

00528
85



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**ESTUDIO DE LA CINETICA DE DESHIDRATACION
DEL MANGO MANILA Y SU INFLUENCIA EN LA
TEXTURA FINAL DEL PRODUCTO.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUIMICA DE ALIMENTOS
P R E S E N T A

PATRICIA SANCHEZ NABOR



MÉXICO, D.F. **EXAMENES PROFESIONALES** 2003
FACULTAD DE QUIMICA



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.

JURADO ASIGNADO:

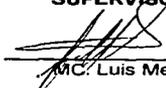
Presidente: Prof. EDMUNDO BRITO DE LA FUENTE.
Vocal: Prof. MARCO ANTONIO LEÓN FELIX.
Secretario: Prof. LUIS ORLANDO ABRAJAN VILLASEÑOR.
1er. Suplente: Prof. LUIS ANTONIO PÉREZ ENRIQUEZ.
2º. Suplente: Prof. LUIS MEDINA TORRES.

Sitio donde se desarrollo el tema: Lab. 313 Edificio E Facultad de Química,
UNAM.

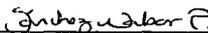
ASESOR


Dr. Edmundo Brito De La Fuente.

SUPERVISOR TECNICO


MC. Luis Medina Torres.

SUSTENTANTE


Patricia Sánchez Nabor.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Por darme la vida, por todo lo bueno que tengo y por darme la oportunidad de lograr esta meta.

A MIS PADRES:

Por su apoyo incondicional, su confianza, su cariño y por estar siempre conmigo.

A MIS HERMANOS:

Por su apoyo, comprensión y paciencia.

ARMANDO:

Por tu apoyo, confianza y cariño.

A MIS AMIGAS:

Que siempre me apoyaron y dieron ánimos cuando más lo necesitaba.

DR. EDMUNDO BRITO:

Un agradecimiento especial por la asesoría en este proyecto y por darme la oportunidad de seguir aprendiendo de sus conocimientos y experiencia.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	Páginas
Indice general	i
Lista de Figuras	iv
Lista de cuadros	vi
RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
CAPITULO 1. ANTECEDENTES	
1.1 Mango.	
1.1.1 Descripción botánica y composición química	4
1.1.2 Producción de mango	8
1.1.3 El mango mexicano	10
1.1.4 Comercialización del mango nacional	14
1.1.5 Problemas en la comercialización	15
1.1.6 Productos comerciales	17
1.2 Secado.	
1.2.1 Definición	19
1.2.2 Métodos generales de secado	20
1.2.3 Tipos de secadores	21
1.2.4 Parámetros de las mezclas de vapor de agua	23
1.2.5 Mecanismo de la deshidratación	23
1.2.6 Curvas de velocidad de secado	24
1.2.7 Cambios químicos en el proceso de secado	26

1.3 Textura.	
1.3.1 Definición	29
1.3.2 Métodos de medición de textura en frutas	30
1.3.3 Análisis de perfil de textura (TPA)	31

OBJETIVOS.	34
-------------------	-----------

CAPITULO 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

2.1 Materiales y métodos	
2.1.1 Elaboración del diseño experimental	36
2.1.2 Pruebas iniciales	39
2.1.3 Preparación de la materia prima	41
2.1.4 Técnica de secado	42
2.1.5 Análisis de cada experimento realizado	43
2.1.6 Análisis de perfil de textura	46
2.1.7 Obtención de mango enchilado deshidratado.	
Efecto de los aditivos en la cinética de secado	46

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSION.

3.1 Pruebas preliminares	48
3.2 Cinéticas de secado	48
3.2.1 Discusión de los resultados de la cinética de secado	63
3.3 Efecto de los aditivos en la cinética de secado	68
3.3.1 Discusión de los resultados de el efecto de los aditivos en la cinética de secado	72

3.4	Análisis de perfil de textura	75
3.4.1	Discusión de los resultados de los ensayos de TPA	84
CAPITULO 4. CONCLUSIONES.		89
CAPITULO 5. RECOMENDACIONES.		91
BIBLIOGRAFÍA		92
APENDICE.		98

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1. Arbol de mango	5
2. Producción mundial de mango en el periodo 1991-1999	9
3. Participación promedio en la producción mundial de mango en el periodo 1991-1999	9
4. Principales frutos producidos en México de 1991 al 2000	10
5. Principales estados productores de mango en México	11
6. Mango manila	13
7. Mango Tommy Atkins	14
8. Esquema de comercialización del mango en México	15
9. Curvas típicas de velocidad de secado	24
10. Curva típica de TPA obtenida mediante un texturómetro GF	32
11. Diagrama de trabajo	37
12. Diagrama de trabajo (continuación)	38
13. Secador de charolas (González, 1995)	40
14. Posición de los termopares (a) y (b) circulación del aire dentro de la cámara de secado (González, 1995)	40
15. Texturómetro Sintech 1/S	47
16. Curva de secado experimental a 50°C	50
17. Curva de velocidad de secado experimental a 50°C	51
18. Curva de velocidad de secado obtenida con el modelo propuesto inicialmente	53
19. Curva de velocidad de secado a 50°C (ecuación 3.1)	55
20a. Curva de secado para mango manila a 45°C	56
20b. Curva de velocidad de secado del mango manila a 45°C	56
21a. Curva de secado para mango manila a 50°C	57
21b. Curva de velocidad de secado del mango manila a 50°C	57

22a. Curva de secado para mango manila a 55°C	58
22b. Curva de velocidad de secado del mango manila a 55°C	58
23a. Curva de secado para mango manila a 60°C	59
23b. Curva de velocidad de secado del mango manila a 60°C	59
24a. Curva de secado como función de la temperatura para mango manila	61
24b. Velocidad de secado como función de la temperatura para mango manila	61
25a Efecto de los aditivos en el secado de mango manila a 50°C	70
25b Efecto de los aditivos en la velocidad de secado del mango manila a 50°C	70
26. Dureza 1era y 2da del mango manila deshidratado sin aditivos y con chile piquín a las temperaturas de estudio	77
27. Variación de la cohesividad del mango manila deshidratado con la temperatura de secado y con chile piquín como aditivo	77
28. Variación de la gomosidad del mango manila deshidratado con la temperatura de secado y chile piquín	78
29. Dureza del mango manila deshidratado a 45° y 50°C con las diferentes mezclas de aditivos	82
30. Gomosidad del mango manila deshidratado a 45° y 50°C con las diferentes mezclas de aditivos	82
31. Cohesividad del mango manila deshidratado a 45° y 50°C con las diferentes mezclas de aditivos	83

LISTA DE CUADROS

CUADRO	Página
1 Composición química del fruto de mango maduro por 100 g [Salunkhe-Desai, 1984]	7
2 Diseño experimental para el proceso de secado del mango	36
2a Diseño experimental realizado para el proceso de secado para el mango manila	36
3 Contenido de humedad de las diferentes muestras de mango manila	49
4 Parámetros del modelo	60
5 Humedad del mango + aditivos	69
6 Parámetros del modelo: mango + aditivos	71
7 Valores de los parámetros de TPA como función de la temperatura: mango sin aditivos	76
8 Valores de los parámetros de TPA como función de la temperatura: mango + mezcla 2	76
9 Condiciones de secado para el análisis de TPA (mango +aditivos)	80
10 Valores de los parámetros de TPA: mango + mezcla 2	82
11 Valores de los parámetros de TPA: mango + mezcla 3	81

PAGINACION DISCONTINUA

RESUMEN.

El cultivo del mango es una actividad agrícola de suma importancia para el país, ya que es el tercer fruto producido a nivel nacional. Sin embargo, los problemas en su comercialización y el incumplimiento de estándares de exportación originan el desperdicio del fruto en las regiones productoras de mango. Es en este marco que se hace necesario el desarrollo de tecnologías para resolver este problema mediante la industrialización integral de este fruto.

Una alternativa para el aprovechamiento del mango es la deshidratación, la cual es una forma de preservación de los alimentos, además de que los requerimientos de almacenamiento son mínimos, los costos de distribución son reducidos y el potencial de exportación es muy interesante. En este trabajo se estudia la cinética de deshidratación del mango variedad manila.

En particular, se estudio la influencia de la temperatura de secado (45°, 50°, 55° y 60° C) y el espesor del mango (0.6 y 1.2 cm) durante el secado por flujo forzado de aire, manteniendo constantes las características físicas del aire de secado (velocidad = 5 m / seg y Humedad = 45% HR). Al realizar el análisis de la cinética de secado, no se observó el periodo de velocidad constante, solo el periodo decreciente, por lo cual se concluye que la temperatura y el espesor muestran un efecto importante en el tiempo de secado del mango, mientras que la velocidad del aire prácticamente no influye.

Las mejores condiciones de secado se obtuvieron a 50° C con un espesor del mango = 1.2 cm. Se observo que la velocidad de secado es directamente proporcional a la temperatura, ya que a 60° C se obtuvo un mayor valor para el flux de evaporación de agua (Na). Sin embargo, a 55° y 60° C el mango deshidratado presentaba pardeamiento en su superficie y una mayor dureza.

Adicionalmente, se trabajo en la propuesta de un producto atractivo para el consumo y venta como lo es el mango enchilado deshidratado, para lo cual se prepararon diferentes mezclas de aditivos como son el chile piquín, azúcar, acidulante y goma xantana Se estudio la influencia de los diferentes aditivos en el mecanismo de secado del mango manila a las condiciones establecidas de 50°C y 1.2 cm de espesor. Se observo que el mecanismo de secado se lleva a cabo de manera osmótica asociado al de flujo forzado de aire dando como resultado una disminución en el tiempo de secado con aire caliente y un producto de atractivas características sensoriales. Por otro lado el empleo de aditivos no modifico la cinética de secado del mango, ya que el periodo prevaleciente fue el decreciente.

Con el fin de establecer un parámetro de calidad para el mango manila deshidratado, así como evaluar el cambio de la textura bajo las condiciones de secado se realizo un análisis de perfil de textura (TPA) para las muestras obtenidas a las diferentes temperaturas de secado. Se considera que las condiciones de estudio: celda utilizada (250 lbf) y velocidad de compresión (150 mm / min) fueron suficientes para causar una deformación en al mango deshidratado, ya que se pudo determinar como se modifican los diferentes parámetros de textura a las diferentes condiciones de secado.

En el caso de la dureza a la primera compresión, esta se incrementa con la temperatura de secado tanto para el mango sin aditivos como con aditivos. La dureza a la segunda compresión no se modifica de manera tan notoria con la temperatura de secado. Los valores de dureza obtenidos para el mango enchilado fueron mayores que para el mango sin aditivos.

La cohesividad máxima se obtuvo a los 55°C (mango sin aditivos) y 50°C (mango enchilado), mientras que la gomosidad no mostró cambio significativo para ambos casos a partir de la temperatura de secado de 50°C.

INTRODUCCION.

El mango es un fruto considerado como exótico debido a su apariencia, sabor, aroma, color y valor nutricional. Las características de este fruto han ocasionado que exista una gran demanda en su consumo a nivel mundial.

En nuestro país, el mango ocupa el tercer lugar en superficie cosechada y el primer lugar en los últimos años en lo que se refiere a productos frutícolas de exportación. La mayor exigencia en los estándares de calidad fisicoquímicos y sanitarios que debe cumplir este fruto para su venta en el extranjero motiva el proponer alternativas de procesamiento para el mango que esta fuera de norma.

Adicionalmente el problema que se genera en el mercado de este fruto, ocasiona una sobre-oferta que dificulta la comercialización y se refleja en el precio que se paga a los productores. La industrialización del mango en forma deshidratada representa una muy buena oportunidad para el productor debido a que se pueden aprovechar las mermas ocasionadas por sobreoferta, desperdicio, incumplimiento de normas de exportación o bien sobreproducción de este fruto. De esta forma se origina un producto comercial con un mayor valor agregado reduciendo perdidas.

El estudio de los factores que determinan el mecanismo de deshidratación del mango manila y como estos influyen en el producto final, brindan información para mejorar u optimizar un proceso y por lo tanto la calidad del producto obtenido.

1. ANTECEDENTES.

1.1 Mango.

1.1.1 Descripción botánica y composición química.

El mango se considera como un fruto exótico que gana popularidad entre los consumidores de productos frescos. Esto se ve reflejado en un incremento del 14% registrado en las exportaciones mundiales durante el periodo 92-96. México ocupa el primer lugar en la exportación de este fruto a nivel mundial.

A pesar de no ser originario de nuestro país, este succulento fruto ha llegado a ocupar un lugar primordial, no solo por ser uno de los frutos más exquisitos, sino por su destacada participación en la generación de divisas. Actualmente ocupa el tercer lugar en superficie cosechada y es el principal producto frutícola de exportación (Bancomext, 1998).

Este fruto ha sido cultivado, apreciado y venerado desde tiempos antiguos, se cree que los monjes budistas llevaron el mango hacia Malasia y al este de Asia en los siglos 4th y 5th A.C. comenzando así su propagación a todo el mundo. Fue en el siglo 16th que los portugueses introdujeron el mango en nuestro continente, específicamente en Brasil, sin embargo hasta el siglo 19th llegó a México proveniente de las Filipinas y del este de la India (Mora, 1997).

El mango pertenece a la familia Anarcadiaceae, género *Mangifera* y es originario del sudeste de Asia. Se conocen aproximadamente 41 especies, pero solamente la *Mangifera indica* se cultiva e incluye a la mayoría de las especies de consumo (Salunkhe y Kadam, 1995).

El árbol de mango es erecto, mide de 10 – 30 m de alto con un radio que puede llegar con la edad a medir de 30 – 38 m y su raíz alcanza una

profundidad de hasta 9 m; puede tener una prolongada longevidad, se sabe de especies con 300 años de edad que continúan dando frutos.

Las hojas de los árboles miden de 10-32 cm de largo y de 2-5.4 cm de ancho, pueden tener diferentes tonalidades que van desde rosas y amarillas hasta verde oscuro brillante. Las flores son de color amarillo y ligeramente rojas, crecen de forma abundante, tienen forma piramidal y se presentan en racimos sobre ramas de 6 – 40 cm (Figura 1).

La época de maduración de los frutos de mango depende en gran medida de las condiciones ambientales y de cultivo, los frutos de árboles de una misma variedad pueden madurar en épocas o meses diferentes (Centurión et al. 1995). Existe una gran variación en la forma, tamaño, color y calidad de los mismos. Pueden ser redondos, ovales, con forma de riñón e irregular en un extremo; el tamaño va desde los 6.25 a 25 cm de longitud con un peso de 0.2 a 2.26 Kg. La piel es resistente, cerosa, suave, delgada y aromática, con colores de diferentes tonalidades como el verde claro, verde oscuro, amarillo, naranja y rojo. Tiene un aroma característico, el cual es placentero y agradable. La pulpa va de color amarillo pálido a naranja oscuro, es fibrosa, muy jugosa y con un sabor dulce o ácido en función del estado de madurez (Mora, 1997).



Figura 1. Árbol de mango.

El fruto del mango puede ser dividido en tres partes: piel, pulpa y hueso. De estos la pulpa es la que se utiliza para consumo humano. La composición química varía con el tipo de cultivo, localización, estado de madurez y estación. Los constituyentes mayoritarios de la pulpa son agua, carbohidratos, ácidos orgánicos, grasas, minerales, pigmentos, taninos y componentes aromáticos. El fruto maduro contiene aproximadamente 15% de carbohidratos, 4800 UI de vitamina A, y 13 mg / 100 g de ácido ascórbico. La sacarosa, glucosa y fructosa constituyen los carbohidratos de la pulpa y la mayoría de los sólidos solubles; es además una fuente rica en β -caroteno. La composición química de la pulpa de mango se resume en la Tabla 1.

Existe una correlación entre el aroma y sabor característico de la pulpa del mango con la relación del contenido de ácido palmítico-palmitoleico; otros ácidos grasos encontrados en el aceite del mango maduro de diversas variedades son: ácido esteárico, oleico, linoleico y linoléico.

El olor característico que aparece durante la maduración del fruto se debe a componentes tipo éster y carbonilo. Se han identificado mas de una centena de componentes volátiles, la mayoría de ellos consiste en terpenos, ésteres y alcoholes. El perfil de sabor del mango cambia de una variedad a otra y esta en función del contenido y relación de estos componentes (Salunkhe y Kadam, 1995).

Tabla 1. Composición química del fruto de mango maduro por 100g.
(Salunkhe-Desai, 1984).

