

5  
25



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

ELABORACION DE UNA SALSA TIPO "VALENTINA"  
A PARTIR DE CHILE MORITA (*Capsicum annum  
abreviatum*) DESHIDRATADO EN UN SECADOR  
DE CHAROLAS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO EN ALIMENTOS  
P R E S E N T A :  
LUCIA CARRILLO CASTULO

ASESOR: I. A. ANA MA. DE LA CRUZ JAVIER.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1997

271783



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Elaboración de una salsa tipo "Valentina", a partir de  
chile morita (capsicum annuum abbreviatum) deshidratado en  
un secador de charolas.

que presenta la pasante: Lucia Carrillo Cástulo  
con número de cuenta: 9107733-6 para obtener el TITULO de:  
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 23 de Septiembre de 199 8

PRESIDENTE	<u>I.B.Q. Norma E. Casas Alencaster</u>	<i>Norma Casas Alencaster</i>
VOCAL	<u>I.Q. Oscar Germán Ibarra</u>	<i>Oscar Germán Ibarra</i>
SECRETARIO	<u>I.A. Ana Ma. De la Cruz Javier</u>	<i>Ana Ma. De la Cruz Javier</i>
PRIMER SUPLENTE	<u>I.A. Ma. Eugenia Ramírez Ortiz</u>	<i>Ma. Eugenia Ramírez Ortiz</i>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.B.Q. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza</u>	<i>Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza</i>

## AGRADECIMIENTOS

♣ A mis padres: por su apoyo, cariño y confianza en todo momento, ya que esto no hubiera sido posible sin ustedes. Gracias

♣ Por su ejemplo y amor a mis abuelitos: Lucía y Emilio.

♣ A mis hermanos Arturo, Dany, gracias por su apoyo. A David por ser tan buen amigo, que esto te sirva de estímulo en lo que resta de tu carrera Académica.

♣ Gracias a ti Roberto por querer compartir este momento conmigo, por tu Apoyo y Amor.

♣ A mis tíos: Graciela e Isidoro.

♣ A mis primos: Claudia, Juanita e Israel.

♣ Gracias a todos mis amigos que han estado conmigo: Lorena, Lilia, Moyo, Analía, Raúl, Alejandro, Perla, Gabriel, Beto, Erika V., Kitzia e Isabel.

## RECONOCIMIENTOS

♣ Agradezco a mi asesora I.A. Ana María de la Cruz Javier por su disposición y confianza al permitir asesorar este trabajo.

♣ Gracias a quienes me dieron parte de su tiempo para la realización de este trabajo: L.A.P.R.Y.F.A.L, P.I.A. Claudia Calzada Espinoza, I.A. María Eugenia Ramírez O., a la Familia Muñoz Reina, P.I.A. Pabel Gabriel Velázquez López y I.A. Roberto Velázquez Sánchez.

## INDICE

RESUMEN.....	1
OBJETIVOS.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO	
1. Chile.....	6
1.1.1 Antecedentes históricos.....	6
1.1.2 Clasificación.....	7
a) Botánica	
b) Comercial	
1.1.3 Composición química.....	9
1.1.4 Variedades cultivadas en México.....	11
1.1.5 Principales usos del chile.....	12
1.1.6 Producción a nivel nacional.....	16
1.2 Generalidades de Secado.....	22
1.2.1 Definición.....	22
1.2.2 Métodos de conservación.....	22
1.2.3 Clasificación y tipos de secadores.....	27
1.2.4 Descripción del secador de charolas o bandejas.....	28

1.2.5 Descripción del fenómeno de secado con aire.....	32
1.2.6 Periodos de secado.....	34
1.2.7 Variables que influyen en la velocidad de secado.....	39
a) Efecto de la temperatura y la humedad	
b) Efecto de la velocidad del aire	
c) Efecto de la recirculación del aire de secado	
d) Efecto de la geometría y tamaño	
1.3 Evaluación del color del chile morita.....	42
1.4. Caracterización reológica.....	46
1.5 Actividad de agua ( $A_w$ ).....	48
1.5.1 Definición.....	49
1.5.2 Métodos de determinación de $A_w$ .....	50
1.5.3 Importancia de los isoterma de sorción en secado.....	51

## CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1 Cuadro Metodológico.....	53
2.2 Definición de la salsa valentina.....	57
2.2.1 Descripción del proceso.....	57
2.2 Diagrama de bloques.....	60
2.3 Variables.....	61
2.4 Desarrollo experimental.....	61
2.5 Diseño experimental.....	62

### CAPITULO III. RESULTADOS

Etapa 1. Selección del chile.....	68
Act. preliminar 1. Determinación y selección por color del chile morita fresco.....	68
Act. preliminar 2. Contenido de humedad del chile morita fresco y seco.....	70
Act. preliminar 3. Pretratamiento del chile morita.....	71
Act. preliminar 4. Caracterización del equipo de secado.....	71
Act. preliminar 5. Determinación de las condiciones de proceso.....	73
Actividad 2.2 Determinación del tiempo de secado del chile morita.....	76
Obj. Particular 3. Predicción de la ecuación para el tiempo de proceso en función de la temperatura, geometría y masa.....	85
Actividad 4.1 Evaluación de las características fisicoquímicas y reológicas de la salsa valentina comercial.....	86
Actividad 4.2 Elaboración de la salsa tipo "valentina".....	88
Actividad 4.3 Prueba de degustación.....	91
CONCLUSIONES.....	94
ANEXOS.....	96
BIBLIOGRAFIA.....	113

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Componentes del horno rústico para procesar chile chipotle.....	26
Figura 1.2. Vista superior de una deshidratadora regional.....	27
Figura 1.3. Clasificación de secadores por método de operación.....	30
Figura 1.4. Curva típica de secado.....	36
Figura 1.5 Isoterma de sorción del chile.....	52
Figura 1.6 Secador de charolas experimental.....	73
Figura 1.7 Cámara de secado.....	74
Figura 1.8 Colorímetro y procesador de datos Minolta.....	98
Figura 1.9 Termobalanza digital .....	99
Figura 1.10 Difusión en estado no estacionario para cilindro, placa y esfera.....	106
Figura 1.11 Potenciometro jenco.....	109

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Determinación del tamaño del chile serrano.....	9
Cuadro 1.2. Especificaciones para los grados de calidad del chile verde.....	10
Cuadro 1.3. Composición química de diferentes clases de chile.....	13
Cuadro 1.4. Características de las principales variedades de chile.....	14
Cuadro 1.5. Principales regiones productoras de chile y área sembrada.....	18
Cuadro 1.6. Exportación de chile verde bell y seco.....	19
Cuadro 3.1 Porcentaje de croma y luminosidad del chile.....	69
Cuadro 3.2 Resultados de análisis estadístico de la determinación de color.....	69
Cuadro 3.3. Contenido de humedad del chile morita.....	71
Cuadro 3.4 Condiciones de proceso durante la experimentación.....	75
Cuadro 3.5 Tiempos en el período constante.....	82
Cuadro 3.6 Tiempos en el período decreciente.....	83
Cuadro 3.7 Difusividades a diferentes temperaturas del chile morita.....	84
Cuadro 3.8 Tiempo total de proceso de secado.....	84
Cuadro 3.9 Características de pH, °Brix y densidad.....	87
Cuadro 3.10 Características reológicas de la salsa valentina.....	88
Cuadro 3.11 Formulación final de la salsa valentina experimental.....	88
Cuadro 3.12 Características fisicoquímicas de la salsa valentina experimental.....	89
Cuadro 3.13 Características reológicas de la salsa valentina experimental.....	90

Cuadro 3.14 Comparación de resultados obtenidos entre la salsa valentina experimental y comercial.....	90
Cuadro 3.15 Cuestionario aplicado para la prueba de degustación.....	92
Cuadro 3.16 Valores de t de Student.....	92
Cuadro 3.17 Resultados de la cinetica de secado del chile morita.....	102
Cuadro 3.18 Intervalos de viscosidad del viscosimetro Brookfield.....	111

## INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1.1. Principales regiones productoras de chile.....	20
Gráfica 1.2. Precio promedio del chile de árbol fresco de 1993 a 1996.....	20
Gráfica 1.3. Precio promedio del chile jalapeño de 1993 a 1996.....	21
Gráfica 3.1 Efecto de la temperatura de secado en chile morita entero.....	77
Gráfica 3.2 Efecto de la temperatura de secado en chile entero pretratado.....	77
Gráfica 3.3 Efecto de la temperatura de secado en el chile morita partido.....	78
Gráfica 3.4 Efecto de la temperatura de secado en rodajas de chile morita.....	78
Gráfica 3.5 Velocidad de secado del chile morita entero.....	80
Gráfica 3.6 Velocidad de secado del chile morita pretratado.....	80
Gráfica 3.7 Velocidad de secado del chile morita partido.....	81
Gráfica 3.8 Velocidad de secado en rodajas de chile morita.....	81

## INDICE DE ANEXOS

Anexo I. Nomenclatura.....	96
Anexo II. Equipo de medición de color.....	97
Anexo III. Equipo de medición de humedad.....	99
Anexo IV. Procedimiento de operación del secador de charolas.....	100
Anexo V. Secuencia de cálculo para el tiempo total de secado.....	101
Anexo VI. Obtención de coeficientes de difusión.....	105
Anexo VII. Procedimiento para obtener la ecuación de predicción del tiempo de secado.....	107
Anexo VIII. Medición de pH.....	109
Anexo IX. Equipo de medición de propiedades reológicas.....	110
Anexo X. Valores críticos para t de student.....	112

**ELABORACIÓN DE UNA SALSA TIPO "VALENTINA", A PARTIR DE CHILE MORITA  
(*Capsicum annum abbreviatum*) DESHIDRATADO EN UN SECADOR DE CHAROLAS.**

## **RESUMEN**

Se estudió el proceso de deshidratación de chile jalapeño variedad morita (*Capsicum annum abbreviatum*) en un secador de charolas; se varió: temperaturas del aire de secado (70,80 y 90°C), y geometría del chile, y se evaluó la humedad inicial y final así como el tiempo final de secado. Se calcularon los tiempos en el período constante y decreciente así como el total para posteriormente analizar su cinética de secado.

Se encontró un período de velocidad constante muy corto, predominando el período decreciente. También se evaluó movimiento del agua hacia la superficie del chile, encontrando que este se lleva a cabo por difusión, por lo cual se calcularon los valores de difusividad mediante la segunda ley de Fick para una placa. Los coeficientes de difusión que se encontraron son del orden de  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s; el tiempo de proceso de secado se puede reducir si el chile morita es pretratado con NaOH al 2% y la temperatura del aire es de 90°C.

Se obtuvo un producto final que fue una salsa tipo "Valentina", a partir del chile ya deshidratado. Esta salsa tiene características similares a la salsa existente en el mercado, también se hicieron pruebas de calidad así como microbiológicas y de degustación, los resultados obtenidos fueron satisfactorios, en cuanto a higiene y se concluye que puede competir con la salsa "Valentina" comercial existente.

