <www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/mango_ars.html>
88. Mukherjee, S. (2000). *The mango botany, production and uses*. Ed. CAB international. USA.pp.251-260
89. NÚÑEZ B, Ligia; 2000. Las Moscas de las Frutas: Importancia Económica, Aspectos Taxonómicos, Distribución Mundial de los Géneros de Importancia Económica. Disponible en: <www.pronatta.gov.co>
90. Norrbom A.L; Hernández-Ortiz, V. (1993). Curso Internacional de Taxonomía de Moscas de la Fruta. Centro Internacional de Capacitación en Moscas de la Fruta (CICMF), Programa Moscamed. México, pp. 1–10.
91. Nyanjage, M.O; Wainwright, H. y Bishop, C.FH. (1998). The effects of Hot-Water treatments in combination with cooling and/or storage on the physiology and disease of mango fruits (*Mangifera indica* Linn.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **73** (5): 589-597.
92. Páez, R. A. R. (2006). Tecnologías Sostenibles para el Manejo de la Antracnosis en Papaya y Mango. Disponible en: <www.turipana.org.co/manejo.antracnosis.htm>



93. Paull, R.E y Chen, N.J. (2000). Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Tecnology*, **21**: 21 – 37.
94. Paull, R.E. y McDonald, R.E. (1994). Heat and cold treatments, Cap. 10 En R. E Paull y J. W. Armstrong: *Insect Pests and Fresh Horticultural Products: Treatments and Responses*, eds: CAB INTERNATIONAL, Wallingforf, U. K. pp. 191-194, 207-208.
95. Pantastico, E.R.B. (1987). *Fisiología de la posrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales*. C.E.C.S.A., México, pp. 663.
96. Pearson, D. (1998). *Técnicas de Laboratorio para el Análisis de Alimentos*. Ed. Acribia, S. A. 3ª, reimpresión. Zaragoza, España. 331pp.
97. Pimentel, D. (1995). Amounts of Pesticides Reaching Pest: Environmental Impacts and Ethics. *J. Agr. Environ. Ethic.* **8** (1): 17 – 29.
98. Pimentel, D. Acquay, H; Biltonen, M; Rice, P; Silva, M; Nelson, J, Lipner, V; Giordano, S; Horowitz, A; DAmore, M. (1995). *Environmental and Economic Costs of Pesticide Use Bioscience*. **42** (10): 750 – 760.
99. Pimentel, D; McLauhlin, L; Zepp, A; Lakitan, B; Kraus, T; Kleinman, P; Vancini, F; Roach, J.W; Graap, E; Keeton, W.S. Seling, G. (1991). Environmental and economic impacts of reducing U. S. agricultura pesticide use. Pimentel, D. ed. *Handbook of Pest Mananement in Agriculture*. **1**: 679 – 718. Boca Raton, Fl: CRC Pres.
100. Ponce, W.P; Nation, J.L; Emmel, T.C; Smittle, B. (1993). Quantitative analysis of pheromone production in irradiated Caribbean fruit fly males, *Anastrepha suspensa* (loew). *J. Chem. Ecol.* **19** (12): 3024 – 3056.
101. Prieto, J.J; Covarrubias, J.E; Romero, A; Figueroa, J. (2005). Paquete Tecnológico del Cultivo del Mango en Colima. pp. 1 - 50
102. Primo Y. E. (1998). *Química de los alimentos*. Editorial Síntesis, España, pp. 461
103. PROSERCO. (2003). Promotora de Servicios Comerciales del Estado de Campeche. *Diagnóstico del Sistema Producto Mango*. pp. 19-24.
104. Robacker, D.C; García, A.J. (1993). Effects of Age, Time of Day, Feeding History, and Gamma Irradiation on Attraction of Mexican Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) to Bacterial Odor in Laboratory Experiments. *Environ. Entomol.* , pp. 1367 – 1364.
105. Robacker, D.C; Moreno, D.S; Demilo, A.B. (1996). Attractiveness to Mexican fruit flies of combinations of acetic acid with ammonium / amino attractants with emphasis on effects on hunger. *J. Chem. Ecol.* **22** (3): 499 – 507.
106. Roberts, D.A. y Boothroy, C.W. (1978). *Fundamentos de patología vegetal*. Ed. Acribia, Zaragoza, España, pp. 380.