Composición aproximada	Unidad	Contenido por 100 g
Energía	Kcal	74.0
Humedad	g	81.0
Proteína	g	0.60
Grasa	g	0.40
Minerales	g	0.40
Fibra	g	0.70
Carbohidratos	g	16.90
Calcio	mg	14.0
Fósforo	mg	16.0
Hierro	mg	1.30
Caroteno	µg	2443.0
Tiamina	mg	0.08
Riboflavina	mg	0.09
Niacina	mg	0.90
Vitamina C	mg	16.00

1.1.2 Producción de mango.

El mango es un fruto fresco, jugoso y de exquisito sabor que se considera como exótico y que va ganando popularidad en el mundo entero; prueba de esto es el incremento constante en la producción de este fruto en los últimos años (Figura 2), siendo la principal fruta producida mundialmente (26 millones de toneladas en 1999). Los principales países productores de mango son: la India, México, Pakistán, China, Tailandia, Nigeria, Brasil e Indonesia.

En la Figura 3 se puede observar que la India es el principal productor de mango a nivel mundial, ocupando México el tercer lugar; el comercio de mango es de vital importancia para nuestro país, ya que dedica un mayor porcentaje de su producción a la exportación (12%) que el resto del mundo. La India que es el principal productor, solo exporta el 0.2% de su producción, siendo solamente el 2% en promedio de la exportación en el ámbito mundial (SECOFI, 1998).

Las principales frutas consumidas tradicionalmente en todo el mundo son los cítricos, manzanas, nectarinas, plátanos y la uva. Las frutas exóticas representan aún una parte pequeña del comercio pero son las que han registrado mayor dinamismo en los últimos años. Cabe destacar que el mango presenta un mayor crecimiento promedio en su producción mundial. Durante el periodo 92 – 97, el crecimiento fue del 4 % en comparación con el plátano (3%), manzana (3%), naranja (3%), pera (3.7%), durazno (-0.2%) y uva (-1.0%). En cuanto al consumo aparente, en el ámbito mundial el incremento para el mango presenta una variación del 24% en 1996 con relación a 1992, 10 puntos porcentuales arriba del plátano, y siete punto más que la manzana (SECOFI, 1998)

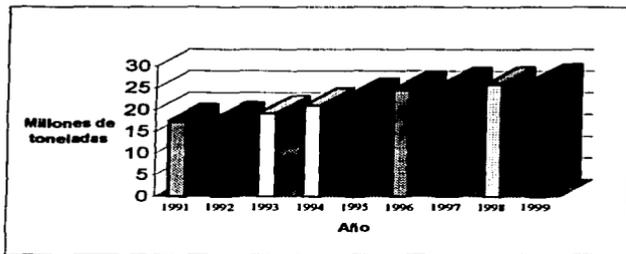


Figura 2. Producción mundial de mango en el periodo 1991-1999 [FAO, 2000]

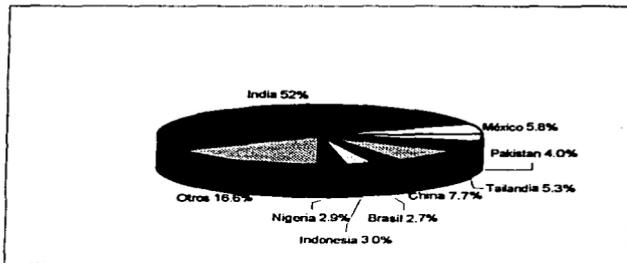


Figura 3. Participación promedio en la producción mundial de mango en el periodo 1991-1999. [FAO, 2000]

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1.1.3 El mango mexicano.

El mango ocupa el tercer lugar en la producción a nivel nacional, ubicándose por debajo de la naranja y plátano (Figura 4). El atractivo del mango mexicano en el mercado internacional ha incentivado a los productores, lo cual se refleja en el incremento en la producción de los últimos años. Así en 1997, la producción alcanzó un máximo de 1.5 millones de toneladas, disminuyendo hasta 1.34 millones de toneladas en el 2000; sin embargo este último valor es superior a los obtenidos en los primeros años de la década pasada.

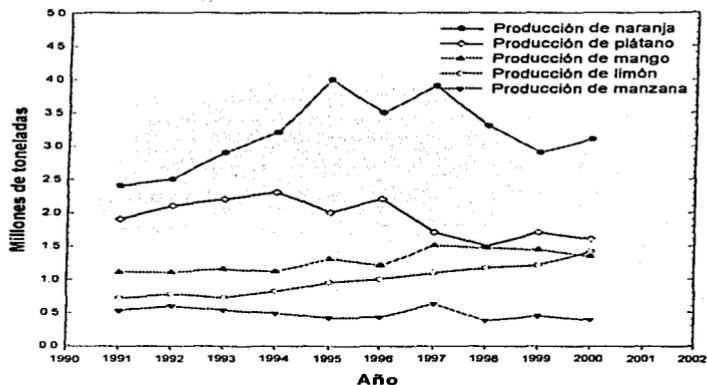


Figura 4. Principales frutos producidos en México de 1991 al 2000
[DIAGRO, 2001]

Las zonas productoras de mango se ubican en las regiones costeras, de tal forma que se considera que el 91 % de la superficie cultivada se localiza en los estados de Veracruz, Sinaloa, Oaxaca, Nayarit, Michoacán, Guerrero, Chiapas, Jalisco y Colima (Figura 5), los que aportan el 94% de la producción total. La producción de este fruto inicia en el sur del país en el mes de febrero, y conforme avanza la temporada se va desplazando hacia el noroeste hasta finales del mes de septiembre.

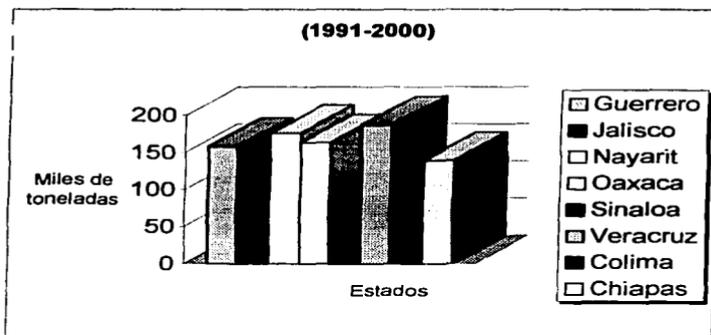


Figura 5. Principales estados productores de mango en México.

[Anuario Estadístico SAGAR, 2001]

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Dentro de las variedades de mango que se cultivan en México están las siguientes (Anónimo, 1996):

- **Tommy Atkins:** Fruto de excelente calidad, predomina el color rojo, de forma redonda y tamaño mediano (350 a 450 g). La pulpa es jugosa con poco contenido de fibra. Tiene la desventaja de que si no se corta en su madurez óptima presenta problemas en el manejo postcosecha.
- **Haden:** Fruto que presenta una base de color amarillo en chapeo rojo, que lo hace muy atractivo tanto para el mercado nacional como para el de exportación. Los frutos registran un peso de 300 a 400 g. Su pulpa es jugosa y con poca fibra y de buen sabor.
- **Kent:** Los frutos pesan de 500 a 700g, la base es de color verde amarillento con chapeo rojo. Presenta la desventaja de ser muy susceptible a la antracnosis, debido a que la época de cosecha coincide en la temporada de lluvias.
- **Ataulfo:** Su fruto ha tenido gran aceptación por su excelente calidad, de color amarillo, resistente al manejo y con un peso promedio que varía de 200 a 370 g. El color de la pulpa es amarillo y no tiene fibras.
- **Manila:** Produce frutos de tamaño medio de 200 a 275 g, de forma elíptica y de color amarillo, con cáscara delgada, pulpa amarilla , firme muy dulce y sabrosa, cuenta con un bajo contenido de fibra. Esta variedad es ampliamente aceptada en el mercado nacional tanto para consumo fresco como para industrial.

Otras variedades de menor interés son: Keitt, Manzanillo Núñez, Diplomático e Irwin.

La variedad Manila es la que se cultiva principalmente, representa el 35% del cultivo en México (Wong et al, 1997) y su principal destino es el mercado nacional, ya que su vida de anaquel es muy corta y el manejo de calidad muy delicado. Normalmente esta variedad no resiste el proceso de hidrotérmia que requieren países como Japón, Estados Unidos, Chile y Nueva Zelanda. Este fruto se consume como producto fresco, aunque también se le industrializa ya sea en rebanadas de almíbar, orejones, o fruta seca (Bancomext, 1998).



Figura 6. Mango manila.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura 7. Mango Tommy Atkins

1.1.4 Comercialización del mango nacional.

La comercialización del mango en los diferentes estados se da a través de tres canales principales:

1. Venta de la cosecha al intermediario regional, quien después lo comercializa a las bodegas de los principales mercados nacionales y estos a su vez al mercado local. Mediante esta vía se ofrece un pago inmediato a los productores normalmente a bajo precio. A pesar de esto, este es el principal canal de comercialización.
2. Venta a los bodegueros de las centrales de diversos estados, quienes acuden directamente con el productor, compran grandes volúmenes que comercializan al mercado local; se ofrece pago inmediato y con bajo precio.
3. Venta directa de los productores a los principales mercados cerca de la región, este es el canal menos representativo.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Figura 8. Esquema de comercialización del mango en México
[Claridades Agropecuarias, 1996]

1.1.5 Problemas en la comercialización.

La comercialización del mango en todo el país es uno de los principales problemas que enfrentan los productores, debido a que gran parte de la producción de cada estado se concentra en unos pocos meses, lo cual ocasiona una sobreoferta que dificulta la comercialización de este fruto. Se genera entonces una distorsión en el mercado estatal; puesto que los productores intentan ingresar su cosecha lo más pronto posible al mercado cuando logren los mejores precios y con ello la ganancia que no obtendrán en las semanas siguientes.

La mayor parte de la producción de mango es para consumo nacional y habitualmente se consume como producto fresco, aunque también se industrializa de diversas formas.

Para su exportación este fruto debe cumplir con estrictas normas de calidad, que están en función de una rigurosa selección realizada por los productores y empacadores a fin de eliminar los productos dañados por plagas o enfermedades, golpes o frutos demasiado maduros. También se incluyen características de tamaño, madurez, presentación y tolerancia en el manejo post cosecha. Los mercados de Estados Unidos, Japón, Chile y Nueva Zelanda requieren además para la importación del mango un proceso hidrotérmico. Asimismo debe expedirse un certificado fitosanitario que se otorga por la secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo rural en la delegación de la entidad donde se encuentra la huerta (BANCOMEXT, 1998).

Actualmente, un gran porcentaje de la producción nacional de mango no se exporta por no cumplir con los requisitos de calidad, por lo que los volúmenes de mango que no se comercializan en el mercado local ni en el extranjero se pierden debido a que se trata de un producto perecedero.

Ante esta situación se tendrían las siguientes vías para solucionar este problema:

- A.** Desarrollar alternativas de producción en el cultivo de mango de acuerdo a las condiciones agroecológicas y de mercado.
- B.** Establecer un esquema de comercialización que asegure mercados previa cosecha.
- C.** Industrialización del mango fuera de norma de exportación y que no logre colocarse en el mercado nacional.

Esta última opción implica el desarrollo de diversos procedimientos para la industrialización del mango. Una tecnología adecuada permitiría no solo venderlo en el mercado interno, sino también destinarlo a la exportación donde la demanda sea mucho más amplia.

Una alternativa de comercialización para el mango es la obtención de fruta deshidratada. Esta clase de alimentos pueden almacenarse durante largos periodos de tiempo y la fruta seca tiene un potencial de comercialización mayor en lugares donde no accedería como fruta fresca.

1.1.6 Productos comerciales.

El mango es una fruta que por sus características es muy apreciada para el consumo en todo el mundo, sin embargo dadas las características físicas y químicas del mango, este es un alimento perecedero, lo cual significa que se deteriora con facilidad en poco tiempo, por lo que al terminar la temporada de cada variedad es imposible encontrarlo en el mercado, sobre todo en aquellos países localizados en latitudes extremas.

Es por lo anterior que para remediar la escasez en época invernal, para prolongar su vida de anaquel, o bien para aprovecharlo a largo plazo se emplean diferentes métodos de conservación según el caso. Estos métodos tienen por objetivo evitar las reacciones químicas y enzimáticas, así como el desarrollo de microorganismos que en conjunto llevan al deterioro del producto. El empleo de estos métodos da como resultado el que sea fácil encontrar en el mercado, frutas de diferentes variedades en diversas presentaciones, como lo son en lata, en forma de jugos, néctares y mermeladas, como confituras, puré enlatado, barras de fruta, mermelada, ates, jaleas, salsas y frutas secas, entre otras.

1.1.6.1 Mango deshidratado.

El secado de mango se produce tradicionalmente al aire libre, método no necesariamente muy adecuado para escalas de comercialización intensivas. Se debe mencionar además que la fruta puede contaminarse por microorganismos, polvos, insectos, etc. Se han realizado diversos estudios para emplear la energía solar por medio de la fabricación de secadores solares, los cuales pueden no tener una disminución significativa del tiempo de secado; pero el producto final es definitivamente más higiénico y vendible; el mango se lava, se pela, se rebana o bien se hace puré para proceder a su deshidratación (FAO, 1993).

Actualmente existe un gran número de procedimientos para el secado de mango, cada uno de los cuales se clasifica según la deshidratación se efectúe a la presión atmosférica o de vacío y que la transferencia de calor se haga por conducción o por radiación. Estos procedimientos tienen diferente incidencia económica, los que usan aire caliente y el secado por atomización son claramente los más empleados en la industria alimenticia.

La elección de un procedimiento de secado depende de las características físicas y químicas del producto; también depende de la mejora de calidad que pueda aportar un procedimiento u otro en cuanto a su costo; así mismo hay que considerar la cantidad y diversidad del producto a secar.

1.2 Secado.

1.2.1 Definición.

El secado o deshidratación es un método mediante el cual se reduce el contenido de agua de un alimento; debido a la mínima actividad acuosa los microorganismos no pueden desarrollarse y muchas de las reacciones químicas y enzimáticas que causan alteración se ven interrumpidas. Esta técnica de conservación de alimentos es de las más antiguas y empleadas por el hombre; inicialmente se colocaban al aire libre carne, pescado y granos para lograr la eliminación del agua. Posteriormente la eficiencia del proceso se fue mejorando con el empleo de hornos con ventilación apropiada y el uso de aditivos como la sal o el azúcar.

En la actualidad los métodos de secado se distinguen por su versatilidad y eficiencia, lo cual ha hecho posible que pueda procesarse una amplia gama de alimentos, siendo los principales: leche en polvo, café en polvo, legumbres (papa, cebolla, etc..), huevo deshidratado, carnes, alimentos para animales y frutas deshidratadas.

Los productos deshidratados ofrecen las siguientes ventajas respecto a uno fresco:

- > Mayor vida de anaquel.
- > Ocupan menos volumen
- > Facilidad en el manejo, transporte, empaque, almacenamiento y distribución del producto.
- > Comodidad en el empleo (leche deshidratada, café soluble)

La deshidratación de los alimentos se realiza eliminando por vaporización o sublimación la mayor parte del agua de un alimento en estado líquido o sólido. En la operación intervienen dos fenómenos fundamentales:

1. La transferencia de calor que aporta la energía necesaria para la transformación del agua en vapor (calor latente de vaporización).
2. Transferencia del agua a través y fuera del alimento (Singh, 1998).

La eficiencia de estos fenómenos esta regulada por diferentes parámetros como son la temperatura y características del producto, superficie de intercambio, humedad, temperatura, presión y movimiento de los fluidos presentes en la atmósfera que rodea el alimento, los cuales determinan la velocidad de deshidratación, calidad del producto, el rendimiento energético del secador, el coste de la operación, etc... De ahí la importancia de seleccionar el método de deshidratación mas adecuado para la obtención de un determinado producto.

1.2.2 Métodos generales de secado.

Los procedimientos de secado pueden clasificarse de diferentes maneras (Geankoplis, 1991):

1. De acuerdo a la alimentación del producto al secador:

- a) Por lotes:** Cuando el material se introduce al equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo de tiempo.
- b) Continuo:** El material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene un material seco con régimen continuo.

2. De acuerdo a las condiciones físicas para adicionar calor y extraer el vapor de agua:

a) Secado por aire: El calor se añade por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica, el vapor de agua formado se mezcla con el aire siendo eliminado por medio de este.

b) Secado al vacío: Las bajas presiones favorecen la rápida evaporación del agua, el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación. El vapor de agua se elimina ya sea por condensación o por aspiración del vapor. En algunas ocasiones se usan temperaturas bajas para materiales que se descomponen con altas temperaturas.

c) Liofilización: El agua se sublima directamente del material congelado conservándose la estructura del alimento.

1.2.3 Tipos de secadores.

La selección del mecanismo de secado se determina por las características físicas y químicas, la cantidad del producto a secar, la calidad final de este, la economía y las condiciones de operación. A continuación se muestra la clasificación de los equipos de desecación basada en la transmisión o transferencia de calor (Perry et al. 1986):

> Secadores directos:

Continuos:

- a. Secadores continuos de bandejas
- b. Secadores continuos de material dosificado en una capa
- c. Secadores de transportador neumático.
- d. Secadores rotatorios.
- e. Secadores por aspersion.