## OBJETIVOS

### Problema

Estudiar las condiciones de operación del secador de charolas, que permita mejorar las características del chile morita en polvo.

### Objetivo General

Determinar los parámetros de secado del chile morita que proporcionen las mejores condiciones de calidad, variando temperaturas y geometría, para su posterior uso en la elaboración de una salsa tipo "Valentina".

### Objetivos Particulares

- 1.- Elegir el tipo de chile por medio de una investigación bibliográfica para llevar a cabo su deshidratación y posteriormente para la elaboración de una salsa tipo "Valentina".
- 2.- Evaluar el efecto de la temperatura de secado y geometría del chile y obtener las condiciones que proporcionen el menor tiempo de secado.
- 3.- Obtener una ecuación de predicción para el tiempo de proceso en función de la temperatura, geometría y masa de alimentación.
- 4.- Elaborar la salsa tipo "Valentina", así como evaluar sus características finales, a partir de pruebas reológicas, fisicoquímicas y microbiológicas, para compararla con la existente en el mercado y establecer si es viable para su comercialización.

## INTRODUCCIÓN

El chile tiene una larga tradición cultural en México, tanto por su amplia distribución en el país como por su consumo en gran variedad de platillos mexicanos, por ejemplo moles típicos según la región, salsa, en polvo como condimento, chiles en nonada, rajas, chiles rellenos, consumo en fresco, encurtidos por industrias enlatadoras, etc. Así como su valor nutritivo ya que es rico en minerales, proteínas, grasa, carbohidratos. Además fue objeto de tributo en la época prehispánica (7)(20)(27).

Las principales zonas productoras de chiles son: Norte (chile mirasol, ancho y jalapeño), Pacífico Norte (chile bell, anaheim, serrano y ancho), Bajío (chile ancho, pasilla y mulato), Golfo (chiles jalapeños y serrano), Sur (chile costeño, jalapeño y serrano) y Mesa Central (chile poblano y serrano). (9)(10)

Los chiles que presentan mayor demanda en México son: chile ancho, pasilla, mulato, cascabel, guajillo, mora, morita, esto es para la elaboración de platillos típicos; por lo que respecta a la industria de encurtidos el chile serrano, jalapeño y chipotle tienen una gran demanda y consumo, mientras que otros son destinados a la elaboración de colores. (8)(13)(21)(23)

Se le da el nombre de chile jalapeño o cuaresmeño sólo en estado fresco, este presenta un tamaño aproximado de 4 a 8 cm de largo. Dentro de este tipo de chiles se encuentra el mora y morita, la diferencia entre estos y el jalapeño es el estado de madurez; es decir estos últimos son totalmente rojos y miden entre 2 y 5 cm y de 3 a 6 cm de largo respectivamente.

El chile chipotle es otra variedad pero sólo se le da ese nombre cuando ha sido procesado. El chile con el cual se va a trabajar es el jalapeño variedad o tipo morita, ya que este se puede consumir en fresco o industrializado para consumirse en seco.

Existen diferentes métodos de secado para la conservación de este producto, muchas veces estos métodos dependen de las condiciones climáticas de la zona, así como el tipo de producto a secar. Esta es una manera de conservar el fruto ya que en su estado fresco es muy perecedero. (21)(23)

Tradicionalmente el chile es secado por el agricultor empleando métodos como el deshidratado al sol y en hornos, es por esto que se propone una alternativa de secado específicamente en un secador de charolas con lo cual se pretende mejorar las características de secado con el propósito de disminuir el tiempo total del proceso y de esta manera disminuir los costos, así como obtener un producto con una mayor calidad.

De este modo se pretende aplicar otro tipo de chile en la elaboración de salsas tipo "valentina", como es el caso del chile morita ya que tradicionalmente la salsa valentina se elabora con chile de árbol, o puyas , o guajillo y esta salsa es consumida en grandes cantidades en nuestro país lo que da una gran ventaja para implementar otro sabor y dar una alternativa diferente al consumidor.

Por todo esto se puede afirmar que el chile ha sido y seguirá siendo parte importante o indispensable en la alimentación de los mexicanos.

## CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

### 1. Chile

#### 1.1. Antecedentes históricos.

Con el nombre de chile, pimienta o ají se conoce a diversas especies del género *Capsicum*; aunque es más frecuente que a los frutos picantes se les nombre como chile y ají y a los dulces, pimienta. Aunque más que nada tales términos corresponden a determinadas regiones del mundo: en México y parte de Centro América se les dice chile; en el Caribe es más usado ají; en Sudamérica a los frutos picantes se les llama ajís y a los dulces pimientos; en España se utiliza el término pimienta para los frutos dulces y el de guindilla para los picantes; en Bolivia a los frutos picantes se les llama rocoto. (27).

En la actualidad se encuentran chiles en estado silvestre, pero sobre todo en México, en donde se mencionan más de 100 tipos diferentes de chile, por lo que algunos autores lo consideran como el centro primario del chile y como secundario Los Andes. (7).

México es considerado como el lugar donde se produjo la domesticación, pero además es el centro de diversificación varietal, pues sólo en la República Mexicana es posible encontrar un número considerable grande de tipos y subtipos.

Se informa en estudios realizados en el valle de Tehuacán, Puebla, donde se encontraron semillas de chile, las que se supone tiene una antigüedad de aproximadamente 10 mil años. En estas fechas es probable que era colectado y no cultivado; el cultivo se inicio hace aproximadamente 5 mil años. De manera que este fue una de las primeras plantas domesticadas en México, junto con el maíz, el amaranto, la calabaza y el frijol tepari. (20).

### 1.1.2 Clasificación

#### a) Botánica

El chile pertenece a la familia de las Solanáceas y al género *Capsicum*, esto fue instituido por Tournefort en 1700 y confirmado en 1742 por Lenneo en su "Genera Plantarum". La gran variedad de tipos de chiles ha traído como consecuencia confusión en lo referente a la taxonomía de los mismos. Debido a lo anterior Lenneo describe sólo dos especies: *C. annum* y *C. frutescens* basándose principalmente en estudios del carácter de duración de su ciclo vegetativo. (7).

#### b) Comercial

Este tipo de clasificación se realiza de acuerdo con la norma oficial mexicana, para el chile verde (*Capsicum* sp) NOM-FF-25, establece las características que debe cumplir el fruto en estado fresco de las variedades Serrano y Jalapeño destinado al consumo humano. (29)

En esta norma define al chile verde como el fruto de la planta cultivada perteneciente a la familia de las solanáceas y del género capsicum, que tiene forma y tamaño característicos de color verde y sabor picante. El chile serrano se clasifica de acuerdo a los grados de calidad:

MÉXICO EXTRA

MÉXICO NUM. 1

MÉXICO NUM. 2

Quando el producto no se ha clasificado conforme a la norma, este debe ser identificado para indicar el grado de calidad. Las especificaciones sensoriales para las tres categorías son:

- 1.- Forma, color, sabor y olor característicos de la variedad.
- 2.- Bien desarrollados, enteros, sanos, limpios, consistencia firme y textura lisa y brillante.
- 3.- Sin humedad exterior anormal.
- 4.- Prácticamente libres de pudrición o descomposición y de defectos de origen mecánico, entomológico, microbiológico y genético-fisiológico. (30)

En los Cuadros 1.1 y 1.2 (pag. 9 y 10 ) se muestra la clasificación comercial de los chiles serrano y jalapeño, de acuerdo a las tres categorías citadas anteriormente, siguiendo la Norma Oficial Mexicana de chiles serrano y jalapeño.

### 1.1.3 Composición Química

Los chiles verdes o secos son considerados como un alimento porque al ser ingeridos proporcionan cierta cantidad de proteínas, agua, grasas, carbohidratos, calcio, fierro, vitamina A, riboflavina, niacina y vitamina C, que varía según la clase de chile y la época de cosecha del mismo.(16)

Además los chiles contienen Capsaicina que es un compuesto de la oleorresina del Capsicum, se ha determinado que es el principio pungente o picante del chile. Thresh (1876), aisló por primera vez la capsaicina y fue él quien le dio ese nombre. (9)

Cuadro 1.1 Determinación del tamaño del chile serrano.

TIPO	JALAPEÑO	SERRANO
TAMAÑO	LONGITUD (cm)	LONGITUD (cm.)
A	MENOR DE 3 cm.	MENOR DE 2 cm.
B	3.0-4.5	2.0-3.5
C	4.6-6.0	3.6-5.0
D	6.1-7.5	5.1-6.5
E	MAYOR DE 7.5	MAYOR DE 6.5

Ref. (29)

Cuadro 1.2 Especificaciones para los grados de calidad de chile verde

ESPECIFICACIONES	MÉXICO EXTRA	MÉXICO 1	MÉXICO 2
TAMAÑO	C, D	B, C, D, E	A, B, C, D, E.
DEFECTOS	PRACTICAMENTE LIBRE DE DEFECTOS	MÁXIMO UN DEFECTO MENOR	MÁXIMO UN DEFECTO MAYOR
PRESENTACIÓN	SELECCIÓN RIGUROSA Y ASPECTO GLOBAL UNIFORME EN CUANTO A TAMAÑO	VARIACIONES EN CUANTO A HOMOGENIDAD DE TAMAÑO	VARIACIONES EN CUANTO A HOMOGENIDAD DE TAMAÑO
TOLERACIÓN DE TAMAÑO	5 %	10 %	15 %
DEFECTOS CRÍTICOS MAYORES MENORES ACUMULATIVO PUDRICIÓN	PUNTO DE EMBARQUE 4 % 6 % 10% 0.5%	PUNTO DE ARRIBO 5% 7% 12% 12% 1%	PUNTO DE ARRIBO 5% 7% 12% 12% 1%

Ref. (29)

En 1899 Micko, después de purificar la sustancia obtuvo su punto de fusión (63.5 °C- 64 °C). La oleoresina es de color rojo oscuro o rojo anaranjado, soluble en éter etílico, éter de petróleo y disolventes orgánicos. (9)

La capsaicina se ha usado por mucho tiempo como contrairritante en el tratamiento del lumbago, neuralgia y reumatismo, también se usa en el caso de diarreas severas y de atonía estomacal e intestinal. En la industria alimentaria la oleoresina juega un papel importante como materia prima en la química de sabores y para la sustitución de hierbas y especias en la industria.

El chile también contiene Capsantina que es el pigmento carotenoide del Capsicum ya maduro, cuando se extrae es un polvo rojo oscuro, soluble en alcohol, éter de petróleo y cloroformo. (9, 13).