107. Roe, B. y Bruemmer, J.H. (1981). Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of 'Keitt' mangos. *Journal of Food Science*, **46**: 186-189.
108. Rhodes, M. J. (1971). The climateric and ripening of fruits. En : *The biochemistry of fruits and their products Food science and technology 1* : A series of monograph, Ed. A.C. Hulme, Academic Press London and New York. pp. 333 – 373.
109. Ryugo, K. (1993). *Fruticultura, Ciencia y Arte*. AGT, Editores S.A., México, pp. 460.
110. SAGAR. (1997). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. NOM-075-FITO-1997. Requisitos y especificaciones fitosanitarias para la movilización de frutos hospederos de moscas de la fruta
111. SAGARPA (2007). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: <www.sagarpa.gob.mx>
112. Salunkhe, D. K. y Desai, B. B. (1984). Mango, en: *Postharvest Biotechnology of Fruits*. Vol. I, Chapter 6, C. R. C. Pres INC: Boca Raton, Florida, pp. 77-94.
113. Salunkhe, D. K.; Desai, B.B. (2000). *Postharvest Biotechnology of fruits*. Vol. 1. Ed. CRC. USA. pp 88-91
114. Salveit, M. E. (2001). Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. *Postharvest Biology and Technology*, **21**:61-69.
115. Salveit (Jr), M. E. y Morris, L. L. (1990) Over an Chilling injury of Horticultral Crops. En: Wang, C.Y. (ed.) *Chillin Injury of Horticultral Crops* Boca Raton, FL, USA: CRC Press, pp 3 – 15.
116. Samson, J. A. (1986). *Tropical Fruits*. 2ª. Ed. Longman Scientific and technical. pp.216 – 234.
117. SCFI (2006). Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. NMX-FF-058-SCFI-2006. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano -fruta fresca- mango (*Mangifera indica* L.) especificaciones.
118. Seo, S.T., Hu, B., Komura, M., Lee, C., Harris, E. (1974). *Dacus dorsalis* and vapor heat in papaya. *Journal of Economic. Entomol.* **67**, 240-242.
119. Selvaraj, Y; Kumar, R. y Pal, D. K. (1989). Changes in sugars, organic acids, aminoacids, lipid constituents and aroma characteristics of ripening mango (*Mangifera indica* L.) fruit. *Journal of Food Science and Technology*, **26**:306-311
120. Selvaraj, Y. y Kumar, R. (1994). Enzymatic regulation in ripening mango fruit. *Indian Journal of Horticulture*. **51**: 316 – 323.
121. Sharp J. L. (1991) Hot air quarantine treatment for mango infested with Caribbean fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, **85**(6): 2302-2304.
122. Sharp, J.L; Gould, W.P. (1994). Control of Caribbean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) in Graperfruit by Forced Hot Air and Hydrocooling. *J. Econ. Entomo.* **87**(1): 131 – 133.