- f. Secadores de circulación directa.
- g. Secadores de túnel.
- h. Lecho fluido

Por lotes:

- a. Secadores por lote de circulación directa.
- b. Secadores de bandeja y compartimentos.
- c. Lechos fluidos

> **Secadores indirectos**

Continuos:

- a. Secadores de cilindro para hoja.
- b. Secadores de tambor.
- c. Secadores de transportador de tomillo.
- d. Secadores rotatorios de tubo de vapor.
- e. Secadores de bandeja vibradores.
- f. Tipos especiales.

Por lotes:

- a. Secadores de artesas agitadas.
- b. Secadores por congelación.
- c. Secadores rotatorios al vacío.
- d. Secadores de bandejas al vacío.

- > Secadores infrarrojos o de calor radiante, secadores de calor dieléctrico.

1.2.4 Parámetros de las mezclas aire-vapor de agua

Durante el proceso de secado con aire caliente, la eliminación de agua del alimento depende de la temperatura y contenido de agua del aire.

La psicometría estudia las propiedades termodinámicas de las mezclas aire-vapor. Los diagramas psicométricos son una representación gráfica de las propiedades de una mezcla de aire-vapor de agua. El conocimiento de estas propiedades es indispensable para el diseño y análisis de un adecuado proceso de secado de alimentos

1.2.5 Mecanismo de la deshidratación.

Cuando el aire entra en contacto con un alimento húmedo su superficie se calienta y el calor transmitido hace que el agua pase al estado de vapor (calor latente de vaporización). El vapor de agua, que atraviesa por difusión la capa de aire en contacto con el alimento es arrastrado por el aire en movimiento, generándose sobre aquél una zona de baja presión y creándose entre el aire y el alimento un gradiente de presión de vapor. Este gradiente proporciona la "fuerza impulsora" que permite eliminar el agua, la cual escapa de la superficie del alimento por los siguientes mecanismos:

1. Por capilaridad.
2. Por difusión.
3. Por difusión del agua absorbida en las diferentes partes del alimento.
4. Por difusión gaseosa provocada por el gradiente de presión de vapor existente en el interior del alimento.

1.2.6 Curvas de velocidad de secado.

La determinación experimental de la velocidad de secado se realiza midiendo la pérdida de peso del alimento en función del tiempo y bajo diferentes parámetros de velocidad, temperatura y humedad del aire de secado. Se debe procurar que estas condiciones sean las mismas o similares a las que operaran en el proceso industrial, de esta manera se podrá simular un proceso en condiciones estacionarias.

Los datos experimentales se analizan graficando en función del tiempo el contenido de agua del producto y la velocidad de secado en función del contenido de agua del producto; se obtienen dos graficas que se ilustran en la Figura 9.

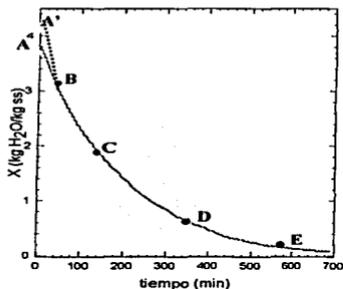


Figura 9A Gráfica de humedad libre en función del tiempo

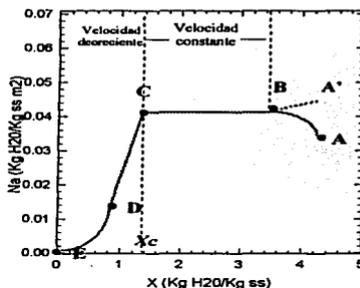


Figura 9B Gráfica de velocidad de secado contra humedad libre

Figura 9. Curvas típicas de velocidad de secado
[Geankoplis, 1991]

Al graficar los datos experimentales como el contenido de humedad en base seca, como una función del tiempo, se obtiene una curva como la representada en la Figura 9A. Al colocar el alimento dentro del secador, este se encuentra a una temperatura inferior a la del aire de secado por lo que ocurre un calentamiento hasta que alcanza la temperatura de equilibrio; posteriormente comienza un periodo durante el cual la evaporación de agua de la superficie del sólido procede como si fuera una película de agua continua y actúa como si el sólido no estuviera presente

Cuando el agua de la superficie se termina de evaporar prosigue la evaporación del agua interna del sólido. Mediante esta curva se observa únicamente la velocidad de deshidratación, sin embargo el comportamiento del sólido a las condiciones establecidas de secado se ilustra mejor en la figura 9B, la cual se obtiene mediante la derivación de la curva anterior y representa la velocidad de secado con respecto a la humedad. En esta grafica se observan mejor los límites de cada uno de los periodos en comparación con la curva anterior.

La sección AB de ambas gráficas representa el periodo de calentamiento del alimento, generalmente este periodo inicial de ajuste es bastante corto y no se considera en el análisis del mecanismo de secado. La región comprendida entre los puntos BC representa el periodo de **velocidad constante**. En la Figura 9A la línea es recta y su pendiente (velocidad) es constante, siendo en la siguiente gráfica (Figura 9B) horizontal. El punto C se conoce como **contenido crítico de humedad** y señala el inicio del **periodo de velocidad decreciente**, aquí la velocidad de secado comienza a disminuir hasta llegar al punto D; este es el primer periodo de velocidad decreciente y corresponde a la línea CD que por lo general es lineal. El punto D marca el inicio de el segundo periodo de velocidad decreciente, la velocidad de secado disminuye aún mas hasta llegar al punto E en donde el contenido de humedad es igual a la humedad de equilibrio.

La primera fase de secado tiene una menor duración que la fase de velocidad decreciente, y va a depender prácticamente del coeficiente de transferencia de calor y de masa, a través de la capa límite de aire entre el alimento y el aire de secado, así como del área expuesta al medio. El proceso de evaporación de agua en esta etapa es semejante al de una superficie de agua líquida; sin embargo las hendiduras de la superficie del alimento ayudan a que la velocidad de secado se incremente.

El periodo de velocidad decreciente inicia en el punto C (contenido crítico de humedad), donde no hay suficiente agua en la superficie para mantenerla húmeda. La velocidad de secado se ve limitada por la transferencia de agua del interior del alimento a la superficie y depende básicamente del movimiento de la humedad en el interior del sólido, disminuyendo la influencia de las variables externas (Geankoplis, 1991).

1.2.7 Cambios químicos durante el proceso de secado.

Durante el proceso de secado con aire caliente, la eliminación de agua del alimento requiere de temperaturas relativamente elevadas, lo cual puede propiciar cambios químicos durante el proceso, así como pérdida de nutrientes y propiedades organolépticas del producto. Estos cambios van a depender de las características del alimento y de las condiciones del proceso.

Los principales cambios químicos que pueden producirse en el alimento durante el secado son debido a reacciones de oxidación de lípidos, reacción de Maillard y enzimáticas. Dentro de este último punto, las enzimas causantes del oscurecimiento o pardeamiento de frutas y verduras dañadas

físicamente o cuyo tejido está expuesto al aire pertenecen al grupo de las oxidoreductasas. Dependiendo del sustrato que se une en la reacción, las enzimas se conocen con el nombre de tirosinasa, polifenolasa, fenolasa, catecoloxidasa y cresolasa (Fenema, 2000).

El producto resultante de estas reacciones es inestable, se oxida con el oxígeno y posteriormente se polimeriza produciendo melaninas de colores que varían de un color amarillo hasta un café oscuro.

Las reacciones de oscurecimiento enzimático son los factores principales que limitan la aceptación de productos preservados por métodos de secado. La inhibición del oscurecimiento es fundamental para fomentar la producción de frutas que no requieren refrigeración para conservar su vida de anaquel (Monsalve-González et al, 1993).

El deterioro por oscurecimiento enzimático puede limitarse de diversas maneras (Cheftel et al, 1989):

- Inmersión de las frutas en soluciones de carbohidratos, lo cual limita la entrada de oxígeno en el tejido vegetal y su absorción por este último.
- El descenso de pH retarda el pardeamiento enzimático, para lo cual se emplean baños de ácido cítrico.
- Eliminación de oxígeno.
- Adición de sulfuros y bisulfitos.

La intensidad y velocidad de la reacción enzimática depende de diversos factores como la concentración, disponibilidad y movilidad de los sustratos de reacción, de la temperatura, pH, potencial de oxidación-reducción, presencia de inhibidores y catalizadores. Además de que existen diferencias entre cultivares de una misma especie o los mismos cultivares crecidos y almacenados en distintas condiciones (Fenema, 2000).

El efecto del tratamiento para limitar el oscurecimiento enzimático depende de la naturaleza misma del alimento, la composición del fruto en particular, además del proceso de secado, por lo que el establecimiento de un procedimiento enzimático requiere del estudio de las diversas variables involucradas en la reacción, lo cual no es el objeto de este estudio.

Por otro lado el proceso de deshidratación puede provocar pérdida de ciertas vitaminas, principalmente la C que es sensible a altas temperaturas. La degradación de esta vitamina también esta en función de ciertas variables como son la temperatura, el pH, la disponibilidad de oxígeno, presencia de metales, la luz, etc. El conocimiento de los factores que influyen en la estabilidad de esta vitamina, así como el estudio de la cinética de degradación para un proceso de secado establecido, permiten la conservación de la calidad del producto deshidratado desde el punto de vista nutricional.

1.3 Textura.

La textura es una característica organoléptica que determina la aceptabilidad de cualquier alimento. Cada vez existe una mayor atención hacia los atributos de textura por parte de los consumidores y a medida que va aumentando la variedad de productos alimenticios en el mercado, se hace necesario el ofrecer al consumidor innovaciones en los atributos sensoriales de los productos ya existentes. En muchas ocasiones la diferencia en la textura de un alimento puede hacerlo mas atractivo que otro.

Durante el procesado de alimentos es fundamental un control en la textura de la materia prima ya que debe resistir las condiciones de proceso a las que será sometida y el producto final cumplir con las especificaciones y características aceptables por el consumidor. Se debe entonces contar con instrumentos para la medición de textura que sean de operación rápida y sencilla que arrojen resultados confiables, precisos, reproducibles y que se relacionen con los atributos sensoriales (Anzaldúa et al, 1984).

1.3.1 Definición.

La textura puede ser definida como la manifestación sensorial de la estructura de un alimento y la forma en que dicha estructura reacciona a las fuerzas aplicadas. Los sentidos específicos involucrados son la visión, cinestésico y oídos (Szczeniak, 1963).

La palabra **"textura"** comprende una serie de propiedades reológicas relacionadas entre si y se emplean diferentes términos para describir cada una de ellas. Algunas características aceptadas universalmente son:

- Tostado.
- Crujiente
- Blando
- Jugoso

- > Firme
- > Pastoso
- > Duro
- > Suave

1.3.2 Métodos de medición de textura en frutas.

Debido a la complejidad de la textura y las variables que incluye, la medición de un solo parámetro es insuficiente para la evaluación y control de la misma. Sin embargo, la necesidad de contar con datos de manera inmediata en la industria alimentaria ha provocado un extenso empleo de instrumentos de medición de textura.

La medición de la textura de frutas se realiza mediante los siguientes métodos generales (Anzaldúa et al, 1984):

1.3.2.1 Evaluación sensorial. La evaluación sensorial es ampliamente usada hoy en día, se trata de un método que puede relacionarse con métodos instrumentales. Sin embargo requiere de jueces bien entrenados, una gran inversión de horas hombre y los estudios deben ser muy amplios para arrojar información específica.

1.3.2.2 Mediciones instrumentales. Las propiedades mecánicas de un alimento se estudian midiendo la resistencia que opone el alimento a las fuerzas de deformación aplicadas; existen tres tipos de pruebas a las que se puede someter un alimento para evaluar sus propiedades reológicas:

- a) Compresión.** El alimento se oprime mediante un esfuerzo constante muy pequeño, y se mide el aumento en la deformación con el tiempo. La prueba puede ser destructiva o no, ejemplo: compresímetros, penetrómetros, extrusores.

- b) Corte con deslizamiento (cizalla):** Aplicación de un esfuerzo de corte donde hay un desplazamiento de una parte de la muestra respecto al resto del producto ejemplo: viscosímetros, texturómetros.
- c) Tensión:** El material se jala de sus extremos en direcciones opuestas, se mide la tensión generada (pinzas de alargamiento, tensómetros).

1.3.3 Análisis de perfil de textura (TPA).

Un grupo de investigadores de la compañía General Foods Corporation fue el primero en desarrollar un texturómetro que realizaba pruebas de compresión, con lo cual innovaron en la idea de registrar todo el proceso de la respuesta de un alimento. En un solo ensayo se obtenía más de una variable mecánica y demostraron que las variables obtenidas estaban bien relacionadas con una serie de atributos sensoriales de textura (Costell et al, 1997).

La prueba consistía en la compresión de un pedazo de alimento dos veces en un movimiento que imita la acción de la boca. El registro de la acción anterior resulta en una curva fuerza-tiempo como la esquematizada en la figura 10.

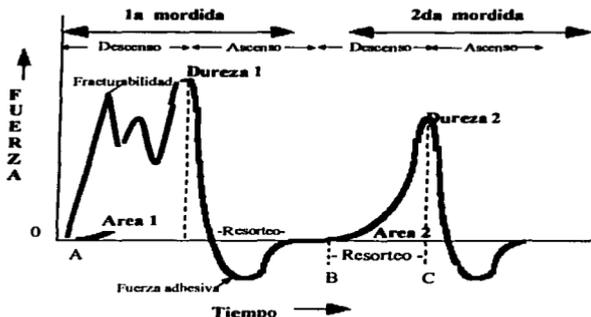


Figura 10. Curva típica de TPA obtenida por medio de un texturómetro GF

En la Figura 10 el punto A señala el inicio de la primera compresión y B el de la segunda; la dureza corresponde a la altura máxima del primer pico. La relación entre las áreas del primer y segundo pico (A_1/A_2) equivale a la cohesividad; la adhesividad es el área de la curva negativa (A_3).

La fracturabilidad es la fuerza que corresponde al cambio significativo en la pendiente del primer pico

La altura del pico de fuerza en el primer ciclo de compresión (primera mordida) fue definido como "dureza". En la Figura 6, A es el inicio de la primera compresión y B es el inicio de la segunda compresión. La fracturabilidad (originalmente conocida como la susceptibilidad a ser

quebradizo) fue definida como la fuerza en que ocurre un rompimiento significativo en la curva de la primera mordida (mostrado como una línea punteada en la Figura 10.

La relación de la fuerza en las áreas positivas bajo la primera y la segunda compresiones (A_2/A_1) fue definido como "cohesividad". El área de fuerza negativa de la primera mordida (A_3) representa el trabajo necesario para jalar la pieza compresora fuera de la muestra y fue definida como "adhesividad".

El método se modifico posteriormente para determinados alimentos pero su verdadera popularidad se produjo cuando Boume en 1968 lo adapto para poder realizarlo con un texturómetro Instron, lo que facilito su posterior utilización con otros texturómetros universales (Costell et al., 1997).

OBJETIVOS.

❖ Objetivo general.

Evaluar la cinética de deshidratación del mango (Mangüifera Indica) variedad manila mediante el método de secado con aire caliente como una alternativa de procesamiento y conservación, para obtener un producto de gran valor comercial.

❖ Objetivos particulares.

- 1. Determinar el efecto de la temperatura del aire de secado y el espesor del mango manila, en la cinética de deshidratación.**
- 2. Evaluar en términos de la teoría de secado la posible existencia de los dos periodos (constante y decreciente) de la velocidad de secado en función de las condiciones de operación.**
- 3. Establecer las condiciones de operación más convenientes sobre la base de tiempo de secado obtenido experimentalmente y la humedad final del producto.**
- 4. Evaluar el efecto de los aditivos (chile piquín, sal, azúcar, ácido cítrico y goma xantana) en la cinética de secado del mango manila deshidratado bajo las condiciones de secado establecidas como optimas.**
- 5. Evaluar el perfil de textura de las muestras obtenidas bajo diferentes condiciones de secado y obtener los parámetros correspondientes a cada experimento realizado.**

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

En las Figuras 11 y 12 se muestra el diagrama de flujo que contiene las actividades llevadas a cabo para la realización de este trabajo, y las cuales se describen a continuación.

2.1 MATERIALES Y METODOS.

2.1.1 Elaboración del diseño experimental.

Se reporta una temperatura máxima de secado de 70° C en experimentaciones con rebanadas de mango en estado próximo a la maduración; sin embargo estas condiciones son consideradas como drásticas (García y de la Cruz, 1993); por lo cual se selecciono una temperatura de 50° C con una variación de 10° C máxima y mínima.

Se seleccionaron dos espesores de mango en función del grosor del mango manila empleado como material de secado.

La velocidad de aire se mantiene constante en función de las que regula el secador.

Las variables independientes que se modifican son:

- Temperatura de secado = 45° C, 50° C, 55° C, 60° C.
- Espesor del mango = 0.6 y 1.2 cm.