En el Cuadro 1.3 (pag. 13 )se muestra la composición química de los diferentes tipos de chiles, tanto en estado fresco como en seco. Donde se puede apreciar que el chile jalapeño contiene un 89.3 % de humedad, la cual es importante ya que con este tipo de chile se llevaron a cabo las pruebas de secado, y por lo tanto estudiaremos su cinética de secado. (16).

#### **1.1.4 Variedades cultivadas en México**

Los diferentes tipos de chiles se cultivan en los 24 Estados de la República Mexicana, destacando tanto en superficie como en producción: Sinaloa, Zacatecas, Chihuahua, Nayarit, San Luis Potosí, Veracruz, y Guanajuato. (7)(8)(27)

En el Cuadro 1.4 (pag. 14) se muestran los principales tipos de chiles así como sus características. Se puede decir que la importancia del cultivo de chile no sólo es por su uso diverso en los platillos, si no también por ubicarse como una de las opciones que generan mayores ingresos para el productor y por ser una fuente generadora de empleos.

### 1.1.5 Principales usos del chile

La comercialización de chile seco tiene tres destinos principales: el consumo directo, la producción de moles y salsas y la producción de colorantes.(10)

El principal chile seco que se produce en México es el ancho en sus tipos rojo y mulato, le siguen el mirasol y el pasilla. El predominio del ancho se explica por sus múltiples usos: consumo en moles, salsas y colorantes, también se utiliza en fresco en forma de chile poblano (50% del total), (21). El mirasol se prefiere por su buen sabor, poco picoso y su intenso color rojo que le favorece para muchos platillos mexicanos, se consume en seco, enteros en caldos, en polvo como condimento, una pequeña porción se usa en verde. Los desechos del mirasol también son muy demandados por la industria de colorantes. (10)(21)

Cuadro I. 3. Composición química de diferentes clases de chile

TIPO DE CHILE	Valor Energético cal	Humedad %	Proteína mg	Grasa mg	Chos. mg	Fibra mg	Ceniza %	Ca mg	P mg	Fe mg	Vit A mg	Tiamina mg	Rivoflavina mg	Niacina mg	Ac. Ascórbico mg
Ancho	334	6.7	11.5	9.2	62.7	35.2	3.6	94	450	5.7	130	0.18	1.3	5.3	73
Cascabel	312	-----	12.9	6.4	63.6	-----	-----	142	-----	4.7	1716	0.22	0.86	8.9	55
Cristalino	32	-----	1.7	0.2	7.3	-----	-----	21	-----	3.3	13	0.12	0.06	1.0	252
Chilaca	32	-----	1.5	0.3	7.3	-----	-----	40	-----	4.0	194	0.08	0.06	1.0	178
Chilillo	101	-----	3.5	3.8	17.0	-----	-----	64	-----	2.1	41	0.92	0.10	3.9	20
Chipotle	293	-----	14.1	6.3	57.6	-----	-----	255	-----	6.1	459	0.28	0.72	9.8	0
Diente de perro	749	85.9	1.6	0.7	11.1	1.5	0.7	22	32	1.9	360	0.07	0.09	1.1	125
Diente de perro seco	330	5.7	18.2	9.6	57.5	26.0	9.0	224	340	12	1.28	0.13	2.83	4.1	-----
Dulce	581	90.5	1.2	0.2	7.0	1.3	0.6	5	27	0.0	145	0.08	0.00	1.0	114
Fresco	938	88.8	1.9	0.6	8.0	2.2	0.7	20	28	1.7	470	0.09	0.13	1.5	91
Guajillo	6302	6.5	11.6	8.6	56.7	24.6	3.0	140	448	10	1.10	0.19	0.94	4.8	100
Habanero	31	-----	2.2	0.8	5.3	-----	-----	18	-----	2.4	59	0.11	0.16	0.7	94
Habanero seco	10293	18.8	7.0	6.4	62.3	21.3	5.5	126	154	7.3	3.41	0.12	0.94	4.0	32
Jalapeño	836	89.3	1.2	0.2	8.7	1.0	0.6	6	20	0.7	150	0.06	0.08	2.1	35
Largo	18	-----	2.7	0.2	2.6	-----	-----	46	-----	3.6	42	0.21	0.15	1.4	120
Mulato	298	88.6	9.6	5.1	65.0	1.8	0.6	98	34	12	43.33	0.22	0.73	5.3	108
Pasilla	237	90.5	12.7	9.6	60.5	1.3	0.6	154	27	6.3	9030	0.37	1.20	8.6	68
Pimentón	49	85.9	1.6	0.7	11.1	1.5	0.7	22	32	1.9	360	0.07	0.09	1.1	125
Piquín fresco	56	84.8	2.8	1.7	9.9	4.0	0.8	29	49	1.4	490	0.14	0.09	1.6	103
Poblano	38	88.6	2.6	0.6	10.4	1.8	0.6	30	34	3.3	41	0.14	0.06	1.0	364
Serrano	35	84.8	2.3	0.4	7.2	4.0	0.8	35	49	1.6	56	0.14	0.05	1.3	65
Trompito	33	-----	1.6	0.3	7.5	-----	-----	42	-----	3.6	79	0.09	0.07	1.2	320

NOTA: LA COMPOSICIÓN ES POR CADA 100 mg DE PORCIÓN COMESTIBLE

Cuadro 1.4 Características de las principales variedades de Chile

TIPO DE CHILE	CARACTERÍSTICAS	FORMA Y TAMAÑO	VARIEDADES
JALAPEÑO	Es un Chile picante, sus frutos son firmes, aromáticos de buen sabor y aspecto atractivo.	Es cónico de forma cilíndrica y mide de 3 a 5 cm. de ancho y de 4 a 8 cm. de largo.	El típico Candelaria ó Peludo Espinalteco ó pinalteco Morita, Mora "Chipotle".
ANCHO	Conocido como poblano, en fresco debe ser verde intenso y brillante, en seco en color rojo oscuro.	Forma cónica y cuerpo cilíndrico ó aplanado que mide de 8 a 15 cm. de largo.	Mulato Miahuateco Chorro Ramo
SERRANO	Los frutos son rectos, alargado ó encorvados, muy picantes de color verde que varía desde claro hasta muy oscuro.	Miden de 2 a 10 cm. de largo, con cuerpo cilíndrico y epidermis lisa.	Balín Típico Largo
HABANERO	Son de color verde cuando tiernos y al madurar pueden ser anaranjados, amarillos. Presenta hasta 6 frutos por axila.	Varía de redondo a oblonga, su tamaño puede ser de 2 a 6 cm de largo por 2 a 4 cm. de ancho.	Inia Uxmal

Ref. (8)(21)

Se estima que el 60% de la producción de Chile jalapeño se destina a la industria de encurtidos, el 20% se consume en fresco y el 20% se utiliza en la elaboración del "chipotle". (22)

El Chile ancho se cosecha sin madurar o bien, maduro. El fruto sin madurar se consume en verde, sea en rajas o para chiles rellenos. Cuando se cosecha maduro se seca para utilizarlo en la elaboración de salsas, de moles, aproximadamente el 50% de la producción nacional se comercializa en verde. Del porcentaje que se deshidrata, un

15% se destina a la industria para la elaboración de chile en polvo y a la extracción de colorantes, los cuales a su vez se utilizan en la elaboración de alimentos para la industria avícola y de otros productos de consumo humano que requieren el uso de colorantes naturales. (9)(10)(21)

El chile serrano, actualmente es el de mayor aceptación en el mercado nacional para consumo en fresco. Más del 90% de la producción nacional se utiliza el fresco o verde; de ahí que este tipo es conocido también con el nombre de "chile verde" y sirve para la elaboración de salsas de diferentes tipos o se consume en forma directa. El resto de la producción se utiliza en encurtidos para la industria enlatadora. También se ha observado una ligera tendencia del mercado en la utilización del chile serrano deshidratado; los volúmenes utilizados en esta forma son realmente muy pequeños. (10)(21)(23)

El chile habanero se consume en estado fresco en un 75%, mientras que un 22% se utiliza en la industria de la elaboración de salsas y el 3% se destina a la obtención de semilla. Mientras que el chile cora, en su mayor porcentaje de la producción lo absorbe regionalmente la industria y un porcentaje menor se comercializa en el mercado libre.

En años de mucha producción aumenta el porcentaje para la industria, mientras en años de reducida producción se incrementa el porcentaje destinado al consumo directo. Sin embargo, para años normales podemos estimar que el 50% de los chiles de primera y segunda calidad se transforman en moles y el 50% restante se destina al consumo directo, mientras que los chiles de mala calidad y desechos se destinan casi en su totalidad a la industria de colorantes y en menores cantidades a la industria de salsas. (10)(21)

En el reglamento de aditivos para alimentos como el código de Regulación Federal de E.E.U.U (CFR), contemplan a la oleoresina de pimiento o de paprika como un colorante natural permitido. Por lo que teniendo en cuenta que tanto el pimiento paprika como los chiles que se utilizan con el mismo fin pertenecen a la misma especie (*Capsicum annum*); se puede decir por lo tanto que la oleoresina de los chiles podría estar dentro de los colorantes naturales. (5)(18)(34)

Los chiles rojos tienen una mezcla compleja de carotenoides. La intensidad de color del *Capsicum*, factor de calidad esencial en este producto, depende de su contenido en carotenoides especialmente capsanteno y capsarubeno; durante el almacenamiento los carotenoides se oxidan lo que provoca la pérdida de intensidad de color. Peter A. Biacs realizó una investigación acerca de los carotenoides tomando como materia de análisis variedades de "*Capsicum annum*", variedades amarillas y rojas, encontró que de los carotenoides más abundantes en "*Capsicum annum*" eran: B-caroteno, Criptoxantina, Luteína, Zeaxantina, Violaxantina, Capsantina, y Capsorubina. (5)(18)(44)

### 1.1.6 Producción a nivel nacional

En el cuadro 1.5 (pag. 18 ) así como en la gráfica 1.1 ( pag. 20 ) se indican las principales regiones productoras de Chile y áreas sembradas en la República Mexicana, donde se puede apreciar que la zona norte presenta el mayor volumen de hectáreas sembradas, destacando 3 tipos de chiles: mirasol, ancho, jalapeño. La zona pacífico norte, destaca por la siembra de Chile Bell, Anaheim, Caribe, fresco, serrano, y ancho. Le sigue en importancia la zona golfo con la siembra de Chile jalapeño, serrano.