123. Sharp, J.L; Ouye, M.T; Thalman, R; Hart, W.G; Ingle, S; Chew, V. (1988). Submersion of "Francis" Mango in Hot Water as a Quarantine Treatment for the West Indian Fruit Fly and the Caribbean Fruit Fly, (Diptera: Tephritidae). *J. Econ. Entorno*. **81**(5): 1431 – 1436.
124. Shashirekha, M. S. y Patwanrdhan, M. V. (1976) Changes in amino acids, sugars and nonvolatile organic acids in a ripening mango fruit (*Mangifera indica* L. Badami variety). *Lebensmittel Wissenschaft Technologie*, **9**: 369 – 370.
125. Shaw, P. E; Chan Jr. H. T. y Nagy, S. (1998). Mango. En: *Tropical and Subtropical Fruits*, A. G. Science Inc., USA, pp.1-77.
126. Shellie, K.C. y Mangan, R.L. (2000). Postharvest disinfestation heat treatments: response of fruit and fruit fly larvae to different heating media. *Postharvest Biology and Technology*, **21**: 51-60.
127. SIAP / SAGARPA. (2003). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Análisis de estacionalidad de la producción y precios en el mercado de productos hortofrutícolas y frijol. Disponible en: <www.siap.sagarpa.gob.mx/modelos/estacionalidad/EstacAgric03.pdf>
128. SIAP / SAGARPA. (2004). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Análisis de estacionalidad de la producción y precios en el mercado de productos hortofrutícolas y frijol. Disponible en: <www.siap.sagarpa.gob.mx/integral/Agricola/estacionalidad/perennes/mango/pdf>
129. Sivinski, J.M. (1993). Longevity and fecundity in the Caribbean fruit fly (Diptera: Tephritidae): effects of mating, strain and body size. *Fla. Entomol.* **76** (4): 635 – 644.
130. Sugimoto, T., Furusawa, K., Mizobuchi, M. (1983). The effectiveness of vapor heat treatment against the oriental fruit fly *Dacus dorsalis* Hendel, in green pepper and fruit tolerance to the treatment. *Research Bulletin of the plant protection service*, Japan. **19**, 81-88.
131. Souci, S. y Fachmann, W. (2000). *Food Composition and Nutrition Table*. Ed. CRC. pp.47
132. SSA. (1994). Secretaria de Salud. NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano – Límites permisibles de calidad y tratamientos que debe someterse el agua para su potabilización.
133. Thompson, J. F; Mitchell, F. G; Rumsey, T. R; Kasmire, R. F; Crisoto, C. H. (1998). Commercial Cooling of Fruits, Vegetables and Flowers. Division de Agricultura y Recursos Naturales, Universidad de California, Davis. EUA. Publicación 21567. pp. 59.
134. Tirill Y. I y Bourgoeis, C. M. (2002). *Tecnología de las Hortalizas*. Editorial Acribia. pp. 591
135. Toledo, J. (1993). Intensive Gathering of Potencial Fruit Fly Host to Obtain Biological Material and as a Cultural Control Method. *Fruit Flies: Biology and Management*; M Aluja y Liedo P., Springer – Verlag New York. 381 - 385
136. USDA – SAGARPA. (2003). Plan de trabajo para el tratamiento y certificación de mangos mexicanos. Operado bajo el acuerdo cooperativo de United States Department of Agriculture (USDA), Animal and Plant Health Inspection Service- International Services (APHIS – IS) y la



- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a través de la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV).
137. Wang, C. Y. (1990). Chilling Injury of Horticultural Crops. *HortScience*, **34**: 427 – 432.
138. Wills, R. H. H; Mc Glasson, W. B; Graham, D; Lee, T. H. y Hall, E. G. (1989). *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*. 3rd. edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, pp. 176.
139. Wilson, C; El Gauth, A; Chalutz, E; Droby, S; Stevens, C; Lu, J.Y; Khana, V. y Arul, J. (1994). Potential of induced resistance to control postharvest of fruits and vegetables. *Plant Disease*, **78**: 837 – 844.
140. Yahia, E.M. y Flores-Araiza, R., G.(2001). Tratamientos físicos en poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Horticultura*. **160**: 80-88.-54.
141. Yang, P; Carey, J.R. Dowell R.V. (1994). Temperature Influences on the Development and Demography of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in China. *Environ. Entomol.* **23** (4): 971 – 974.
142. Yasuda, T; Narahara, M; Tanaka, S; Wakamura, S. (1994). Thermal responses in the citrus fruit fly, *Dacus tsuneonis*: evidence for a pupal diapause. *Entomol. Exp. Appl.*, **71**: 257 – 261.
143. Zambrano, J. y Materano, W. (1999). Efecto del tratamiento de inmersión en agua caliente sobre el desarrollo de Daños por Frío en frutos del mango (*Mangifera indica* L.). *Agronomía Tropical*, **49** (1): 81 – 92.



9. ABREVIATURAS

APHIS-IS = Animal and Plant Health Inspection Service – International Services

DGSV = Dirección General de Sanidad Vegetal

E₁ = Preclimaterio

E₂ = Inicio del climaterio

E₃ = Máximo climaterio

E₄ = Postclimaterio

FHAT = Forced Hot-Air Treatment

HWT = Hot Water Treatment

PE = Pectinesterasa

POD = Peroxidasas

PPO = Polifenol oxidasa

SAGARPA = Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

SST = Sólidos solubles totales

TIE = Técnica del insecto estéril

USDA= United States Department of Agriculture

VHT = Vapour Hot Treatment