Las variables que no se modifican son:

- Velocidad del aire de secado = 9 m / seg.
- Área de secado = $1.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

Tabla 2. Diseño experimental para el proceso de secado del mango manila

ESPESOR (cm)	TEMPERATURA			
	45° C	50 ° C	55 ° C	60 ° C
0.6	E ₁ T ₁	E ₁ T ₂	E ₁ T ₃	E ₁ T ₄
1.2	E ₂ T ₁	E ₂ T ₂	E ₂ T ₃	E ₂ T ₄

Número de experimentos a realizar = 8

Cabe hacer notar que el modelo anterior fue planteado originalmente, sin embargo pruebas preliminares demostraron que el espesor del mango igual a 0.6 cm no es adecuado para la evaluación debido a que al finalizar el proceso de secado el producto obtenido no era apto para evaluación alguna.

Por el motivo anterior el diseño factorial quedo de la siguiente forma:

Tabla 2a. Diseño experimental realizado para el proceso de secado del mango manila

ESPESOR (cm)	TEMPERATURA			
	45° C	50 ° C	55 ° C	60 ° C
1.2	E ₁ T ₁	E ₁ T ₂	E ₁ T ₃	E ₁ T ₄

Número de experimentos a realizar = 4
(Dos repeticiones de cada uno)

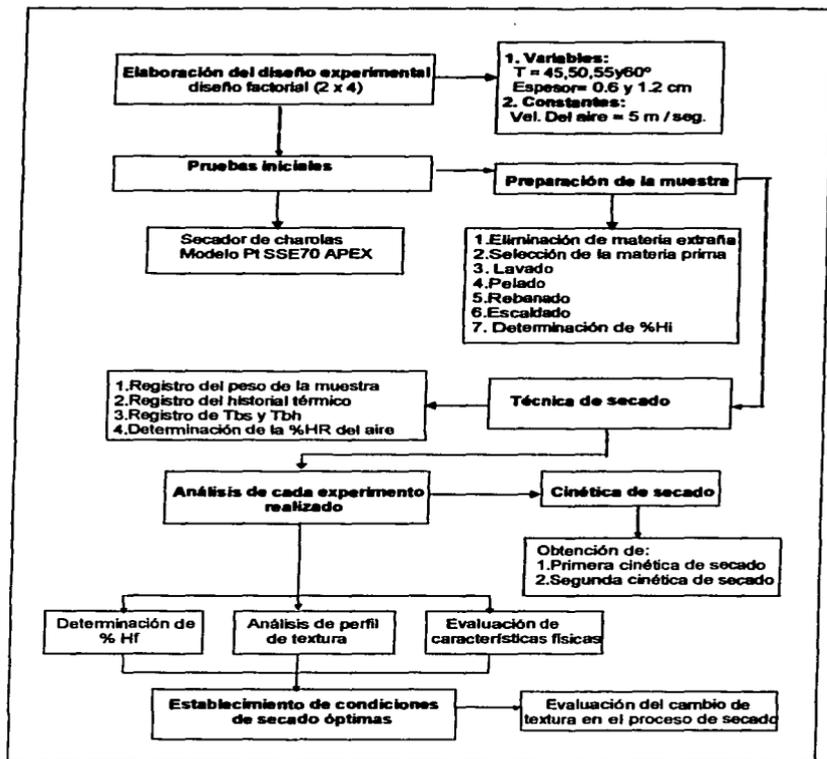


Figura 11. Diagrama de trabajo.

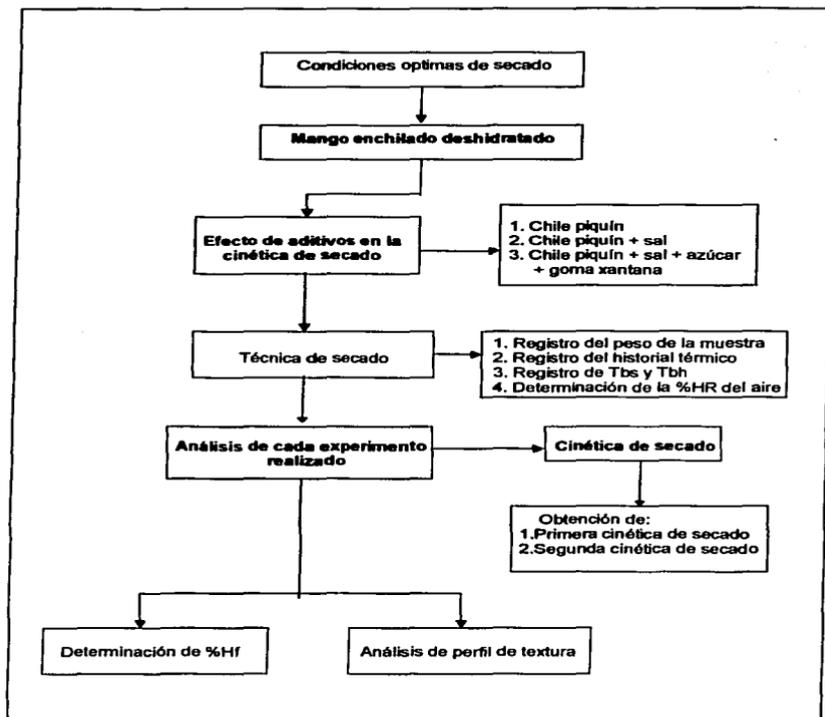


Figura 12. Diagrama de trabajo (continuación).

2.1.2 Pruebas iniciales.

El secado de mango manila se realizó en secador de charolas modelo Pt SSE70 marca APEX Construction (Figura 13); el cual consiste en una cámara aislada dentro de la cual se colocan las charolas sobre soportes permanentes. El aire es impelido por un ventilador que se encuentra en la parte superior izquierda (Figura 14) dentro de la cámara de secado; la regulación de la velocidad del aire se hace mediante una perilla que se encuentra en la parte externa del secador y que regula velocidades de 1 a 12 m / seg. El flujo de aire pasa por un termostato que lo calienta y opera temperaturas de 20 a 120° C, de esta manera el aire caliente entra en contacto con las charolas del material que se esta secando. En la figura 14 se esquematiza la circulación del aire dentro de la cámara de secado.

El funcionamiento del equipo se verifica por el registro de la temperatura en diferentes partes del secador mediante unos termopares cuya posición se observa en la figura 14b. La temperatura se comprueba en un registrador colocado en la parte externa del secador. La validación del buen funcionamiento del equipo ha sido realizado en trabajos preliminares (González , 1995).

Para el registro de la variación del peso de la muestra, se coloca en la parte superior del secador una balanza digital marca Ohaus con capacidad de 1500 g y sensibilidad de 1 g, a la cual se adapta un conector con la charola que se encuentra dentro de la cámara de secado; de esta manera se puede registrar el peso de la muestra sin necesidad de interrumpir el procedimiento de secado.

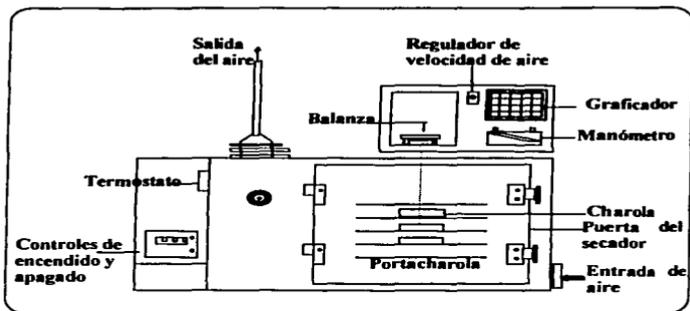


Figura 13. Secador de charolas mod. Pt SSE70. Apex Construction.
[González, 1995]

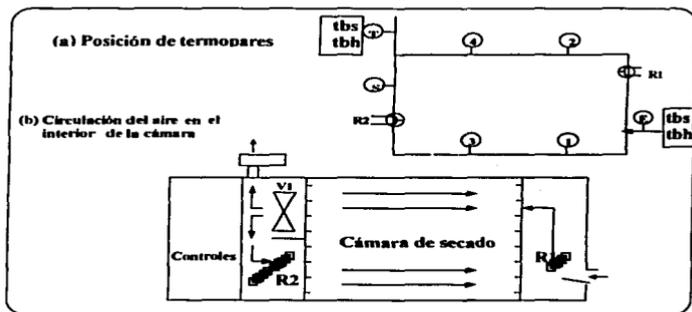


Figura 14. Posición de los termopares (a) y circulación del aire en la cámara de secado (b), [González, 1995].

2.1.3 Preparación de la materia prima.

a) Selección de la muestra.

Se seleccionó la fruta más firme de la que presentaba una inconsistencia en su superficie, así como también se realizó una eliminación de frutos demasiado maduros; la materia prima se seleccionó por tamaño, peso, color, estado de madurez y se procuró que las muestras fueran uniformes dentro de cada ensayo, así como también entre los diferentes ensayos que se realizaron.

El mango manila se utilizó en estado próximo a la madurez, cuando el color interno de la fruta era amarillo. Se optó por este estado de madurez, ya que se reportó en estudios previos con mango manila maduro que el producto seco adquiriría una estructura chiclosa, efecto que se atribuyó a la poca fibrosidad del mango manila maduro (García et al. 1990).

b) Lavado de la muestra.

El mango se lavó manualmente con agua corriente para eliminar el polvo y materia extraña; este procedimiento se realizó de la manera más cuidadosa para no dañar la superficie del mango.

c) Pelado.

El mango se peló manualmente comenzando a retirar la cáscara por el extremo más ancho del fruto, esta operación se realizó lo más rápido posible para evitar la exposición de la pulpa al medio ambiente demasiado tiempo y que pudiera comenzar un deterioro oxidativo.

d) Rebanado y escaudado.

El mango se corto en rebanadas empleando una rebanadora mecánica, se obtuvieron rebanadas de 8.5 x 3.3 cm con 0.6 y 1.2 cm de espesor. Se sumergieron en una solución de ácido cítrico (200 ppm) por un minuto y se colocaron en una charola previamente pesada y de la cual se conoce el área de secado, se peso la charola con las rebanadas de mango y por diferencia se obtuvo el peso del producto, el cual estuvo en contacto con el aire de secado tanto en la parte inferior como en la parte superior.

e) Determinación de la Humedad Inicial de la muestra.

Se determino la humedad inicial del mango en una estufa de secado con presión de vacío Precision Scientific, para lo cual se homogenizo la pulpa en una licuadora y se colocaron de 3-5 g de muestra en un pesafiltro previamente puesto a peso constante; se coloco dentro de la estufa a una temperatura de 70°C hasta peso constante.

2.1.4 Técnica de secado.

a) Registro del peso de la muestra y del historial térmico.

Se coloco la bandeja con la muestra en el conector adaptado a la balanza Ohaus; la pérdida de peso durante el secado se registró cada 10 minutos sin interrupción de la operación.

El área de la charola es de 0.017 m² y al quedar expuestas a la corriente de aire la superficie superior e inferior del mango el área de secado real es de 0.034 m².

Se llevo también un registro de la temperatura interna de la cabina de secado mediante la verificación de la temperatura de los diferentes termopares colocados en el interior del secador; con esto se tuvo un mejor control del proceso y se pudieron obtener resultados confiables.

b) Registro de Tbs y Tbh, obtención de HR del aire de secado.

Se realizó la medición de la temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco en la entrada y salida del secador y mediante el empleo de un diagrama psicométrico se obtuvo la humedad relativa del aire durante el proceso de secado.

2.1.5 Análisis de cada experimento realizado.

2.1.5.1 Cinéticas de secado.

Se realizó el análisis de la cinética de secado del mango Manila, determinando que periodo de secado (constante o decreciente) es el que predomina.

Los datos obtenidos de un experimento de secado por lotes son el peso total (W) del sólido húmedo obtenido en diferentes tiempos durante el proceso de secado. Estos valores se convirtieron a datos de velocidad de secado mediante el siguiente procedimiento:

A) Curva de secado: Para la construcción de la curva de secado se grafica el contenido de humedad libre en función del tiempo (t) en minutos.

A partir del peso del sólido húmedo (W) se obtiene la humedad libre a cada tiempo (Xt) mediante la siguiente ecuación:

$$X_t = (W - W_s) / W_s \quad (2.1)$$

Donde:

Xt = Humedad libre a cada tiempo t (Kg agua / Kg ss)

W = Peso de la muestra a cada tiempo t (Kg agua + Kg ss)

Ws = Peso del sólido seco (Kg ss)

Se emplearon los datos obtenidos con la ecuación anterior para trazar una gráfica del contenido de humedad libre en función del tiempo t en minutos, obteniéndose la grafica de la primer cinética de secado (figura 9B).

Posteriormente se procedió a evaluar la primera cinética de secado mediante el modelo que mejor describiera la relación existente entre la humedad libre y el tiempo. El uso de un modelo matemático da una descripción macroscópica de las interrelaciones entre el producto y el agente secante, donde se establece que el periodo de velocidad constante y decreciente dependen del método de secado, así como también da una explicación aproximada de los flujos físicos internos del material, basándose en una aproximación de los coeficientes de transferencia de masa y de calor.

El modelo propuesto en este trabajo es:

$$X_{mod} = [mt + b] + [c \exp (-dt)] \quad (2.2)$$

Donde:

X_{mod} = Contenido de humedad libre.

m = Pendiente.

t = Tiempo.

b = Parámetro del modelo.

c = Parámetro del modelo.

d = Parámetro del modelo.

La ecuación (2.2) describe el comportamiento de dos regiones: la región de secado constante representada por el primer término de la derecha y la región de secado decreciente, representada por el segundo término de la derecha.

Mediante un software (v.g. Sigma Plot versión 2.0) se efectuó el modelamiento de los resultados experimentales y la estimación de los parámetros del modelo.

B) Curva de velocidad de secado: Con la finalidad de obtener la gráfica de velocidad de secado, se empleó la siguiente ecuación:

$$N_a = (-L_s / a) (dx / dt) \quad (2.3)$$

Donde:

N_a = Velocidad de secado.

L_s = Peso seco (Kg de sólido seco).

a = Área de secado (m^2).

dx / dt = Cambio de humedad (base seca) en función del tiempo.

La estimación de N_a (velocidad de secado) se realiza mediante el cálculo de una función continua del modelo anterior, donde dx / dt se calcula utilizando el operador delta a intervalos de tiempo muy pequeños de la orden de 0.01 s.

2.1.5.2 Determinación de la Humedad final de la muestra.

Una vez terminado el procedimiento de secado se determinó la humedad final del producto empleando una estufa con presión de vacío a la temperatura de 70 °C hasta llegar al peso constante de la muestra.

2.1.5.3 Evaluación de las características físicas.

Se evaluaron físicamente y de manera comparativa las muestras obtenidas en cada uno de los ensayos realizados; los parámetros observados fueron: color y aspecto de la superficie del mango seco.

2.1.6 Análisis de perfil de textura

Para la realización de estas pruebas se utilizó un Texturómetro MS Modelo Sintech 1/S (Figura 15) con una celda de 1bf y una geometría de cilindros. El diámetro de celda fue de 1.5 cm. Las condiciones de la prueba fueron: 50% de compresión con una velocidad del sensor = 150 mm / min. El análisis de perfil de textura se realizó a las muestras de mango secas con un espesor de 3 mm y que antes del secado tuvieron un espesor de 1.2 cm.

Las mediciones se realizaron por triplicado colocando las rebanadas de mango secas en el dispositivo de prueba del texturómetro. De las curvas de análisis de perfil de textura se obtuvieron los siguientes parámetros: Dureza (lb), cohesividad (adimensional) y gomosidad (lbf), definidos previamente en la Figura 10.

2.1.7 Obtención de mango enchilado deshidratado. Efecto de los aditivos en la cinética de secado.

Con el objetivo de obtener un producto comercial como una alternativa de aprovechamiento para el mango manila, se propuso el empleo de diferentes aditivos para la elaboración de este producto.

El método de fabricación consistió en pelar, rebanar el mango, escaldarlo (solución de ácido cítrico 200 ppm) e impregnar las rebanadas por ambos lados con el aditivo seleccionado, las propuestas fueron:

3. Chile piquín.
4. Chile piquín + sal (relación 50:50).
5. Chile piquín + sal + ácido cítrico + azúcar + goma xantana (relación 50:30:10:9.9:0.1).

Se realizó un experimento de secado para el mango manila bajo las condiciones establecidas como óptimas (T y espesor del mango) con cada una de las mezclas de aditivos mencionadas anteriormente.

Se registraron las variables correspondientes (T_{bs}, T_{bh}, %Hr, peso de la muestra) de cada ensayo realizado y se procedió al análisis de la cinética de deshidratación del mango manila.

Se determinó el contenido de humedad final en el producto deshidratado, se realizaron ensayos de TPA y se evaluó la calidad sensorial de las muestras obtenidas.