En la zona del bajo la mayor producción es de chile ancho, pasilla y mulato. Las zonas de menor producción son sur y mesa central. De acuerdo a esta información es importante mencionar los estados productores de chile para exportación son: Sinaloa, que aporta el 85% de la producción le sigue Sonora con el 7%, Tamaulipas con el 3.4%, Nayarit con el 2.1% y el resto corresponde a Jalisco 0.6% y Veracruz con 0.5%.(38)

La mayor parte se siembra durante los meses de agosto y diciembre y la mayor actividad de producción para exportaciones se concentran en los meses de diciembre a abril. El período de cosecha para una fecha de siembra dada, dura de 2 a 4 meses, realizando cortes con intervalos de 12 a 15 días.(36)

Los estados de Sinaloa y Sonora son los que tienen una tecnología más avanzada para este cultivo y ahí es donde se obtienen los mejores rendimientos de chile bell. (37)

Por otra parte en el Cuadro 1.6 (pag. 19) se proporciona información de las exportaciones que realiza México a diferentes países en volumen de chile verde bell fresco y seco, así como su costo en dólares. Estos datos fueron proporcionados por la Secretaria de Comercio y Fomento Industrial y Subsecretaria de Comercio Exterior. (39)

Cuadro 1.5 Principales regiones productoras de chile y área sembrada

REGIÓN	TOTAL (ha)	ÁREA	PRINCIPALES TIPOS DE CHILE
GOLFO: VERACRUZ TAMAULIPAS	12,900	10,400 2,500	JALAPEÑOS Y SERRANO
BAJÍO: GUANAJUATO AGUASCALIENTES JALISCO	12,260	6,240 3,100 2,920	ANCHOS, PASILLA Y MULATOS
MESA CENTRAL: PUEBLA HIDALGO	6,530	3,330 3,200	POBLANOS, MIAHUATECOS, SERRANOS Y ANCHO.
PACÍFICO NORTE: SINALOA NAYARIT SONORA Y BAJA C. N.	13,500	7,500 3,800 2,200	BELL, ANAHEIM, CARIBE, FRESNO, SERRANO Y ANCHO
NORTE: ZACATECAS DURANGO S.L.P. CHIHUAHUA	29,100	16,600 3,000 6,500 4,500	MIRASOL, ANCHO Y JALAPEÑO
SUR: GUERRERO YUCATAN OAXACA	7,200	2,000 700 4,500	JALAPEÑO, COSTEÑO Y HABANERO
GRAN TOTAL	81,490		

NOTA: NO SE INCLUYEN ALGUNAS REGIONES QUE SE PRODUCEN EN UN ÁREA MENOR A 500 ha COMO MORELOS, CHIAPAS, NUEVO LEÓN, COAHUILA Y MICHOACÁN.

Ref. (40)

Donde se puede apreciar que México es uno de los principales abastecedores de chile a los mercados de E.U. y Canadá principalmente en los meses de noviembre a mayo, en los cuales la producción en campo en estos países es limitada, en Chile Bell en fresco, Caribe y Anaheim.

La demanda interna de Chile verde en todas sus variedades es cubierta prácticamente en su totalidad con el volumen de la producción nacional, razón por la cual las importaciones han sido tradicionalmente insignificantes. (39)

Cuadro 1.6 Exportaciones de chile verde bell y seco

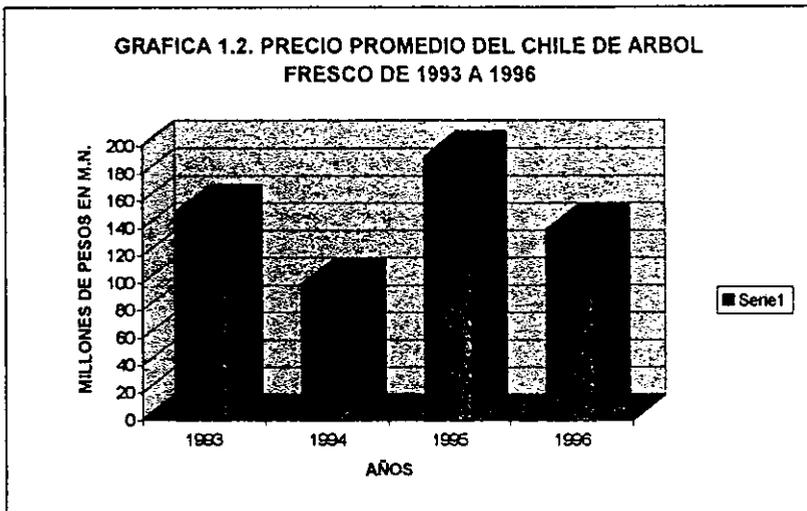
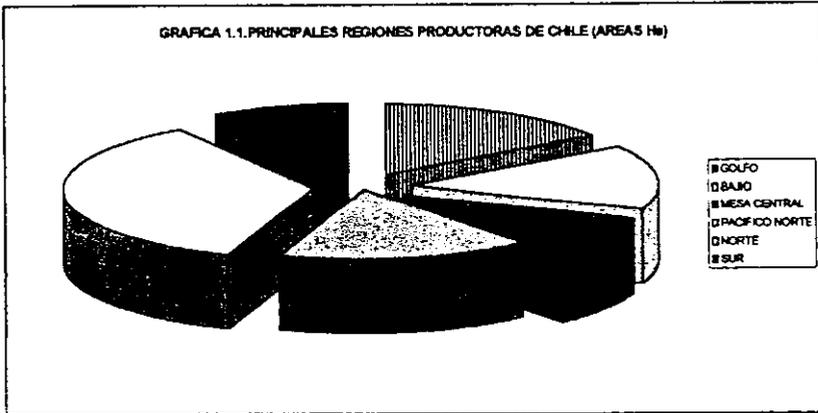
PAIS	ENERO - DICIEMBRE 93		ENERO - DICIEMBRE 94	
	COSTO (USD)	VOLUMEN (TON)	COSTO (USD)	VOLUMEN (TON)
BELICE	158	210	1,076	1,214
CANADA	8,791	19,465	6,580	14,156
CHINA	393	30	0	0
E. U.	4,831,733	36,736,317	12,198,726	55,655,607
ETIOPIA	0	0	1,862	5,800
GRECIA	250	875	0	0
GUATEMALA	0	0	11,317	3,040
HONG KONG	0	0	1,458	329
JAPÓN	367	400	188,631	141,460
REINO UNIDO	0	0	1,076	2,727
SUECIA	679	740	2,176	745
TOTAL	4,842,371	36,758,037	12,412,902	55,825,078

Ref. (39)

Debido a que el chile es un producto altamente perecedero, el valor de la producción es fuertemente determinada por la ley de la oferta y la demanda, exceptuando los deshidratados los cuales tienen precios más o menos estables. El precio de los secos varían con base en los tipos; así, el pasilla se cotiza mejor seguido del ancho, árbol seco y por último el guajillo; sin embargo, la fluctuación del costo durante todo el año en cada uno de estos tipos permanece con pequeñas variantes excepción hecha cuando alguna zona tiene problemas de producción por efectos de climas, heladas, inundaciones o alguna epidemia.(40)

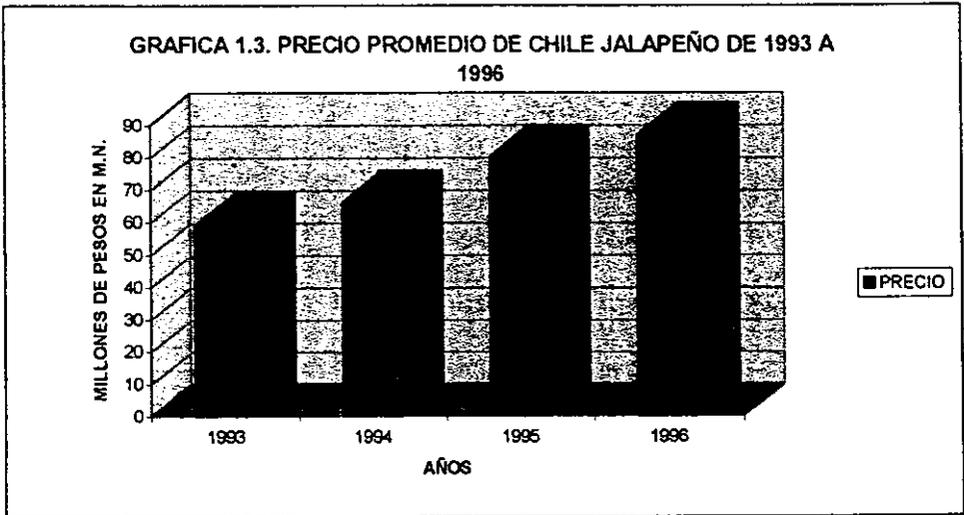
En condiciones normales, la oferta de este producto es abundante en los meses de enero, febrero y marzo. Durante los meses finales de la época de estibaje, abril y mayo, la oferta se reduce, para incrementarse nuevamente hasta septiembre y finalmente disminuye en los últimos meses del año. (22)

En Chile para el consumo en fresco existen fuertes variaciones de precio durante el año por ejemplo el chile de árbol fresco, jalapeño, serrano, la producción es estable de junio a octubre por lo cual se mantiene con pequeñas alzas y bajas en los precios.



Sin embargo, en invierno, cuando hay pocas zonas de producción se registra una alza considerable en el precio, con excepción del jalapeño el cual permanece más o menos constante debido a que un gran volumen de su producción se destina a la industria y esta fija el precio. (22)

En las gráficas 1.2 a 1.4 se puede observar que el chile de árbol fresco alcanzó su mejor precio en 1995, mientras que el chile jalapeño lo hizo en 1996, junto con el chile de árbol seco; las bajas tal vez que sufrieron fue por algún problema climático.



## **1.2 Generalidades de secado**

### **1.2.1 Definición**

El secado o deshidratación se puede definir ya sea como la eliminación ó separación de un líquido que se encuentra contenido en un sólido por medio de procedimientos térmicos. (14)(28)

La deshidratación desempeña un papel importante en cuanto a conservación, almacenamiento y transporte entre otros factores relacionados con los alimentos. Las razones por las que se deshidrata un producto son múltiples, pero generalmente se pueden mencionar las siguientes:

- 1.- Facilitar la manipulación en algún tratamiento posterior.
- 2.- Permitir la utilización satisfactoria del producto final.
- 3.- Reducir los costos de transporte.
- 4.- Aumentar la capacidad de algunos equipos o instalaciones del proceso.
- 5.- Conservar un producto durante su almacenamiento y su transporte.
- 6.- Aumentar el valor y la utilidad de los desperdicios o los subproductos obtenidos.

### **1.2.2 Métodos de conservación**

De todos los métodos de conservación que existen sólo se hablará de la deshidratación y en especial la del Chile ya que es de interés en este trabajo.

Debido a las condiciones climáticas de las zonas productoras de Chile y por las características inherentes de cada uno de los tipos que se cultiva, el deshidratado se

lleva a cabo en diferentes formas. Esencialmente se pueden dividir los sistemas de deshidratado en dos grandes grupos: aquellos que usan el calor del sol y los que necesitan calor artificial. (10)(21)

#### 1.- Deshidratado al sol

Existen tres sistemas que se utilizan con frecuencia:

##### a) Secado en la planta

Este sistema, es considerado como el más rústico, se utiliza en Zacatecas y parte de San Luis Potosí y es casi exclusivo de los chiles tipo Mirasol. El proceso consiste en dejar que los frutos desarrollen y maduren en la planta, hasta que se presenta la primera helada, lo cual ocurre generalmente en la primera quincena de noviembre. En este momento se suspenden los riegos; antes que la planta se seque completamente, se arrancan con la raíz y luego se forman montones, los cuales se dejan en el terreno con el fin de que los frutos terminen de secarse. Posteriormente, el agricultor separa ahí el fruto de la planta para su empaque y comercialización. (10)(21)

##### b) Secado en pacerás

Este sistema se usa en el estado de Aguascalientes y se emplea principalmente para los chiles tipo ancho, mulato y pasilla. Consiste en cosechar los frutos cuando éstos han madurado completamente. Inmediatamente después, los frutos se trasladan a las "pacerás", las cuales son cámaras de aproximadamente un metro de ancho por 40 ó 50 metros de longitud, con un ligero declive para evitar encharcamiento en caso de lluvia; el declive debe estar orientado preferentemente hacia el sur para conseguir una mayor exposición a los rayos solares. Sobre el suelo limpio y parejo, se extiende una capa de paja o de hierba seca la cual permite el paso del aire y del agua, en caso de lluvia, evitando así que los frutos se pudran. Los chiles son volteados diariamente

para que el secado sea uniforme y evitar daños como quemaduras causadas por el sol. Este sistema tiene una duración variable, ya que depende de las condiciones climáticas y generalmente se obtiene un chile seco en 20 ó 30 días. (10)(21)

### c) Secado en pacerás modificadas

En este sistema, a diferencia del anterior, los frutos ya colocados en la pacera se cubren con una tira de polietileno transparente y se colocan piedras en las orillas del polietileno, a un metro de distancia, aproximadamente. Esta operación permite la circulación del aire por debajo del plástico, disminuyendo la humedad contenida por los frutos. Con este método los frutos se voltean con menos frecuencia, por lo general, se exponen dos veces por cada cara en los 8 ó 10 días que dura el proceso. Este método ahorra por lo menos la mitad del tiempo y más de la mitad de mano de obra y evita la pudrición de frutos ocasionada con el agua de las lluvias. (10)(21)

## 2.- Deshidratado artificial

En los métodos antes citados se requiere de mucho tiempo para lograr la deshidratación, lo cual significa que no son prácticos cuando se trata de secar grandes volúmenes.

### a) Secado en hornos

Este sistema se aplica en los estados de Aguascalientes, Zacatecas y Norte de Guanajuato. En estos lugares se procesan chiles de tipo ancho, mulato, pasilla y mirasol. Todos los hornos están contruidos en forma similar y únicamente difieren en el combustible que utilizan, la longitud de los túneles y las temperaturas de secado.

En la mayoría de las cámaras de secado se cuenta con una puerta corrediza a nivel del piso, la cual sirve como regulador de la temperatura (como se muestra en la fig. 1.1). El tiempo de secado está en función de la temperatura y del tipo de chile del que se trate; las temperaturas varían en todos los casos entre 60°C y 80 °C. El tiempo de secado en los tipos mirasol y pasilla es de 6 a 28, horas y de 36 para el tipo ancho, cuando la temperatura se mantiene o supera los 80°C el chile se quema ligeramente, lo cual determina su calidad. La mayoría de las secadoras utiliza diesel como combustible o resistencias eléctricas y son pocas las que queman gas, petróleo o una mezcla de ambos, en partes iguales, ya no se usa el carbón vegetal o leña como combustible por la escasez y el costo de estos productos. (10)(21)

#### b) Secado y ahumado

Otro método de deshidratación artificial es el que se usa para la elaboración de los chiles "chipotles". En este método se utiliza el chile tipo jalapeño maduro, el cual se somete simultáneamente a un proceso de secado mediante calor y ahumado.

El horno se construye bajo el nivel del piso y consiste en una entrada alimentadora de combustible y una campana en forma de trapecio invertido. Es importante señalar que entre la entrada alimentadora de combustible y la cámara, existe un túnel que sirve para quemar los leños que producirán calor y humo constante; de ninguna manera, debe haber exposición directa pues se corre el riesgo de un secado disparado y de producir daños al fruto por quemaduras. En la parte superior de la cámara se colocan vigas de madera para sostener al piso en el cual se colocan los frutos; este piso se hace con varas de bambú de 1.5 a 2.5 cm. de ancho y debe quedar bien nivelado para que el aire caliente circule uniformemente.

Cabe señalar que puede haber diferencias notables en la calidad del producto obtenido dependiendo del punto de maduración de los frutos al corte, así como de las condiciones de humedad, temperatura y tiempo de secado a que se sometan los frutos en el proceso de deshidratación. Existe ya una tecnología modificada que permite el ahumado y secado de los frutos a nivel comercial. (10)(21)

Fig. 1.1 Componentes de horno rústico para procesar chile "chipotle".

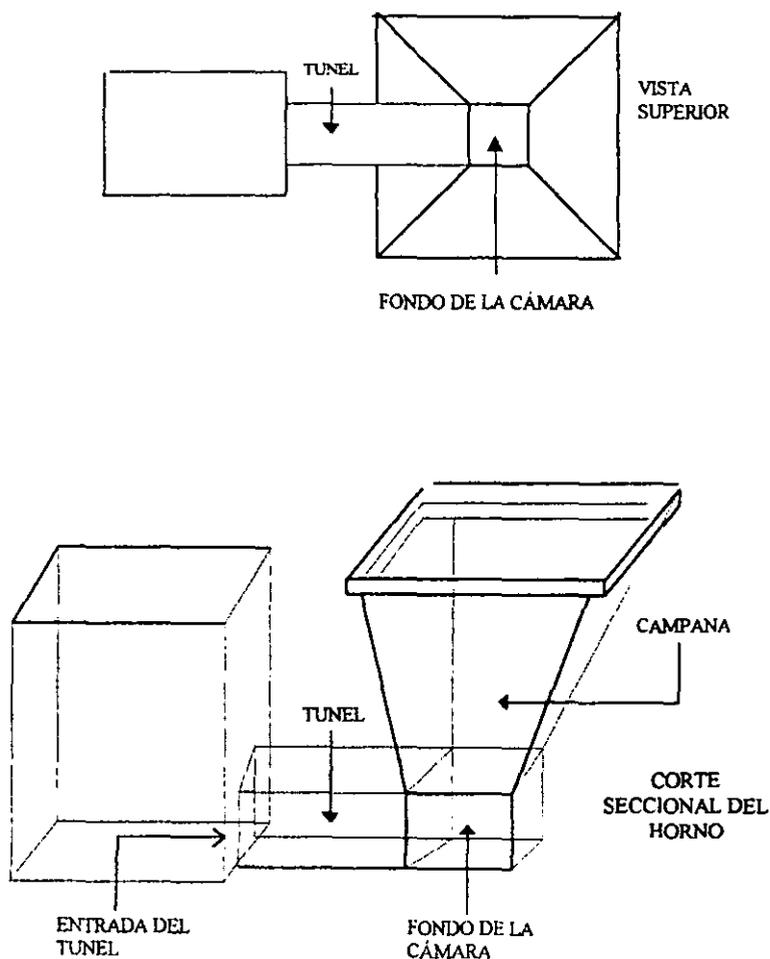
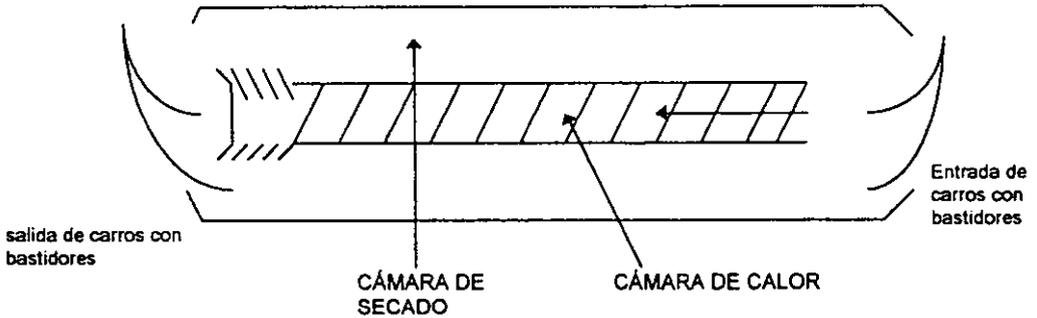


Fig. 1.2 Vista superior de una deshidratadora regional.



Ref. (10)

### 1.2.3 Clasificación y tipos de secadores

La clasificación de los secadores puede ser de diferentes formas, sin embargo la más usual es según el método de operación que se basa en las características y propiedades físicas del producto húmedo manejado. Es más apropiado para utilizarlo como guía en la selección de un grupo de secadores para su estudio preliminar en un problema de desecación y otra que se basa en el procedimiento para transmitir el calor al producto húmedo y revela diferencias en el diseño y el funcionamiento de los secadores.

En la Figura No. 1.3 (pag. 30) se puede observar que los secadores pueden dividirse genéricamente en :

- A) Directos continuos y discontinuos
- B) Indirectos continuos y discontinuos

A su vez los secadores directos e indirectos se subclasifican según la forma de transferencia de calor:

- A) Calentamiento por conducción
- B) Calentamiento por convección

#### **1.2.4 Descripción del secador de charolas o bandejas**

Los secadores de charolas, esencialmente consisten en unas cámaras o compartimentos donde se ubican las bandejas que contienen el material a secar. Generalmente, las bandejas se colocan sobre bastidores que pueden moverse como unidades para colocarlos en la cámara o ser retirados de ella. Una de las modificaciones de este tipo de secadores es el de bandejas con carretillas, donde las bandejas se colocan en carretillas rodantes que se introducen al secador. Esto significa un considerable ahorro de tiempo, puesto que las carretillas pueden cargarse y descargarse fuera del secador. (14)