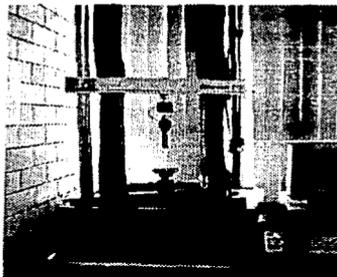


Figura 15. Texturómetro Sintech 1/S.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6. RESULTADOS Y DISCUSION.

3.1 Pruebas preliminares.

En el diseño experimental propuesto inicialmente se seleccionaron dos variables: temperatura y espesor del mango con dos niveles de variación para esta última. Sin embargo durante los ensayos preliminares en el caso de las rebanadas de mango = 0.6 cm al finalizar el proceso de secado se obtuvo un producto inadecuado para ser evaluado tanto física como mecánicamente. Se descartó el evaluar la variable de espesor = 0.6 cm por que no se cumplía con el objetivo de brindar un producto con posibilidades comerciales aceptables por el consumidor. Se evaluó únicamente un valor para el espesor del mango manila, por lo cual se considerara como una constante más dentro de la experimentación.

3.2 Cinéticas de secado

Para la realización del análisis de la cinética de secado para el mango manila, se consideran como variables independientes o constantes la velocidad del aire de secado, el área de transferencia (A) y finalmente de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos preliminares, el espesor del mango manila.

En los experimentos de secado del mango se utilizaron muestras con un peso de 214 gramos y un espesor de 1.2 cm, existiendo una variación de ± 1 g entre cada ensayo efectuado. La humedad inicial del mango se determinó como se especifica en la sección 2.4.5 y los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Contenido de humedad de las diferentes muestras de mango manila.

Ensayo	Temperatura de secado	Humedad inicial	Humedad final
No.	°C	%	%
1	45	79.26	15.94
2	45	80.83	16.23
3	50	80.10	9.64
4	50	79.36	9.87
5	55	81.45	14.15
6	55	81.54	14.05
7	60	82.24	11.51
8	60	80.10	11.93

El promedio de la humedad determinada para el mango manila es de 80.60%, este es un valor considerable y se refleja en la calidad del producto final, ya que la pérdida de agua durante el secado provoca que el espesor original de la rebanada que era de 1.2 cm se modifique hasta aproximadamente 0.3 cm una vez finalizado el proceso.

Se maneja un solo espesor de mango (1.2 cm) para los ensayos de secado efectuados a la temperatura de 45°, 50°, 55° y 60° C por las razones especificadas en la Sección 3.1. Cada prueba se efectuó por duplicado para validar el buen funcionamiento del equipo, así como también evaluar la reproducibilidad de los datos que estamos obteniendo.

Para el análisis de la cinética de secado del mango manila se construyó la curva de secado X vs t , donde para cada tiempo dado se grafican los datos de humedad obtenidos mediante la ecuación 1, en función del tiempo.

El valor de L_s utilizado en cada ensayo efectuado depende del peso inicial de la muestra; los valores obtenidos son muy aproximados debido a que la variación del peso inicial de la muestra entre cada experimento fue de ± 1 g. El área de secado como recordamos es un valor constante e igual a 0.017 m^2 .

La gráfica obtenida presenta el comportamiento típico de una curva de velocidad de secado tal como se aprecia en la Figura 16.

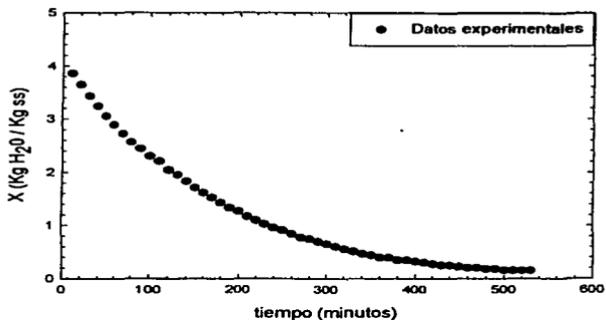


Figura 16 Curva de secado experimental a 50°C .

El método frecuente para obtener la curva de velocidad de secado es la derivación ya sea gráfica o numérica de los datos experimentales X vs t .

Inicialmente se aplicó el método de derivación a los datos obtenidos experimentalmente, sin embargo al graficar la velocidad de secado en función del contenido de humedad no se observó una definición de los dos periodos de secado. Los datos obtenidos mostraron una serie de variaciones tal como se muestra en la Figura 17. En esta figura no es claro el tipo de cinética que impera durante el secado.

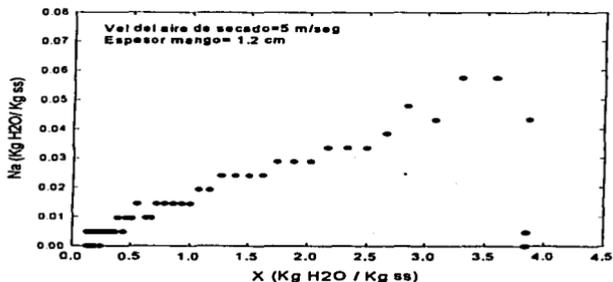


Figura 17 Curva de velocidad de secado experimental a 50°C.

El comportamiento mostrado en la Figura 17 es atribuible a la naturaleza matemática del operador empleado en la aproximación de la dx / dt .

Con la finalidad de obtener la gráfica de velocidad de secado con la definición de los periodos característicos, se procedió a la evaluación de un modelo matemático que mejor representara la relación existente entre la humedad libre y el tiempo.

La obtención del modelo se realizó bajo la consideración de que el periodo de velocidad constante sigue una relación lineal entre la pérdida de agua y el tiempo de secado, mientras que el periodo de velocidad decreciente sigue una función exponencial. El modelo propuesto se definió anteriormente en la ecuación 2.2:

Mediante un software (v.g. Sigma Plot) se efectuó el ajuste de datos experimentales al modelo. Sin embargo, no se observó ninguna correlación entre los datos experimentales y el modelo empleado, tal como se ilustra en la Figura 18, por lo cual se procedió a evaluar un modelo diferente esperando una mejor definición de los periodos de secado.

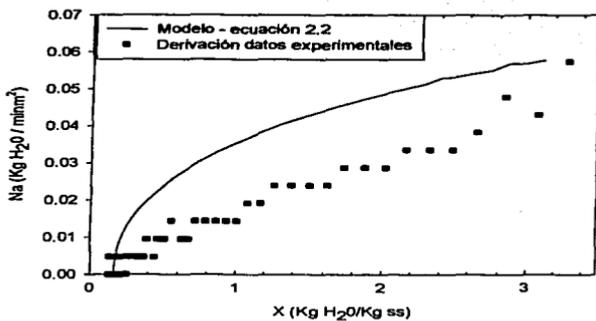


Figura 18 Curva de velocidad de secado obtenida con el modelo propuesto inicialmente.

El siguiente modelo propuesto es:

$$X \text{ mod} = [c \exp (-dt)] \quad (3.1)$$

Donde:

X mod = contenido de humedad.

t = Tiempo.

c = Parámetro del modelo.

d = Parámetro del modelo.

Se utilizaron los datos experimentales de humedad libre y tiempo para el modelamiento de la gráfica de secado; se obtuvieron los datos de humedad corregida mediante el modelo anterior.

Para la obtención de la gráfica de velocidad de secado, la estimación de N_a (velocidad de secado) se realiza mediante la derivación de la ecuación (4) empleando los datos obtenidos de humedad corregida ($X \text{ mod}$). La función utilizada para la derivación de la primera cinética de secado es la ecuación 5:

$$N_a = (- L_s / a) (dx_{\text{mod}} / dt) \quad (3.2)$$

Donde dx_{mod} / dt se calcula utilizando el operador delta a intervalos de tiempo muy pequeños.

La gráfica de velocidad de secado obtenida con la ecuación 3.1 se ajusta a los datos experimentales, tal y como se puede apreciar en la Figura 19.

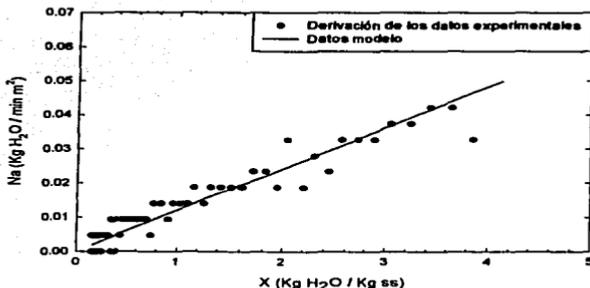


Figura 19. Curva de velocidad de secado a 50°C (ecuación 3.1).

Se puede observar la definición del periodo de secado decreciente que describe claramente el comportamiento de los datos y permite el análisis de la cinética de secado del mango manila.

En las Figuras 20a, 21a, 22a y 23a se aprecian las gráficas de secado para las temperatura de 45°, 50°, 55° y 60°C respectivamente. Se presentan los datos experimentales y la gráfica obtenida mediante la ecuación 3.1.

En las Figuras 20b, 21b, 22b y 23b se presentan las gráficas de velocidad de secado a 45°, 50°, 55° y 60°C.

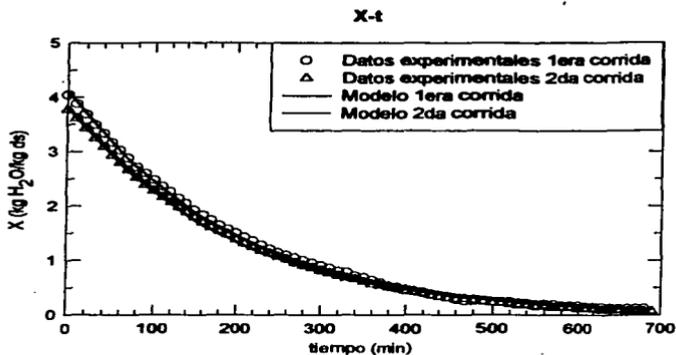


Figura 20a. Curva de secado para mango manila a 45°C.
(Vel aire= 5m/seg, Espesor inicial=1.2 cm)

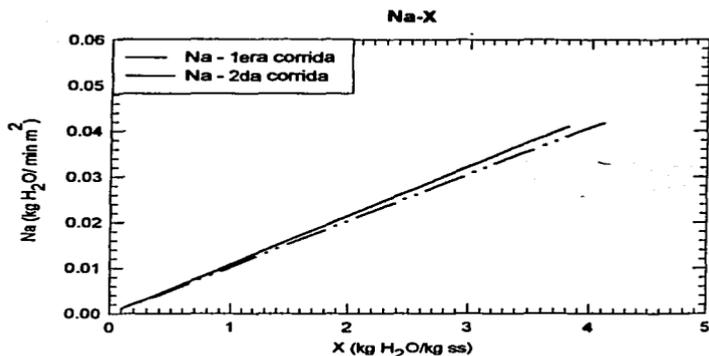


Figura 20b. Curva de velocidad de secado del mango manila a 45°C
(Vel aire=5 m/seg, Espesor inicial=1.2 cm)

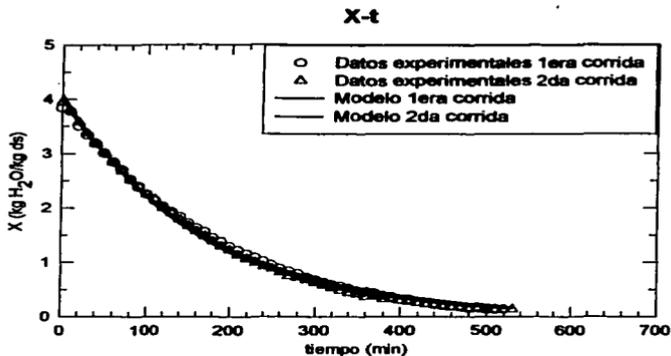


Figura 21a. Curva de secado para mangomanila a 50°C
(Vel del aire=5m/seg, Espesor inicial=1.2 cm)

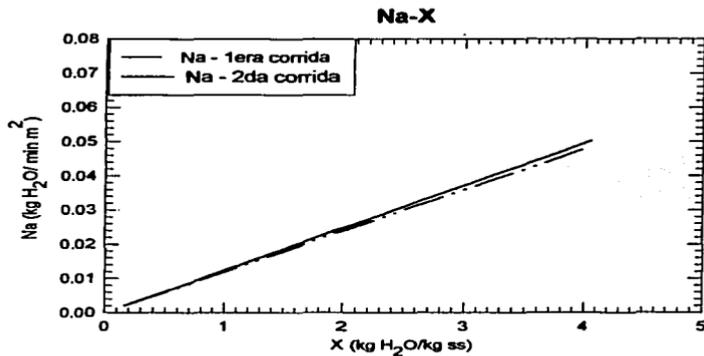


Figura 21b. Curva de velocidad de secado del mango manila a 50°C
(Vel aire=5 m/seg, Espesor inicial=1.2 cm)

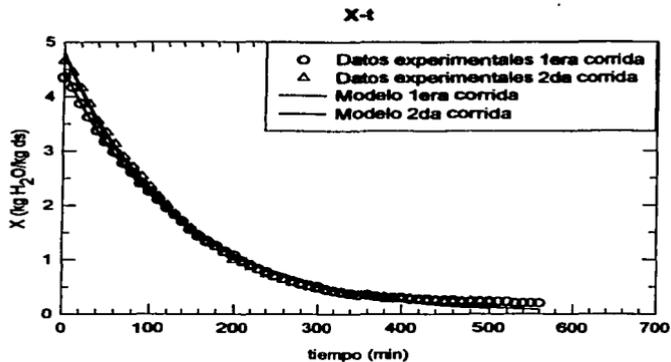


Figura 22a. Curva de secado para mango manila a 55°C
(Vel del aire=5 m/seg, espesor inicial=1.2 cm)

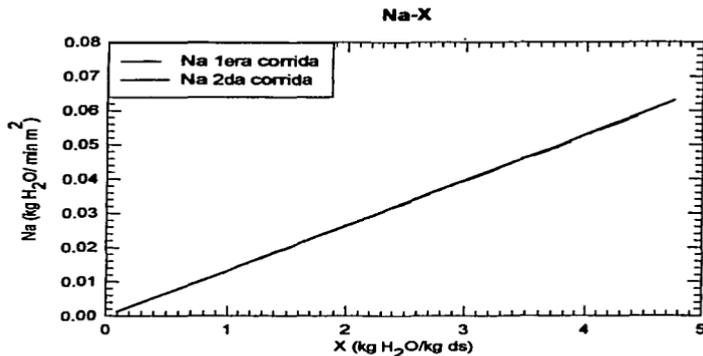


Figura 22b. Curva de velocidad de secado del mango manila a 55°C
(Vel aire=5 m/seg, Espesor inicial=1.2 cm)

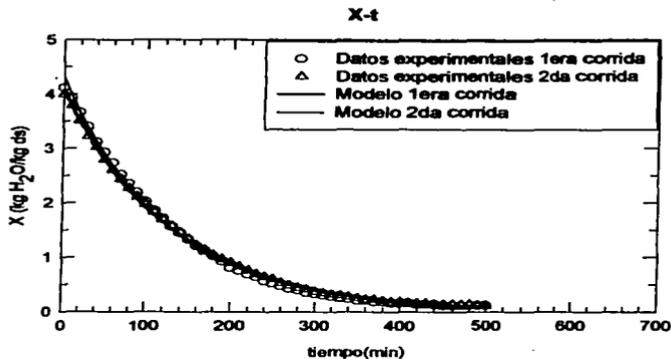


Figura 23a. Curva de secado para mango manila a 60°C
(Vel aire=5 m/seg, Espesor inicial=1.2 cm)

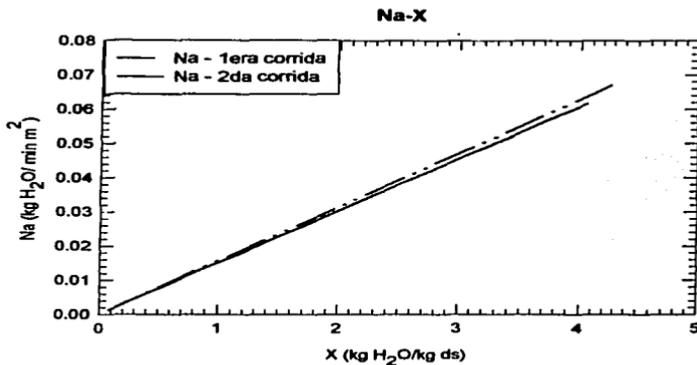


Figura 23b. Curva de velocidad de secado del mango manila a 60°C
(Vel aire=5 m/seg, Espesor inicial= 1.2 cm)

Los parámetros c y d del modelo para cada ensayo efectuado se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros del modelo.