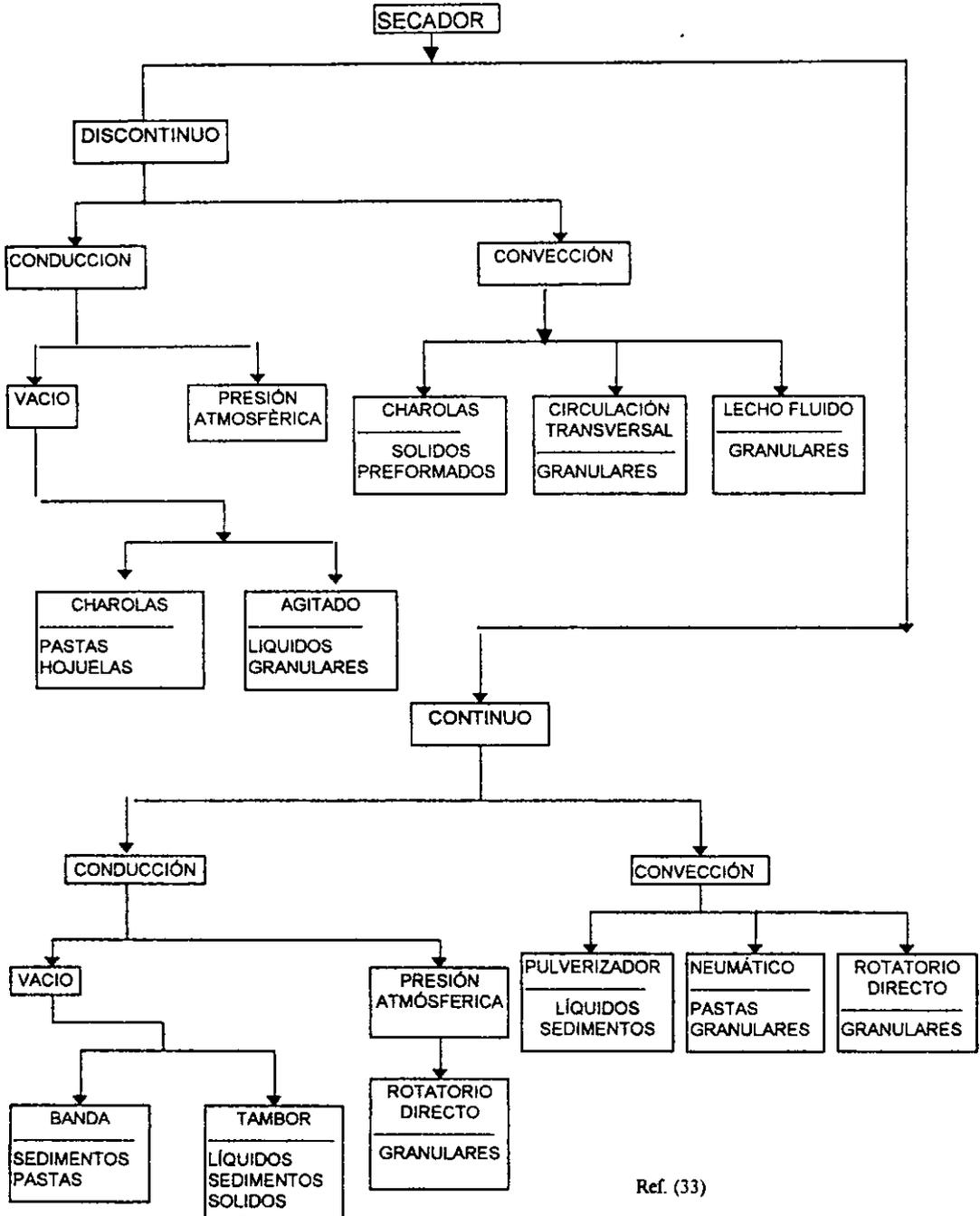
El secado se realiza con aire caliente u otro gas, soplando sobre las bandejas mediante uno o varios ventiladores. En algunos casos las bandejas están perforadas y el aire de secado entra a través del material que esta sobre ellas. A veces circula el aire por convección natural y se utilizan también distintos dispositivos para la distribución y recirculación del aire.

Generalmente el calor se suministra mediante vapor de agua el cual circula por serpentines dispuestos dentro o fuera del compartimiento de secado, pudiendo también utilizar calefacción eléctrica.

Las bandejas se fabrican de cualquier material que sea compatibles primero con el producto a secar y segundo con las condiciones de corrosión y temperatura principalmente. En general, se prefieren las bandejas metálicas, ya que conducen el calor con mayor facilidad. Cuando las características del material a secar y el manejo lo permitan, las bandejas deben tener bases perforadas para proveer una mayor superficie de desecación. (33)

Esta clase de secadores es útil para secar casi cualquier tipo de material. Su costo operativo es alto debido a que el trabajo requerido es relativamente grande y esta consideración restringe su uso a producciones inferiores a 50 Kg/h de material seco. Como opera en forma discontinua, las condiciones de secado varían durante cada ciclo.

Fig. 1.3 Clasificación de secadores por método de operación.



La forma más conveniente de sistematizar el estudio de los secadores de bandejas discontinuos a presión atmosférica, consiste en la forma de circulación del aire en el secador (28):

a) Circulación del aire por convección natural

La eficiencia es baja y su uso se limita a las instalaciones más primitivas y antiguas; usa dos conjuntos de bastidores intercambiables con bandejas y calefacción mediante serpentines de vapor en los costados a nivel del piso careciendo obviamente de un ventilador. (33)

b) Circulación forzada de lado a lado sobre las bandejas

Este tipo de secadores consta de un ventilador que recircula el aire caliente sobre la superficie de las bandejas, paralelamente a las mismas, teniendo persianas ajustables que sirven para ayudar a obtener un flujo de aire razonablemente uniforme. Estas unidades tienen un regulador de tiro ajustable, ubicado a la salida para controlar la producción de aire recirculable.

c) Circulación forzada a través de bandejas perforadas

En esta clase de secadores el aire de secado pasa a través del lecho del material, colocado en una bandeja perforada; es por esto que el aire de secado entra más íntimamente en contacto con el producto, aumentando de este modo el área superficial del producto expuesta al aire y permitiendo que se lleve más rápido y además homogéneo el secado del producto. Típicamente la disposición es similar a la

de un secador de bandejas común, provisto con los bastidores de corriente necesarios. Se usan comúnmente bastidores fijos para evitar dificultades en la colocación de bastidores móviles, de tal forma que no circule aire por donde no debe. Las bandejas pueden ser fijas ó móviles.

El rendimiento real de un secador está en función de la naturaleza del producto a secar; los factores de mayor incidencia son: el contenido inicial y final de humedad, la temperatura máxima de secado, la proporción del secado que ocurre en el periodo de velocidad decreciente y la forma de la curva de secado a velocidad decreciente. Esta incidencia del producto en el funcionamiento global del secador, es particularmente notable en el caso de los secadores de bandeja a presión atmosférica, que pueden trabajar con cualquier tipo de material. (28)

### **1.2.5 Descripción del fenómeno de secado con aire**

En el secado con aire la velocidad de extracción de agua depende de las características del aire, de las propiedades del alimento y del diseño del secador.

La humedad puede estar ligada al producto en diversos grados. Ciertos términos que se utilizan para describir el contenido de humedad son (43):

**Humedad de equilibrio:** es el contenido de humedad de una sustancia que está en el equilibrio con una presión parcial dada de vapor.

**Humedad no ligada:** se refiere a la humedad de una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio igual que la del líquido puro a la misma temperatura.

**Humedad ligada:** se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio menor a la del líquido puro a la misma temperatura.

**Humedad libre:** es la humedad contenida en una sustancia en exceso de la humedad de equilibrio. Sólo puede evaporarse la humedad libre (el contenido de humedad libre de un sólido depende de la concentración del vapor en el gas).

En muchos casos la mayor parte del agua está retenida débilmente, pudiéndose considerar, para fines de secado, como agua libre en la superficie.

Desde el punto de vista físico, la eliminación de agua de un alimento húmedo se hace normalmente retirándola bajo la forma de vapor. En la operación intervienen dos fenómenos fundamentales:

1.- La transferencia de calor que aporta la energía necesaria para la transformación del agua en vapor (principalmente calor latente de vaporización).

2.- La transferencia de masa del agua a través y fuera del alimento.

Entre los parámetros que permiten regular la intensidad de estos fenómenos se encuentran: la superficie de intercambio, el contenido de humedad y presión de vapor de equilibrio del agua contenida en el producto, humedad, temperatura, presión y movimiento del aire que rodea el alimento. Del valor de estos parámetros dependen la velocidad de deshidratación, las características del producto, el rendimiento energético del secador, el costo de la operación, etc.

### 1.2.6 Periodos de secado

El comportamiento del proceso de secado de los alimentos se estudia experimentalmente a través de la medición de la pérdida de peso de un producto sólido en función del tiempo. A partir de esta información es posible construir las curvas de secado, las cuales son una representación gráfica del proceso y se obtienen llevando sobre un diagrama varias relaciones como: contenido de agua del producto en función del tiempo de secado, relación entre el contenido de agua del producto entre su contenido de agua inicial en función del tiempo, velocidad de secado en función del tiempo y la velocidad de secado en función del contenido de agua del producto. A partir de ellas se puede obtener los valores de humedad crítica, tiempo de secado, coeficientes de transferencia de masa, coeficientes de difusión, energía requerida y los periodos de secado.

Generalmente hay dos partes principales en la curva de velocidad de secado, un periodo de velocidad constante y uno de velocidad decreciente. (43)

En el periodo de velocidad constante ocurre la evaporación superficial de la humedad no ligada. en la Fig. 1.4 (pag. 36) se muestra la curva de velocidad de secado para condiciones constantes; empezando con un tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior a la que tendrá al final y la velocidad de evaporación irá en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al principiar la operación, la velocidad de secado puede iniciarse en un punto A'. En este periodo inicial de ajuste con estado inestable suele ser bastante corto y generalmente se ignora en el análisis de los tiempos de secado. (14).

Se ha demostrado que la velocidad de secado en esta etapa se establece mediante un balance de las necesidades caloríficas para la evaporación y la velocidad con la cual el calor alcanza la superficie.

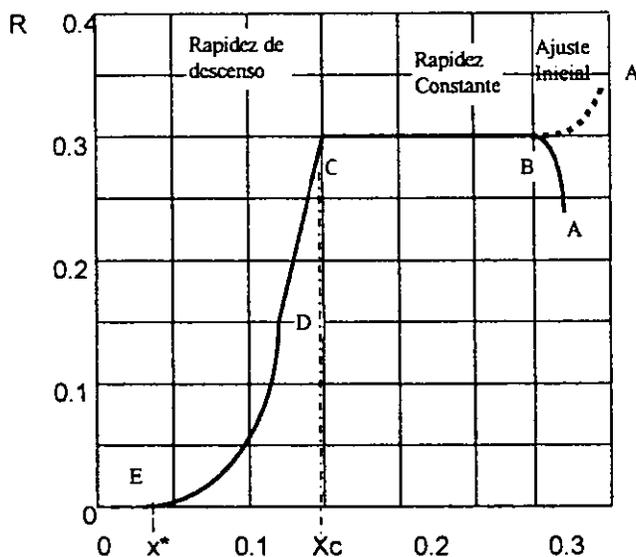
Si un sólido se encuentra inicialmente muy húmedo, la superficie estará cubierta con una delgada película de líquido, y cuando se expone a aire relativamente seco, la evaporación tendrá lugar desde la superficie.