Ensayo	Temperatura de secado	Parámetros del modelo	
No.	°C	c	d x 10 ³
1	45	4.125	5.191
2	45	3.831	5.221
3	50	3.998	5.806
4	50	4.079	6.143
5	55	4.464	7.027
6	55	4.797	7.425
7	60	4.301	7.968
8	60	4.087	7.541

En la Figura 24 se pueden apreciar de manera general las cinéticas expresadas como X vs t y Na vs X, para cada temperatura en estudio. Se puede advertir como se modifica la velocidad de secado para el mango manila con cada una de las temperaturas de estudio. Esto es la velocidad de secado aumenta con el aumento de la temperatura (Figura 24 b).

X-t

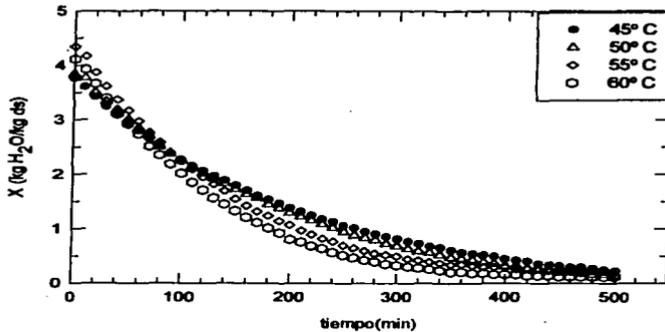


Figura 24a. Curva de secado como función de la temperatura para mango manila

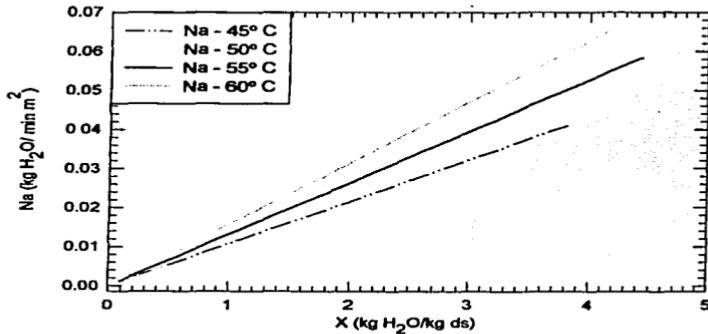


Figura 24b. Velocidad de secado como función de la temperatura para mango manila

Para estimar que temperatura sería la óptima para el secado comercial del mango manila, se compararon las características físicas de las muestras deshidratadas obtenidas a las diferentes temperaturas de secado.

Se observó que a 45° C las muestras obtenidas presentan una consistencia chiclosa consecuencia de la humedad que conservaban; a 50° las muestras eran firmes, de color amarillo característico del mango; a 55° y 60° C las muestras presentaban una superficie oscura y un aspecto vidrioso que era más apreciable en las muestras obtenidas a la temperatura de 60° C.

Las características físicas observadas y la humedad final del mango deshidratado sugieren que la temperatura de secado para la obtención de un buen producto es de 50° C.

3.2.1 Discusión de los resultados de la cinética de secado.

Cada uno de los ensayos de secado se realizó por duplicado obteniéndose una buena reproducibilidad de los datos experimentales. Lo anterior se aprecia en las figuras correspondientes a las curvas de secado X vs t , donde se grafican los datos de humedad contra tiempo. Ambas graficas presentan el mismo comportamiento y los valores de humedad son semejantes para cada momento dado. La diferencia entre los datos se debe a la variación en el peso inicial de la muestra ($\pm 1g$) La reproducibilidad de los datos experimentales valida el buen funcionamiento del equipo y comprueba que las condiciones de experimentación se llevaron a cabo de manera correcta.

Para la estimación de la velocidad de secado, se realizó la derivación de los datos de humedad con respecto al tiempo. Sin embargo, la obtención de la velocidad en función de la humedad libre presenta una serie de picos que son el resultado de los diversos cambios en las pendientes, producido por la utilización del operador Δ para aproximar la derivada. Esto no permite la delimitación de los periodos de velocidad prevaecientes representados en una curva típica y hace difícil la interpretación de datos sobre la velocidad de secado.

García y de la Cruz (1993) propusieron el empleo de modelos matemáticos no lineales para el análisis del proceso de deshidratación del mango manila, argumentando que el uso de modelos simplificados es inexacto para el diseño y análisis del mecanismo de secado. Los resultados obtenidos en su trabajo indican la inexistencia del periodo de velocidad constante de secado.

En este trabajo se empleó un modelo exponencial simple para el análisis del proceso de secado. Los datos obtenidos para cada temperatura de ensayo mediante el modelo matemático propuesto se aprecian en las Figuras 20a, 21a, 22a y 23a donde también se ilustran los valores obtenidos experimentalmente. El ajuste del modelo es muy adecuado ya que se observa la precisa descripción del proceso de secado, lo que permite el análisis del mecanismo de secado para el mango manila.

El análisis de la velocidad de secado indica que prácticamente no se presenta una fase de secado a velocidad constante. El periodo que se presenta es exclusivamente el decreciente, que esta regido por la velocidad del movimiento interno de humedad y para este periodo la influencia de las variables externas es mínima (Perry et al, 1982). El movimiento interno de humedad depende de la temperatura del producto y del grosor del alimento, por lo que el secado del mango manila no se ve afectado por los parámetros externos como son la velocidad del aire. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por García et al (1993), donde se da evidencia de que el aire en los niveles utilizados no tiene efecto sobre las curvas de secado.

En la Tabla 4, se observan los valores de los parámetros obtenidos del modelo matemático. El valor " d " se relaciona con la velocidad de secado y se aprecia que al incrementarse la temperatura este valor es mayor por lo cual el producto se seca más rápidamente. Para las temperaturas de secado de 55° y 60° el valor " d " es semejante, sin embargo se observa un daño térmico mayor en la superficie del mango secado a 60° C, además de un efecto de contracción de las rebanadas que afecta la velocidad de secado.

El encogimiento de los alimento durante el secado provoca que se desarrolle una capa dura en la superficie que resulta impermeable al flujo del líquido o vapor y disminuye la velocidad de secado (Geankoplis, 1991). Otro fenómeno que afecta la velocidad de secado para el caso de las frutas es la

formación de una corteza que se debe en parte al comportamiento de los azúcares que son arrastrados hacia el exterior del alimento donde se concentran y terminan por cristalizar o formar una capa pegajosa e impermeable que retarda considerablemente el paso de vapor de agua y disminuye la velocidad de secado (Singh et al. 1998). La presencia de estos fenómenos explica el comportamiento del proceso de secado a 60°C, así como también que no exista diferencia en la velocidad de secado entre las temperaturas de 55° y 60° C.

No obstante el menor tiempo de secado obtenido a las temperaturas de 55° y 60° C, que también son reportadas para el secado comercial de pulpa de mango variedad Tommy Atkins (Mang et al, 1995), se observó que el oscurecimiento y retracción de las rebanadas de mango es muy pronunciado, lo cual afecta la calidad final del producto.

Se han reportado diversos estudios sobre el efecto de la temperatura de secado en el oscurecimiento de papa (Cabrera et al, 1982), en el oscurecimiento, olor y pungencia del ajo (Moreira et al, 1985) donde se encontró que el pardeamiento es más severo para estos productos al final del secado. La limitación de este fenómeno se logra por el empleo de menores temperaturas al final del proceso. Esto tiene importancia comercial para el proceso y diseño de equipos destinados a la fabricación de mango manila deshidratado, ya que la utilización de una menor temperatura en la etapa final del proceso implica un ahorro de energía.

Los resultados obtenidos respecto a la influencia de los parámetros del aire en el mecanismo de secado tienen también una importancia desde el punto de vista comercial, ya que al no existir efecto de la velocidad del aire en el proceso de secado se puede emplear un menor flujo teniendo un menor consumo de energía.

Se selecciono la temperatura de 50°C como la óptima para el proceso de deshidratación del mango manila, ya que bajo esta temperatura de secado el color amarillo del producto original se conserva en comparación con el obtenido a 55°C y 60° C. No se observo diferencia en la preservación del color a la temperatura de 45° C y 50° C, sin embargo se obtuvo un menor contenido de humedad para el mango deshidratado a 50° C.

El periodo de secado que se presenta para el mango manila es el decreciente, el cual es regido por la velocidad del movimiento interno de humedad, la difusión del agua interna hacia la superficie va a depender de la composición bioquímica y estructural del fruto. El agua que se evapora durante esta etapa se encuentra ligada a los constituyentes del alimento y su desplazamiento depende de la temperatura de secado.

El mango manila es un fruto con una estructura heterogénea característica de materiales biológicos. Los tejidos celulares de las frutas son sistemas en diversas fases (vacuola, citoplasma, pared celular, etc...) y durante el proceso de secado el agua puede migrar fuera de las células por diferentes vías dependiendo de la estructura y de los componentes del fruto.

Análisis macroscópicos de la estructura del tejido del mango bajo diferentes condiciones de deshidratación osmótica indican cambios en el protoplasma debido a la gelatinización del almidón y a la desnaturalización térmica de un mucilago estructural compuesto de proteínas y carbohidratos. Además se encontró que la aplicación de calor altera la organización de sustancias pécticas cambiando la porosidad y por lo tanto las propiedades de transporte de la pared celular (Nieto et al, 2001).

Los componentes químicos del mango son: proteínas (0.6%), grasa (0.4%), minerales (0.4%), Fibra (0.7%) y carbohidratos (16.9%), dentro de este ultimo grupo el almidón puede llegar a representar hasta un 13% dependiendo del estado de madurez de este fruto (Salunke, 1984). Los constituyentes

poliméricos, tales como las proteínas, almidones y azúcares incrementan la proporción de agua ligada prolongando la segunda fase de secado (Singh, 1998).

Durante el proceso de secado la eliminación de agua del alimento se hace de manera gradual, lo cual ocasiona la concentración de los constituyentes poliméricos y la remoción del agua ligada se vuelve más difícil.

Los fenómenos descritos anteriormente: encogimiento, endurecimiento de la superficie, cambios en la estructura y composición, así como modificación de la estructura celular de los tejidos del fruto, determinan de manera conjunta el comportamiento del mango durante el proceso de secado y por lo tanto el predominio del periodo de secado decreciente.

3.3 Efecto de los aditivos en la cinética de secado.

Como una alternativa de aprovechamiento del mango manila se desarrollo una propuesta de deshidratación bajo las condiciones de secado establecidas como óptimas:

Espesor para la rebanada del mango = 1.2 cm.

Temperatura de secado = 50° C.

Se seleccionaron algunos aditivos para añadir al mango y de esta forma obtener un producto con características comerciales que fuera atractivo al consumo. En la Sección 2.1.7 se describe el método de fabricación, así como también las propuestas para las mezclas de aditivos.

Se realizo un ensayo de secado de mango con cada una de las mezclas en estudio. Las muestras tuvieron un peso inicial de 238 gramos habiendo una variación de ± 1 g entre cada ensayo efectuado, la pérdida de peso se verificó cada 10 minutos.. La humedad inicial del mango con cada una de las mezclas se determinó como se especifica en la sección 2.1.5 y los resultados se muestran en la Tabla 5.

Cabe mencionar que la introducción de la bandeja con la muestra en el secador se tuvo que realizar lo más rápido posible debido a que comenzó a presentarse un fenómeno de deshidratación del producto por efecto de los solutos impregnados en la superficie de las rebanadas del mango manila.

Tabla 5. Humedad del Mango + Aditivos

Ensayo	Mezcla de aditivos	Temperatura de secado	Humedad inicial	Humedad final
No.		°C	%	%
1	-	50	79,36	10,71
2	Chile piquín	50	73,03	12,36
3	Chile piquín +sal	50	74,77	11,21
4	Chile piquín+sal+azúcar+Goma	50	73,57	9,6

De la Tabla 5 se puede observar que la humedad inicial de las muestras de mango con aditivos (ensayos 2 a 4) es menor en comparación con el valor para el mango sin aditivos (ensayo 1), lo cual se debe a que al adicionar los aditivos que tienen una humedad menor al 5% se incrementa el contenido de sólidos secos disminuyendo así el contenido de humedad inicial de la muestra.

Se realizó un ensayo para cada prueba ya que la reproducibilidad de los datos y la validación del buen funcionamiento del equipo se observó con la realización de los ensayos en la Sección 3.2.

La curva de secado con las diferentes mezclas de aditivos en estudio se observa en la Figura 25a. En esta gráfica se representa la humedad libre experimental en función del tiempo junto con los datos derivados mediante el modelo matemático descrito por la ecuación 3.1, el ajuste de curvas se efectuó mediante el software Sigma Plot.

X-t

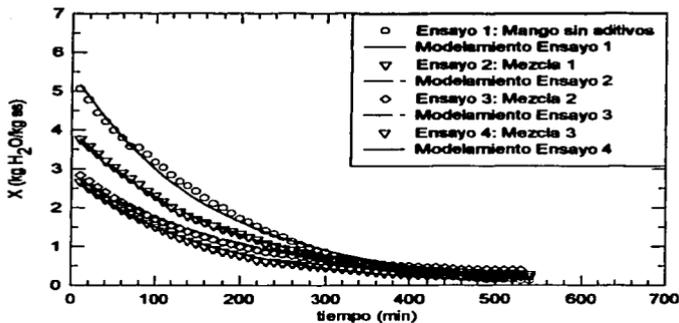


Figura 25a Efecto de los aditivos en el secado del mango manila a 50°C con aditivos.

Na-X

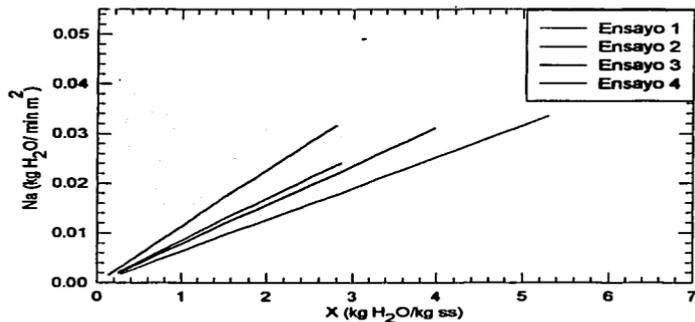


Figura 25b Efecto de los aditivos en la velocidad de secado del mango manila con aditivos a 50°C

El modelo matemático (Ecuación 3.1) describe de manera correcta el proceso de secado para el mango manila con las diferentes mezclas de aditivos empleados. Lo anterior se observa por la adecuación del modelo a los datos experimentales. Además de la definición del periodo decreciente para la velocidad de secado representada en la Figura 25b.

Por otro lado, en la figura 25b se muestran los resultados de los cálculos de la velocidad de secado (N_a) como función de la humedad libre (X) al aplicar el modelo exponencial propuesto (ecuación 3.1). Los parámetros del modelo se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6. Parámetros del modelo: Mango + aditivos.

Ensayo No.	Mezcla de aditivos	Temperatura de secado °C	Parámetros del modelo	
			c	d x 10 ³
1	-	50	5.4779	6.0144
2	Chile piquín	50	3.9827	7.8164
3	Chile piquín +sal	50	2.8500	8.4491
4	Chile piquin+ sal+azúcar+ goma	50	2.7960	11.3000

3.3.1 Discusión de resultados: efecto de los aditivos en la cinética de secado.

El análisis de la cinética de secado para el mango manila con diferentes aditivos se realizó mediante el empleo del modelo matemático descrito por la ecuación 3.1. La clara descripción del proceso de deshidratación se aprecia en la Figura 25a por la superposición de los datos ajustados sobre los experimentales, asimismo se obtuvo la función velocidad de secado $N_a(X)$ (Figura 25b) con la clara definición del periodo prevaleciente, que para los cuatro ensayos es el decreciente.

Los aditivos agregados a las rebanadas de mango modifican el mecanismo de secado. En primer lugar, el contenido de humedad inicial de la muestra disminuye con las diferentes mezclas de aditivos. En la Tabla 5 se observan los valores iniciales de humedad para cada ensayo efectuado, y se aprecia que las mezclas No. 3 y No. 4 influyen de forma más evidente en la modificación del contenido de humedad inicial que la mezcla de aditivos No. 1.

Otro fenómeno que se aprecia en el secado del mango es un efecto osmótico que modifica la velocidad de secado y que depende de la mezcla adicionada inicialmente a las rebanadas de mango. Los sólidos que se encuentran en la superficie del mango de forma concentrada, en comparación con el interior, provocan salida del agua por difusión hacia exterior y al mismo tiempo hay una migración de sustancias solubles al interior del producto donde la concentración es menor.

La deshidratación osmótica por efecto de las diferentes mezclas de aditivos es adicional al secado con aire caliente y el efecto conjunto de estos dos factores incrementa la velocidad de secado.

La velocidad de secado se aprecia mejor en la Figura 25b por la pendiente de las diferentes gráficas, siendo mayor para el ensayo No. 4. El periodo exhibido claramente en la curva de velocidad de secado (Figura 25b) para las pruebas realizadas es el decreciente.

Lo anterior sugiere que la adición de aditivos no influye en el mecanismo de secado del mango manila y que solo impacta en la magnitud de la velocidad de difusión interna del agua; esta última se modifica de forma evidente con la adición de sólidos, mismos que ejercen un efecto osmótico incrementando la velocidad de secado.

Se obtuvo una mayor velocidad de secado por efecto osmótico con la mezcla de aditivos No. 3 que incluye sustancias muy solubles como la sacarosa, cloruro de sodio y goma xantana. Estos propician la salida del agua interna del producto a una mayor velocidad en comparación con las mezclas No. 1 (chile piquín) y No. 2 (chile piquín + sal).

La deshidratación osmótica se utiliza como pretratamiento al deshidratado con aire caliente en frutas y presenta ciertas ventajas como la minimización de daños al color del producto, mejora el sabor y la textura, además disminuye el tiempo de secado (Ulloa et al, 1990). Este proceso se basa en colocar el alimento en una solución con un alto contenido de azúcares para provocar la salida de agua del producto a temperaturas que van de 50°C - 100 °C y tiempos que van de 136 a 230 min con agitación; posteriormente se concluye la deshidratación en un secador de gabinete con flujo forzado de aire.

Escoto (Escoto, 1996) realizó un estudio con rebanadas de mango deshidratadas con una solución osmótica de glucosa y un posterior tratamiento con aire caliente a 82° C durante 7 horas para obtener un producto con una humedad final de 6-7%.

En el presente trabajo, para el caso del ensayo 4, se obtuvo un producto con un porcentaje de humedad final del 10%, esta propuesta es la que tiene un potencial de comercialización mayor que para las otras mezclas propuestas, debido a las características finales de sabor y apariencia.

El tiempo de secado al cual se logro este contenido de humedad final es de aproximadamente 8 horas, lo cual representa una hora más que para el caso del pretratamiento osmótico descrito por Escoto (Escoto, 1996).

La importancia comercial de los resultados de este trabajo radica en que se puede obtener un producto de buena calidad, con un ahorro de energía ya que la deshidratación osmótica en frutas previa al secado con aire caliente, requiere un consumo de energía, materiales y tiempo adicional.

3.4 Análisis de perfil de textura (TPA).

El ensayo de TPA propuesto para este estudio genera información de diferentes atributos de textura que permiten relacionar las características finales del alimento con la temperatura de secado.

La evaluación de TPA se realizó para las muestras de mango sin aditivos obtenidas a las diferentes temperaturas de secado, una vez finalizado el proceso. La muestra se colocó en un desecador donde se enfrió a temperatura ambiente y se procedió al ensayo de TPA. Las medidas se realizaron sobre las rebanadas de mango, en el centro de las mismas y en tres muestras diferentes. Los resultados típicos de una curva de TPA se presentan en la Figura 10.

De las curvas Fuerza-distancia obtenidas, se extraen los siguientes parámetros: Dureza 1era (lb), Dureza 2da (lb), cohesividad y gomosidad (lbf), tal y como se muestra en la Figura A.1 del apéndice. No se obtuvo el parámetro de resorte. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

Para apreciar la modificación de los diferentes parámetros de textura con la temperatura de secado, se grafican los datos obtenidos de dureza primera y dureza segunda en la Figura 26. En la Figura 27 y 28 se aprecia la variación de la cohesividad y gomosidad respectivamente, a las diferentes temperaturas de secado para el mango manila.

Con el objetivo de evaluar de qué forma influyen los diferentes aditivos en las propiedades de textura, se realizó el análisis de TPA del mango deshidratado a las diferentes temperaturas de secado añadido con la mezcla de aditivos No 1 (chile piquín). Los resultados de los diferentes parámetros de textura se presentan en la Tabla 8 y se grafican conjuntamente con los obtenidos para el mango sin aditivos en las Figuras 26, 27 y 28.

Tabla 7. Valores de los parámetros de TPA como función de la temperatura: mango sin aditivos¹

Parámetro	Unidad	Temperatura de secado			
		45° C	50° C	55° C	60° C
Dureza 1era	Lb	0.550 ± 0.029	0.650 ± 0.099	0.723 ± 0.124	0.850 ± 0.181
Dureza 2da	Lb	0.426 ± 0.045	0.560 ± 0.078	0.623 ± 0.139	0.703 ± 0.054
Cohesividad	-	0.366 ± 0.124	0.500 ± 0.081	0.533 ± 0.124	0.500 ± 0.141
Gqmosidad	Lb	0.183 ± 0.075	0.360 ± 0.110	0.400 ± 0.152	0.400 ± 0.063

¹Valores promedio de tres repeticiones ± la desviación estándar.

Tabla 8. Valores de los parámetros de TPA como función de la temperatura: mango + mezcla 2¹.

Parámetro	Unidad	Temperatura de secado			
		45° C	50° C	55° C	60° C
Dureza 1era	Lb	0.863 ± 0.103	1.391 ± 0.078	2.581 ± 0.713	3.343 ± 0.195
Dureza 2da	Lb	0.663 ± 0.156	1.156 ± 0.041	1.962 ± 0.390	2.386 ± 0.117
Cohesividad	-	0.300 ± 0.216	0.466 ± 0.047	0.410 ± 0.012	0.361 ± 0.025
Gomosidad	Lb	0.260 ± 0.234	0.672 ± 0.021	0.703 ± 0.194	0.696 ± 0.059

¹Valores promedio de tres repeticiones ± la desviación estándar.

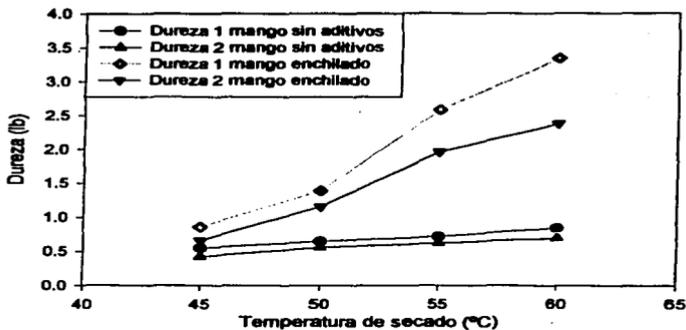


Figura 26. Dureza primera y dureza segunda del mango manila deshidratado sin aditivos y con chile piquín a las diferentes temperaturas de secado

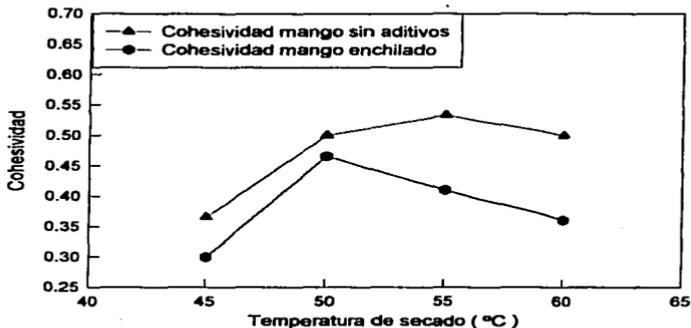


Figura 27. Variación de la cohesividad del mango manila deshidratado con la temperatura de secado y con chile piquín como aditivo.

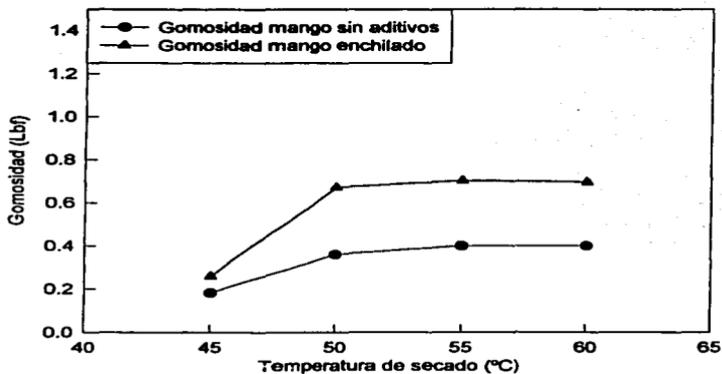


Figura 28. Variación de la gomosidad del mango manila deshidratado con la temperatura de secado y con chile piquín como aditivo.

En la Figura 26 se aprecia que la dureza primera se incrementa de manera considerable con la temperatura de secado, siendo mayor a los 60°C. Este mismo comportamiento se presenta en el caso del mango mas chile piquín, sin embargo este ultimo presenta los valores mayores de dureza. Para el caso de la dureza segunda se aprecia que la adición del chile piquín tiene poca repercusión en la modificación de este valor. Así, la dureza segunda es constante y no depende de la temperatura en el rango estudiado.

En la Figura 25 se aprecia la variación de la cohesividad con la temperatura para los dos productos en estudio. En el caso del mango sin aditivos, se observa que la cohesividad se incrementa con la temperatura de secado hasta los 55°C , disminuyendo a los 60°C, aunque se puede decir que a partir de los 50°C no existe variación puesto que el valor para las ultimas tres temperaturas es similar. Esto no sucede en el caso del mango con chile piquín ya que la máxima cohesividad se alcanza a los 50°C y disminuye a la temperatura de 60°C.

En la Figura 26 se grafica la gomosidad obtenida experimentalmente para cada una de las temperaturas de ensayo. Se comparan los datos del mango enchilado con los del mango sin aditivos y se puede apreciar que el valor de gomosidad del mango deshidratado no se modifica a partir de la temperatura de experimentación de 50°C, esto ocurre tanto para el mango enchilado como para el que no tiene aditivos.

Con el objetivo de evaluar el cambio de textura del mango manila deshidratado a la temperatura de 45° y 50° C con los diferentes aditivos empleados, se efectuó una serie de pruebas de secado del mango manila bajo las condiciones de ensayo establecidas en la Tabla 9.

**Tabla 9. Condiciones de secado para el análisis de TPA.
(mango + aditivos)**

Ensayo	Temperatura de secado (°C)
Mango + Mezcla 1	45
Mango + Mezcla 1	50
Mango + Mezcla 1	55
Mango + Mezcla 1	60
Mango + Mezcla 2	45
Mango + Mezcla 2	50
Mango + Mezcla 3	50

El proceso de deshidratación se realizó con una velocidad del aire de secado de 5 m / seg y temperatura de 45° y 50° C. Una vez concluido el tiempo de secado (530 minutos), se realizó la evaluación de TPA de las muestras. Los resultados de los diferentes parámetros de textura para los ensayos se muestran en la Tablas 10 y 11.

Cabe señalar que para el producto propuesto, únicamente se realizó el ensayo a la temperatura de 50° C que son las condiciones que tienen importancia operativa.

Los resultados de los parámetros de dureza, cohesividad y gomosidad se representan en las figuras 29,30 y 31 respectivamente.

Tabla 10. Valores de los parámetros de TPA: mango + mezcla 2.
(chile 50% + sal 50%)¹.

Parámetro	Unidad	Temperatura de secado	
		45 °C	50 °C
Dureza 1era	Lb	0.606 ± 0.041	0.846 ± 0.048
Dureza 2da	Lb	0.533 ± 0.025	0.656 ± 0.144
Cohesividad	-	0.402 ± 0.081	0.433 ± 0.236
Gomosidad	Lb	0.253 ± 0.055	0.383 ± 0.180

¹ Valores promedio de tres repeticiones ± la desviación estándar

Tabla 11. Valores de los parámetros de TPA: mango + mezcla 3
(chile 50%, ácido cítrico 10%, sal 30%, azúcar 9.9%, goma xantana 0.1%)¹.

Parámetro	Unidad	Mango con aditivos
Dureza 1era	Lb	1.526 ± 0.369
Dureza 2da	Lb	1.073 ± 0.316
Resorteo	in	3.141 ± 0.037
Cohesividad	-	0.331 ± 0.047
Masticabilidad	Lb / in	0.064 ± 0.031
Gomosidad	Lb	0.523 ± 0.243

¹ Valores promedio de tres repeticiones ± la desviación estándar

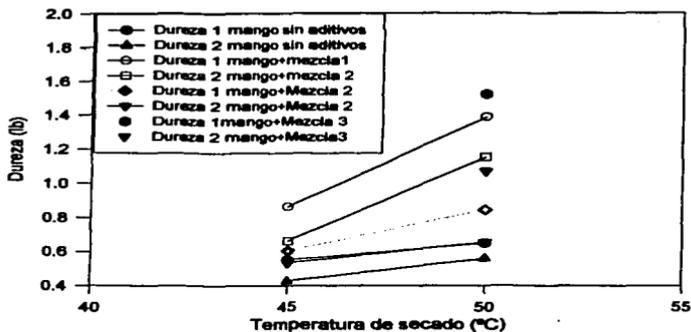


Figura 29. Variación de la dureza del mango manila deshidratado a 45° y 50°C con las diferentes mezclas de aditivos.

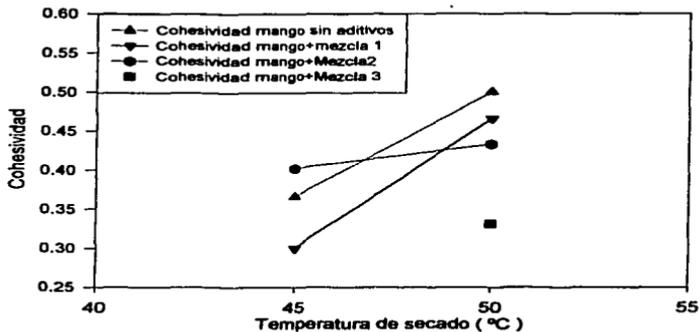


Figura 30. Variación de la cohesividad del mango manila deshidratado a 45° y 50°C con las diferentes mezclas de aditivos.

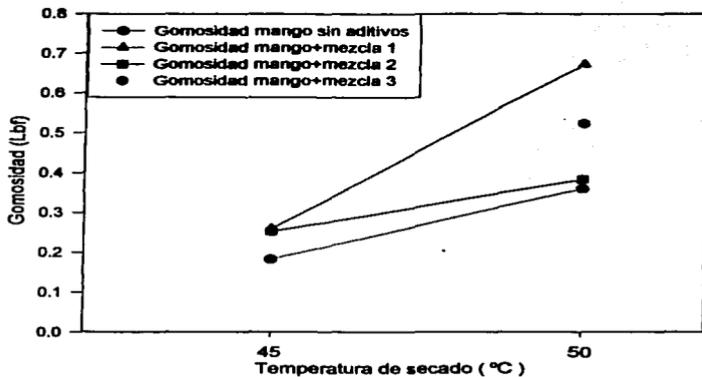


Figura 31. Variación de la gomosidad del mango manila deshidratado a 45° y 50°C con las diferentes mezclas de aditivos.

3.4.1 Discusión de los resultados de los ensayos de TPA.

La textura es un atributo de importancia fundamental que al igual que el color, olor y sabor determina la aceptabilidad de un alimento por parte del consumidor. No se trata de una característica única sino que engloba varias propiedades físicas denominadas "propiedades de textura".

Las propiedades de textura de un alimento son determinadas por la estructura y la interacción interna de los diferentes componentes que lo integran, y que van a determinar la percepción de las características mecánicas y sensoriales por parte del consumidor.

Las propiedades de textura de un alimento se modifican por diferentes causas como son el proceso, la calidad de las materias primas, transporte, empaque, etc... Dentro de estas causas, el procesado de los alimentos es el que tiene mayor efecto en la modificación de las características finales del producto. De ahí la importancia de conocer como afectan las diferentes condiciones de un proceso determinado, como lo es el secado las características de textura y tener un mejor control sobre estas variables.

El secado es la remoción de agua de los alimentos mediante la utilización de altas temperaturas que pueden provocar cambios en los constituyentes como son proteínas, carbohidratos, azúcares, grasas, etc... modificando la estructura interna del alimento.

Por otro lado, la eliminación del agua provoca la concentración de los sólidos totales pudiendo cambiar la interacción entre estos componentes. Este fenómeno es de difícil evaluación puesto que va a depender de los cambios que sufran los diferentes componentes durante el proceso de secado y el estado final de los mismos una vez concluido el proceso. Un claro ejemplo

de esto es la formación de una corteza en la superficie del producto provocada por la cristalización de los azúcares.

Otro fenómeno que va a afectar la textura de un deshidratado con aire caliente es la velocidad de eliminación del agua del producto. Esto provoca una contracción, proporcional a la salida progresiva del agua, la cual es más acusada cuando la deshidratación es lenta y se produce a pesar de la resistencia de los elementos estructurales de los tejidos (Singh, 1998). Este fenómeno provoca que la textura de la superficie sea diferente a la del centro del producto (Matz, 1982).