La velocidad a la cual se evapora la humedad puede describirse en función de  $K_y$ , un coeficiente de transferencia de masa del aire y de la humedad entre el aire en la superficie líquida  $Y_s$  y la corriente principal  $Y$ .

La velocidad de secado en esta etapa se puede acelerar modificando las condiciones del aire, por ejemplo: aumentando su temperatura, aumentando su velocidad y disminuyendo su humedad. Los efectos físicos que se pueden presentar en el producto al aumentar la velocidad de secado en esta etapa son: menor encogimiento del producto y en ciertos casos mayor pérdida de constituyentes volátiles.

(11)(12)(43)

Fig. 1.4. Curva típica de secado



Ref. (43)

$X = \text{Kg. humedad/Kg. de sólido seco}$

Ya que los productos alimenticios contienen agua en su interior, después de un cierto tiempo de secado a velocidad constante, se observa que el agua se separa más lentamente.

El paso de la velocidad de secado constante a una velocidad más lenta tiene lugar a diferentes contenidos de humedad para los distintos productos alimenticios, a este valor de humedad se le conoce como humedad crítica  $X_c$ .

Muchos alimentos no presentan un periodo de secado a velocidad constante; algunos productos presentan un cambio de pendiente después de un periodo de disminución de velocidad lenta, por lo que en estos casos el concepto de velocidad de secado constante es una aproximación útil. (12)

El final del periodo de velocidad constante significa que el agua ha dejado de comportarse como si estuviera sobre una superficie libre y que otros factores distintos a las diferencias de presión controlan la velocidad de secado, la cual disminuye progresivamente; a esta etapa se le denomina periodo de velocidad decreciente. Los factores que regulan la velocidad de secado en esta etapa son complejos y están regidos por el movimiento interno del agua por difusión, por movimiento capilar a través del alimento, por gradiente de presiones que obliga a salir a la humedad del interior y de los diversos patrones de energía de unión de las moléculas de agua. (14)(43)

En esta fase la velocidad del aire tiene poca influencia sobre la velocidad de secado porque el fenómeno que la limita es la transferencia de agua, o de vapor, del interior a la superficie del producto. Esta agua está ligada a los constituyentes del alimento y su desplazamiento a través de la capa seca es muy lenta. Cuando ocurre la evaporación superficial debe haber un movimiento de la humedad desde el interior del

sólido hasta la superficie. La naturaleza del movimiento modifica el secado durante el periodo de velocidad decreciente.

La difusión de la humedad puede derivarse de los gradientes de concentración entre el interior del sólido, donde la concentración es alta, y la superficie, donde es baja. Estos gradientes se fijan durante el secado de la superficie, por otro lado la humedad no ligada en sólidos granulares y porosos se mueve a través de los capilares de los sólidos mediante un mecanismo en el que interviene la tensión superficial. (43)

En el período de secado de velocidad decreciente, punto C de la fig. 1.4, la velocidad de secado comienza a disminuir, hasta llegar al punto D y disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto E, donde se alcanza el contenido de humedad de equilibrio  $X^*$  y una velocidad de secado.

La actividad de agua del producto al final del secado tiende a ser igual a la humedad relativa del aire de secado utilizando durante este periodo, por lo que para obtener productos con bajo contenido de humedad es recomendable utilizar un aire de baja humedad relativa al final del secado.

Casi siempre resulta necesario determinar el tiempo de secado mediante pruebas experimentales debido principalmente a que el valor de humedad crítica depende de la velocidad de secado, de las dimensiones del producto y de las isotermas de sorción del alimento.

Cada una de las fases de secado depende de las condiciones de secado y en gran parte de las características propias del alimento. En general una concentración elevada de constituyentes poliméricos, tales como proteínas, almidones (sobre todo gelatinizados) y azúcares amorfos, aumenta la proporción de agua ligada y prolonga la segunda fase de secado. Por el contrario, las sales, los azúcares cristalizados y los lípidos absorben muy poca agua, por lo que la primera fase de secado es más prolongada. (11)(12)(14)(43).

### 1.2.7 Variables que influyen en la velocidad de secado.

En este apartado se revisan brevemente algunos factores que inciden en la deshidratación del chile.

#### a) Efecto de la temperatura y la humedad

La ecuación que gobierna la velocidad de secado para el periodo de velocidad constante, despreciando conducción y radiación, es la siguiente: (43)

$$Rc = \frac{hc(T - Tv)}{\lambda} = k(Hv - H)$$

donde:

Rc= velocidad de secado (Kg/hm<sup>2</sup>)

hc= coeficiente de transferencia de calor (W/m<sup>2</sup> K)

λ = calor latente de evaporación del agua a Tv (KJ/Kg)

T = temperatura de bulbo seco ( °K)

Tv= temperatura de bulbo húmedo ( °K)

K = coeficiente de transferencia de masa (mol Kg./s m<sup>2</sup> fracc. mol)

Hv= humedad del aire a Tv (Kg/Kgas)

H = humedad del aire a T (Kg/Kgas)

Está claro que, aun en el periodo de velocidad decreciente, el material tenderá a secar más rápido a mayor temperatura y menor humedad (excepto posiblemente, en el caso de endurecimiento del material con formación de una capa superficial de baja permeabilidad donde se produce la evaporación, por ello la temperatura máxima a usar la determina muchas veces el mismo material), pero la velocidad de secado es controlada realmente por la velocidad de transferencia de la humedad hacia la superficie, donde se produce la evaporación. Durante el secado la temperatura superficial aumenta desde la temperatura del bulbo húmedo hasta la temperatura del bulbo seco del aire de secado y la transferencia de calor por convección hacia la superficie disminuye en forma correspondiente a pesar de que el coeficiente de transferencia de calor permanece constante.

En forma similar, la influencia de la humedad del aire de secado disminuirá a medida que el secado avanza; sin embargo, esto se compensa en cierta medida porque en una operación normal con recirculación constante del aire, la humedad del aire en el secador disminuye a medida que disminuye la velocidad de secado.

Los secadores de bandeja a presión atmosférica están previstos normalmente de algún control termostático, para mantener la temperatura del aire más o menos constante e independientemente de la velocidad de secado. Puede considerarse entonces que la temperatura es constante en todo el ciclo, excepto cuando se modifica deliberadamente. (11)(12)(43)

## b) Efecto de la velocidad del aire

La velocidad de la corriente de aire de secado afectará los coeficientes de transferencia de calor y materia de tal forma que el aumento de la velocidad de aire determina un aumento en la velocidad de secado para el periodo de velocidad constante. Para este periodo se tienen las siguientes ecuaciones que describen el fenómeno de secado:

$$Rc = \frac{hc(T-T_v)}{\lambda} = \frac{aG^n (T-T_v)}{\lambda}$$

donde:

a y n son factores que dependen del tipo de flujo del aire ya sea paralelo o perpendicular y dependen además de la velocidad del aire. De manera que:

G = masa de velocidad del aire ( $\text{Kg}/\text{hm}^2$ )

$\lambda$  = calor latente de evaporación del agua a  $T_v$  ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )

T = temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_v$  = temperatura de bulbo húmedo ( $^{\circ}\text{K}$ )

La velocidad del aire se controla habitualmente mediante un motor conectado a un ventilador y en la práctica, es independiente de las demás condiciones de secado; la única limitante la impone el producto ya que una velocidad excesiva trae consigo el riesgo de que el aire arrastre parte del material. En general, una vez fijada la velocidad del aire puede suponerse que no habrá variaciones durante el ciclo de secado a menos que se impongan intencionalmente. También es importante tener en cuenta la uniformidad de la corriente de aire, pues la mala distribución del aire, provoca diferencias en el secado en bandejas distintas; esto produce incrementos desproporcionados en el ciclo de secado, ya que en la práctica no se descarga el secador hasta que todo el material esté seco. (14)(43)

### c) Efecto de la recirculación del aire de secado

Esta operación consiste en recircular una parte del aire que sale de la cámara de secado y mezclarla con aire fresco calentando esta mezcla hasta la temperatura requerida lo que disminuirá el calor necesario por Kg. de agua evaporada. Pero como la humedad media del aire es elevada dará velocidades de secado más bajas. (2)

La proporción óptima de recirculación de aire para obtener una eficiencia máxima se encuentra en la zona del 80% al 90%. (28)

### d) Efecto de la geometría y el tamaño

El efecto de la geometría en la velocidad de secado está en función de la superficie específica. Aquellas formas que presentan una mayor superficie específica se secan más rápidamente, tal es el caso de las partículas en forma de placa. Pero la forma y el tamaño de las partículas no solo afectan a la superficie de evaporación del agua sino también al recorrido de esta en su difusión a través del producto y a la resistencia del lecho al flujo del aire. (6)

## 1.3 Evaluación del color en chile morita.

La calidad de los alimentos, como en otros productos es la combinación de características las cuales los hacen deseables para el consumidor. Los frutos picantes son ordinariamente seleccionados por su apariencia, ya que otros métodos para determinar la calidad no están disponibles para el consumidor casual; estos factores son el tamaño, el color, textura, forma y algunos defectos físicos que en general son de completa importancia. Para seleccionar al chile morita se tomaron en cuenta características como el tamaño, forma y madurez; este debe ser cónico y cilíndrico, de

3-5 cm de largo y 2-4 cm de ancho, ya que estos parámetros lo diferencian de otras variedades (jalapeño fresco, mora y chipotle). Otro parámetro en consideración es el estado de madurez, este depende del color, pH así como de otras características.

1.- Color: denominado como "tono" (rojo, amarillo, azul, verde, etc.)

2.- Luminosidad: esta característica define al producto como claro u opaco y se mide en porcentaje.

3.- Croma o intensidad: concentración o porcentaje de contribución de cada colorante que compone al color global, está referida a la pureza del color.

Físicamente el color de un objeto se mide y representa por curvas espectrofotométricas, las cuales proyectan fracciones de luz reflejada como una función de longitud de onda del espectro visible. (4).

El color es un factor determinante en la aceptación de un alimento por parte del consumidor. Un color atractivo atrae al consumidor a probar el alimento, mientras que un alimento sin color o con color inadecuado produce el efecto contrario.

La medida del color es un importante medio de aseguramiento de la calidad en productos alimenticios. Aunque el color en frutos picantes es una manifestación externa de la composición de los pigmentos de las plantas y con ello puede indicar el estado de madurez de la misma.( 41).