La evaluación de cómo los fenómenos anteriores modifican la textura del mango manila deshidratado se realiza mediante el análisis de TPA que aporta una mejor información para el entendimiento de las propiedades de textura de los alimentos, ya que permita evaluar y seguir los cambios de cada uno de estos parámetros como resultado de los cambios en la formulación y procesado de los alimentos (Bourme, 1998).

Los resultados obtenidos para los diferentes parámetros de textura indican que la dureza del mango manila se incrementa con la temperatura de secado, obteniéndose el máximo a 60°C (3.34 lb). Lo anterior se presenta únicamente para la dureza primera. El valor de dureza segunda no se modifica con la temperatura de secado.

El efecto del aditivo (chile piquín) tiene un efecto adicional sobre la dureza a la primera mordida para el mango. Las partículas de chile forman una corteza sobre la superficie del mango incrementando la resistencia al punzón de prueba.

En el caso de la cohesividad del mango sin aditivos, el valor máximo se obtuvo a 55°C (0.533) no habiendo diferencia entre los resultados obtenidos a 50°C y 60°C (0.5 para ambas temperaturas). Al realizar la comparación de los valores obtenidos contra el mango enchilado, en este último caso el parámetro cohesividad es menor en todas las temperaturas de estudio y se obtuvo el máximo valor a 50°C (0.466). A partir de esta temperatura se observa una disminución en este valor. Se precisa recordar que este parámetro es adimensional puesto que es el producto de la relación del área obtenida bajo la primera y segunda compresión en la gráfica obtenida de TPA.

La gomosidad del mango se incrementa con la adición del chile piquín a las temperaturas de estudio. El máximo valor para el mango sin aditivos y el adicionado con la Mezcla No. 1 (chile piquín), se obtiene a 50° C. A partir de esta temperatura la gomosidad no se modifica con la temperatura de secado.

Los resultados obtenidos para el producto propuesto en este estudio, que son rebanadas de mango manila deshidratado a 50°C con la mezcla de aditivos No. 3, indican que la dureza primera (1.526 lb) es mayor para este producto que en el caso del mango sin aditivos (0.650 lb) o con chile piquín (1.391 lb). Lo mismo ocurre en el caso de la dureza segunda cuyo valor obtenido fue de 1.073 lbf para el caso del mango adicionado con la mezcla No. 3.

Por otro lado, se registraron los parámetros de resorteo y masticabilidad para el caso del mango con la mezcla de aditivos No. 3, no registrados para las demás pruebas (mango sin aditivos y mango enchilado) bajo las mismas condiciones de estudio. Esto indica que la mezcla de aditivos que incluye diferentes compuestos modifica las propiedades mecánicas de la superficie del mango.

Los resultados de la evaluación de TPA obtenidos en este trabajo indican que las propiedades de textura del mango manila se modifican por la temperatura de secado y la adición de componentes de diferente naturaleza como lo son gomas, carbohidratos, sal y ácido, mismos que determinan el mecanismo de secado del mango, propiciando cambios en la estructura del mismo que afectan las propiedades mecánicas del alimento.

El calor provoca cambios físicos y reacciones químicas en la célula y en el espacio intercelular. Estos cambios producen modificación de la estructura celular y de la composición química de la fruta. Por lo tanto, los cambios químicos y estructurales están interrelacionados (Anzaldúa et al, 1984).

La utilización de temperaturas mayores a los 50°C no modifican la cohesividad y gomosidad del producto final. Por otro lado, la dureza primera se incrementa de manera notoria con el aumento de la temperatura. Esto tiene importancia comercial, ya que el uso de altas temperaturas requiere un mayor gasto de energía que sería innecesario, y que por el contrario repercute la calidad del producto al hacerlo más "duro" a la mordida.

Los resultados obtenidos para el caso del mango manila propuesto como un producto con posibilidades comerciales indican que la modificación de los parámetros de textura se debe principalmente a que, la temperatura de secado y la alta humedad del producto, ocasionan que los componentes adicionados tales como goma xantana, se hidrate en la superficie del mango y actúe como gelificante modificando las propiedades mecánicas.

Por otro lado, la adición de componentes como sal (NaCl), azúcar o ácido cítrico pueden propiciar una salida rápida del agua en conjunto con la temperatura de secado y por lo tanto modificar la estructura del mango. Asimismo la formación de una corteza en la superficie al adicionar estas sustancias modifican la respuesta del producto.

El uso de altas temperaturas puede ocasionar cambios en los elementos estructurales de los alimentos tales como la celulosa. En diferentes estudios en zanahorias y nabos se ha observado adelgazamiento de la pared celular y se supuso que esto indicaba un cambio en la celulosa. Se ha observado deterioro de la pared celular en chícharos deshidratados y en papas (Anzaldúa et al, 1984).

El análisis instrumental es importante para evaluar diferencias en la textura de los alimentos que no serían detectadas tan fácilmente por jueces sensoriales. Sin embargo, la evaluación sensorial se usa para comparar resultados de pruebas instrumentales. La percepción de las características sensoriales de un alimento para ser aceptado por parte de un consumidor, incluye propiedades mecánicas y sensoriales (sabor, olor, color). La evaluación de uno solo de estos parámetros no es concluyente en cuanto a la aceptabilidad de la textura global del mango deshidratado.

El análisis de TPA arroja resultados importantes sobre como se modifican las propiedades mecánicas del mango deshidratado como resultado de las diferentes condiciones de proceso y aditivos empleados. El secado del mango manila modifica la estructura interna del alimento, lo cual se refleja en las propiedades mecánicas siendo detectables estos cambios como un parámetro de control de calidad. Adicionalmente permite la valoración de condiciones de proceso de secado que implican un gasto de energía innecesario y que pueden afectar la calidad del producto final.

4 CONCLUSIONES.

- 4.1 La cinética de secado del mango manila se lleva a cabo bajo condiciones del periodo decreciente. Esto significa que depende de la temperatura y del grosor del producto y no se ve afectado por parámetros como la velocidad del aire de secado.
- 4.2 La velocidad de secado del mango manila se incrementa con el aumento de la temperatura, sin embargo el producto obtenido a altas temperaturas presenta un daño térmico mayor, por lo que la calidad del mismo se ve afectada.
- 4.3 Se propone un modelo exponencial para el análisis de la cinética de secado del mango manila en un secador comercial. El modelo representa adecuadamente los resultados experimentales y permite estimar la velocidad de secado.
- 4.4 Dicho modelo se puede utilizar en un simulador de proceso de secado del mango manila o bien en el diseño de secadores a nivel comercial o industrial.
- 4.5 La agregación de aditivos a las rebanadas de mango produce deshidratación osmótica, que aunada al secado con aire caliente disminuye el tiempo de operación si se compara con el proceso que solamente utiliza aire caliente.
- 4.6 Los aditivos no modifican la cinética de secado del mango manila, ya que el único periodo que se presenta es el decreciente.

- 4.7** Las rebanadas de mango con diferentes mezclas de aditivos presentan atributos de textura con valores superiores a los obtenidos para el mango sin aditivos a las diferentes temperaturas de estudio.
- 4.8** La dureza primera del mango se incrementa con la temperatura de secado, mientras que la dureza segunda permanece invariable. La cohesividad y gomosidad del mango se modifican por el empleo de las diferentes mezclas de aditivos y la temperatura de secado.

5 RECOMENDACIONES.

- 5.1** La realización de pruebas sensoriales es recomendable para comparar los resultados obtenidos de las pruebas instrumentales y validar la aceptación del producto deshidratado por parte de un público consumidor.
- 5.2** Se debe realizar un análisis de pérdida de vitamina C y establecer un nivel de fortificación para suplir la pérdida de esta vitamina durante el proceso de secado.
- 5.3** Se debe investigar si el cambio de color atribuido a las diferentes temperaturas de secado es debido al proceso o bien a la actividad enzimática.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1 Aguilera M. A., (1998), "Estudio de Mercados de Mango Deshidratado a Estados Unidos y Reino Unido" , Tesis Profesional ITESO.
2. Anónimo, (1998). De nuestra cosecha: Colima, quinto lugar en la exportación del mango, Claridades agropecuarias No. 31. pp. 3-9
3. Anónimo, (1998). Producción mundial de mango, Claridades agropecuarias No. 31. pp. 13-15
- 4 Anzaldúa – Morales A. Y Brennan J.G. (1989), "La medición de la textura de frutas y verduras II. Frutas y verduras procesadas por medio de calor", Tecnología Alimentaria, Vol 19, No. 2.
- 5 Anzaldúa – Morales A. Y Brennan J.G. (1989), "La medición de la textura de frutas y verduras IV. Cambios en el alimento debidos al procesamiento térmico y relación entre la materia prima y el producto", Tecnología Alimentaria, Vol 19, No. 4.
6. Bourne, Malcom C., (1978), "Texture Profile Analysis", Food Technology.
7. BANCOMEXT (1998). "El mango en el mercado internacional", Negocios Internacionales BANCOMEXT, México. pp 8-11.
8. Cabrera R.L. y Moreira H.T., (1986), "Deshidratación del ajo I. Mecanismo de secado en las diferentes fases del proceso", Tecnología Química, Año VII, No. 1.

9. **Cabrera R.L., Ana C., López R. y Moreira H.T., (1985), "Influencia de los parámetros de secado sobre la calidad de dos variedades de cebolla deshidratada", Tecnología Química, Año VI, No. 2.**
10. **Cabrera R.L., y Herrera M., (1982), "Influencia de la temperatura de secado en el pardeamiento de las papas deshidratadas", Tecnología Química, Año III, No. 1.**
11. **Calvo C., Valadez A. Y Durán L. "Métodos instrumentales de medida de la textura de confituras. Relación con el contenido en fruta", Heladería-Confitería Latinoamericana,**
12. **Centurión A., Gonzalez S., Jasso J., Rivas I. Y Sauri E., (1995). "Principales cambios en la composición de cuatro variedades de mango (Mangifera Indica L.) durante las ultimas etapas de su desarrollo y evaluación de su calidad", Tecnología de Alimentos, Vol 30, No. 1, pp. 15-23.**
13. **Costell E., Fiszman M. Y Durán L., (1997). "Propiedades Físicas I. Reología de sólidos y textura", en Temas en tecnología de alimentos, Vol I, IPN, México, pp 241-252.**
14. **Damasio M.H., Capilla C., Costell E. Y Durán L. (1990). " Influencia de la composición en las propiedades mecánicas de geles mixtos de kapp-carragenato-goma de garrofín y goma guar. Resistencia a la penetración", Revista Agroquímica de Tecnología Alimentaria, Volumen 30, No. 1.**
15. **Desrosier N. W. (1982), "Conservación de los alimentos", Ed. CECSA, España. pp 157-161**

16. Fellows P. (1994), "Tecnología del procesado de los alimentos, principios y prácticas", Ed. Acribia, Zaragoza España. pp289-293.
17. Fenema O.R., (2000), "Química de los alimentos", Ed Acribia, Zaragoza España, pp 585-587.
18. FAO (1993). Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala. Santiago Chile. pp 151-158
19. García Alvarado M.A. y De La Cruz Medina J., (1990), "Modelación de las propiedades termodinámicas y de Transporte involucradas en la deshidratación comercial de mango manila",
20. Geankoplis C.J. (1991), "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias", 5a. Impresión, Ed. CECSA, México.
21. González R. Z. (1995), "Secado de manzanilla (Matriarca Chamomilla L.) en un secador de charolas con flujo forzado de aire". Tesis Profesional USB.
22. Hardeep S.G., Khanna G. (2002). "Effect of skim milk powder, soy protein concentrate and sucrose on the dehydration behaviour, texture, color and acceptability of mango leather", Journal of Food Engineering,
23. Hohlberg A., Aguilera J.M., (1990), "Deshidratación del kiwi", Panorama económico de la agricultura, Vol 13, No. 73, pp. 29-32.
24. Chefel J.C., Chefel H. y Besancon P., (1989), "Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos" V2, Ed Acribia Zaragoza España, pp 205-235.

25. López R.M. (1982), "Evaluación preliminares de algunas variedades de mango para industrializar", Ciencia y Técnica en la agricultura, cítricos y otros frutales, Vol. 5, No. 3, pp. 133-145.
26. Matz A. Samuel (1982), "Food Texture", The Avi Publishing, Co.,CN. U.S.A.. pp 206-216.
27. Monsalve-Gonzalez, A., Barbosa-Cánovas, G. y Cavalieri, R.P., (1993), "Mass transfer and textural changes during processing of apples by combined methods", Journal of Food Science, Vol 58, No. 5, pp 1118-1124.
28. Mora M.J., (1997), "Mango: manual de recomendaciones", Sistema Institucional de Investigación Agropecuaria, Ed. Esparza, pp 19-30.
29. Mookowitz R., "Food texture Instrumental and sensory Measurement", Ed. Marcel Dekker, N.Y., U.S.A., pp 20-24.
30. Moreira H.T., Villegas I.M. y Cabrera R.L., (1986), Efecto de la temperatura de secado sobre la calidad del ajo deshidratado. Evaluación del olor y la pungencia", Tecnología Química, Año VII, No. 4.
31. Nieto A., Castro M.A., Alzarnora S.M., (2001). " Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango", Journal of Food Engineering, pp 175-185.
32. Pavón – Melendez G., Hernández J.A., Salgado M.A., García M.A (2002). " Dimensionless análisis of the simultaneous heat and masstransfer in food drying", Journal of Food Engineering, Vol 51, pp 347-353.
33. Perry R. H. and Chilton C., (1986), "Manual del Ingeniero Químico", Vol. I, 5a edición, Mc Graw Hill.

34. S.A.G.A.R. (2001), *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola Nacional*, Dirección General de Estudios, Información y Estadística Sectorial, México.
35. Salunkhe, D.K., Kadam, S.S., (1995). "Handbook of fruit science and technology, production, composition, storage and processing", Ed. M. Dekker, N.Y., pp. 144-155.
36. Salunkhe D.K., Desai B.B., (1984). "Postharvest Biotechnology of fruits", C.R.C. Press Inc, Vol. 1, pp 83-87.
37. Saucedo Veloz, C. Esparza Torres F. y Lakshminarayana, S. (1978), "Efecto de las temperaturas de refrigeración en la incidencia de daños por frío y calidad de la maduración en frutos de mango (*Mangifera indica*)", Nueva época, Chapingo, No 11-12.
38. Singh. P.R., (1998), "Introducción a la Ingeniería de los Alimentos", Ed Acibia, Zaragoza España. pp 393-397.
39. Szczeniak A (1963). "Objective measurements of food texture". *Journal of Food Science*, Vol 28, pp 410-420.
40. Ulloa J.A. y Jaubert G. Sergio F. (1990), "Deshidratación osmótica de cubos de mango (*Mangifera indica*). Estudio del efecto de tamaño de partícula, temperatura y tiempo de deshidratación", *Universidad y Ciencia*, Vol 7, No 14.
41. Vernon, E.J., Lever, C.A. y Torreblanca, A., (1983)," *Estudios de las propiedades viscoelásticas de productos alimenticios*", *Tecnología de Alimentos*, Vol. 13, No. 2.

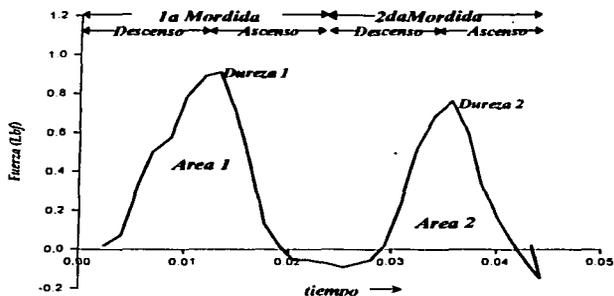
42. Wong-U.J.M, Ontivieros-N.S., Avena-B.R., Ponce de León-G.L., Bosques-M.E., Cruz-G.L.A. y Báez-Sañudo R. (1997). "La Industria Mexicana del Mango: Compromiso de Calidad", *Horticultura Mexicana*, Vol 5, No. 2, pp 234-238.

43. Yahia, E.H., Quintero, R., Silveira, G.M, Zazueta Morales, J.J.,(1994), "Deshidratación osmótica de hojuelas de mango como pretratamiento al deshidratado con aire caliente", *Tecnología de alimentos*, Vol 29, No 5-6, pp. 27-33.

APENDICE.

La siguiente gráfica, en referencia a la sección 3.4, es una curva de fuerza contra tiempo obtenida experimentalmente para los ensayos de análisis de perfil de textura. Esta gráfica corresponde al análisis del mango deshidratado a 60° C sin aditivos.

Se pueden apreciar los diferentes parámetros que se obtienen de la curva. La tabla mostrada proporciona los valores obtenidos para los diferentes parámetros de textura determinados.



Parámetro	Unidad	Valor
Dureza 1era	Lbf	0.97
Dureza 2da	Lbf	0.82
Cohesividad	-	0.4
Gomosidad	lbf	0.4

A.1 Curva típica de TPA obtenida experimentalmente.