En alimentos frescos la medición de los cambios en los pigmentos ayuda a comprender la fisiología, la madurez y la senescencia, ya que los cambios físicos repercuten en un impacto visual. Aunque la apariencia está en función del color, en la actualidad existen métodos disponibles que detectan este factor: La visualización del color es uno de ellos y se realiza por comparación de estándares de color como: atlas, cartas, abanicos o comparadores especiales de color (24); por otra parte existen métodos instrumentales como:

El sistema Munsell, este se basa en el principio de la percepción visual de pequeñas diferencias de color, el sistema describe todos los posibles colores en términos de tono, valor y croma. El sistema Ostwald los colores se describen como saturación de color, contenido de blanco y contenido de negro, basados en términos de idealización de curvas espectrométricas que se obtienen a partir del estudio de los colores. (4) Y el sistema CIE (Comisión Internacional de l'Eclairage o International Commission on Illumination), es para muchos el sistema más importante para medir el color. En 1931 CIE, realizó una descripción numérica de la respuesta del color al ojo humano, éstas expresiones son "x", "y" y "z". (4)

Para la medición directa del color Hunter desarrolló colorímetros que leen directamente el reflejo de la luz, la cual está basado en las coordenadas de la escala de CIE. A partir de este estudio se tiene la escala de CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . Esta escala define distancias iguales en el CIE 1931 x, y el diagrama de cromaticidad no representan iguales diferencias en el color como es percibido.

El sistema de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  CIE 1976, también, representa más cercanamente la sensibilidad humana al color. Iguales distancias a este sistema representan aproximadas diferencias de color percibidas,  $L^*$  es la variable de luminosidad;  $a^*$  y  $b^*$  son las coordenadas de cromaticidad en un plano cartesiano de colores.

La selección del equipo para medir el color, dependerá del objeto al que se desea aplicar y la variedad de productos a ser probados. (4)

El color en chiles es uno de los atributos más importantes y repercute directamente en su aceptación por el consumidor. El color es diferente de cultivo a cultivo y varía de un suave verde a verde oscuro, cuando está madurando pasa de verde a naranja y de naranja a rojo púrpura. Internamente el color puede variar del centro blanco con un tono verde oscuro, naranja suave hasta llegar a rojo oscuro que será uniforme a lo largo hasta cubrir el rango completo de color; el color también depende de la variedad y tipo de chile, el color de un genotipo está influenciado por la madurez, daño físico, tiempo y temperatura después de la cosecha y otros factores tales como pH, actividad de agua y composición química. (3)

El deterioro de las características del color de los chiles también se debe al resultado de la maduración, cosecha, manipulación, procesamiento y almacenamiento, además puede haber cambios en el color por transformaciones de:

- a) pH.- durante los cambios de pH puede ocurrir la pérdida de color por la formación de una pseudobase de carbinol, debido a los carotenoides presentes( $\beta$ -caroteno, criptoxantina, violaxantina, capsantina, etc.)
- b) Actividad enzimática.- glucosidasas y fenolasas causan variación o pérdidas de color
- c) Actividad de microorganismos.- degradación de color por metabolización
- d) Aire y luz.- provocan pérdida de color. ( 3)

#### 1.4 Caracterización reológica

Para expresar el comportamiento mecánico existen dos procedimientos; el primero es el método sensorial que consiste en tocar, estrujar, morder o masticar el alimento y describir las sensaciones. Estas apreciaciones varían ampliamente con el individuo que las efectúa, por lo que se necesita un tratamiento estadístico para poder evaluarlas adecuadamente, así como de un entrenamiento para cada uno de los jueces. El segundo grupo de procedimientos de evaluación utiliza métodos físicos, en este caso el valor no depende del individuo que lo realiza, estos métodos suelen ser considerados como "objetivos"; para el caso de la salsa valentina se utilizó este método para medir la viscosidad del líquido y los resultados obtenidos pueden expresarse en unidades de metros (m), kilogramos (kg), y segundos (s). (26)

Para llevar a cabo esta medición es necesario recurrir a la reología que es la ciencia de la deformación de la materia, se ocupa preferentemente de la deformación de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes.

Existen cuatro razones fundamentales para justificar el estudio del comportamiento reológico de los cuerpos, en primer lugar contribuye al conocimiento de su estructura (si existe cierta relación entre el tamaño y forma molecular de las sustancias en disolución y su viscosidad, así como entre el grado de entrecruzamiento de los polímeros y su elasticidad). En segundo lugar, en la industria se efectúan con frecuencia medidas reológicas sobre las materias primas y los productos en elaboración, que son de gran utilidad para el control de los procesos.

En tercer lugar, la reología presta una valiosa ayuda al diseño de las máquinas o equipos que se utilizan en la industria alimentaria. Finalmente, sus características reológicas influyen de un modo considerable en la aceptación de un producto. (26)

Existen diversos equipos para realizar la medición reológica de líquidos, estos se denominan viscosímetros rotacionales (Brookfield, cilindros concéntricos, cono y placa ) y los de tubo (capilares, presión, Ostwald, etc.)

El viscosímetro Brookfield , debido principalmente a su bajo costo, es el instrumento comúnmente utilizado en la industria de alimentos para realizar el control de calidad reológico en productos terminados o materia prima de tipo fluido.

## 1.5 Actividad de agua ( $A_w$ )

Desde hace mucho tiempo se sabe que existe una relación, aunque imperfecta, entre el contenido de agua de los alimentos y su alterabilidad. Los procesos de concentración y deshidratación se emplean primariamente con el objeto de reducir el contenido de agua de un alimento, incrementando simultáneamente la concentración de solutos y disminuyendo de este modo su alterabilidad.

Sin embargo, también se ha observado que diversos alimentos con el mismo contenido de agua difieren significativamente en su susceptibilidad a la alteración. En consecuencia, el contenido de agua por sí sólo, no es un indicador fiable de la alterabilidad. Esta inadecuación puede atribuirse, en parte, a diferencias en la intensidad con que las moléculas de agua se asocian con los contribuyentes no acuosos, ya que el agua que interviene en asociaciones fuertes es menos capaz de participar en actividades químicas hidrolíticas. El término "actividad de agua" ( $a_w$ ) fue desarrollado para tener un indicador de la alterabilidad de los alimentos que el contenido de agua, tampoco es aún perfecto, puesto que estos factores, tales como concentración de oxígeno, pH, movilidad de agua y el tipo de soluto presente, pueden, en algunos casos, ejercer fuertes influencias sobre la velocidad de degradación.

No obstante, la actividad del agua se relaciona suficientemente bien con las velocidades de muchas reacciones degradativas como para que su medida y uso sean valiosos. Como indicador de su utilidad, el Gobierno Federal de EE.UU. ha incluido valores de actividad de agua en relaciones que tratan las buenas prácticas de manufactura. (13)(19)

### 1.5.1 Definición

La actividad de agua se define de la siguiente manera:

$$a_w = P/P_o$$

ecuación en la que  $a_w$  es la actividad de agua,  $P$  es la presión parcial del agua por encima de la muestra y  $P_o$  es la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura.

Esta ecuación es una aproximación a la expresión actividad original de Lewis,  $a_w = f/f_o$ , en la que  $f$  es la fugacidad del solvente (fugacidad es la tendencia de un solvente a escapar de la solución) y  $f_o$  es la fugacidad del solvente puro.

La actividad de agua también está relacionada con varios otros términos, interrelacionados que son útiles:

$$a_w = p/p_o$$

$$= \text{HRE}/100$$

$$a_w = N$$

en las ecuaciones anteriores HRE es la humedad relativa de equilibrio (%) en torno al producto,  $N$  es la fracción molal del solvente (agua).

Es conveniente resaltar que la actividad de agua es una propiedad intrínseca de la muestra, mientras que la humedad relativa de equilibrio es una propiedad de la atmósfera en equilibrio con la muestra. Además, alcanzar el equilibrio entre la muestra y su ambiente es un proceso muy lento en muestras muy pequeñas y casi imposible en muestras grandes.(35)

### 1.5.2 Métodos de determinación de Aw

Para entender adecuadamente la indicación al método empleado será necesario revisar los procedimientos para obtener las isothermas de sorción de agua en alimentos que han sido descritos por Teylor. Los principales métodos son: Gravimétricos, Manométricos e Higrométricos. (17)

#### 1.- Gravimetricos

Método con un registro continuo de cambios de peso, en este caso una balanza es parte central para determinar los cambios de peso continuos, es usualmente llevado a cabo en un sistema para acelerar la difusión de moléculas de agua de la muestra.

a) Sistema dinámico: en estos casos circula aire para la transferencia de vapor de agua de la muestra, pesos precisos son posibles a un período de flujo constante de aire alrededor de la muestra.

b) Métodos con registro continuo de cambios de peso.

\* Sistema estático: uno de los más comunes es este, en el cual el material es puesto en desecadores de vacío con soluciones de sales saturadas o ácido sulfúrico, el cual ejerce un cierto equilibrio de HR. Las soluciones de sal o ácido sulfúrico son disponibles para varias HR. Puede crearse un vacío para acelerar el equilibrio.

\* Sistema dinámico: una corriente de aire de HR conocida es forzada pasar sobre la muestra.

## 2.- Manométricos

La presión de vapor de agua en equilibrio de un alimento, así como el contenido de humedad es medido por un manómetro sensible.

### 1.5.3 Importancia de los isotermas de sorción en secado.

Se demuestran isotermas de sorción a las representaciones que interrelacionan el contenido de agua (expresado en masa de agua por unidad de masa de materia seca) de un alimento con su actividad del agua a temperatura constante. La información que puede derivarse de dicha representación es útil en los procesos de concentración y deshidratación, porque la facilidad o dificultad para eliminar el agua está relacionada con la actividad de agua y para evaluar la estabilidad de los alimentos. Para el caso del chile jalapeño se muestra en la figura 1.5 su isoterma de sorción.

Los isotermas de sorción de agua de alimentos muestran la relación de equilibrio entre el contenido de humedad de alimentos y la  $A_w$  a temperaturas y presiones constantes. Al equilibrio la actividad de agua es parecida a la humedad relativa de la atmósfera. (17)(35).

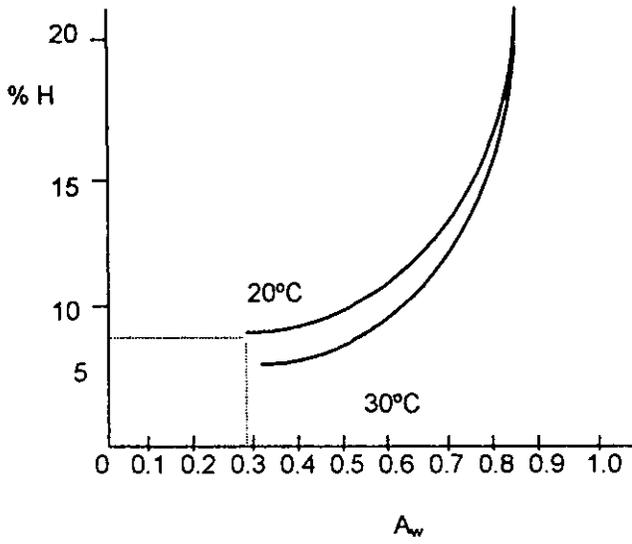
$$a_w = P/P_o = HR\%/100$$

Donde :

$P$  = presión de vapor del agua ejercida por el alimento

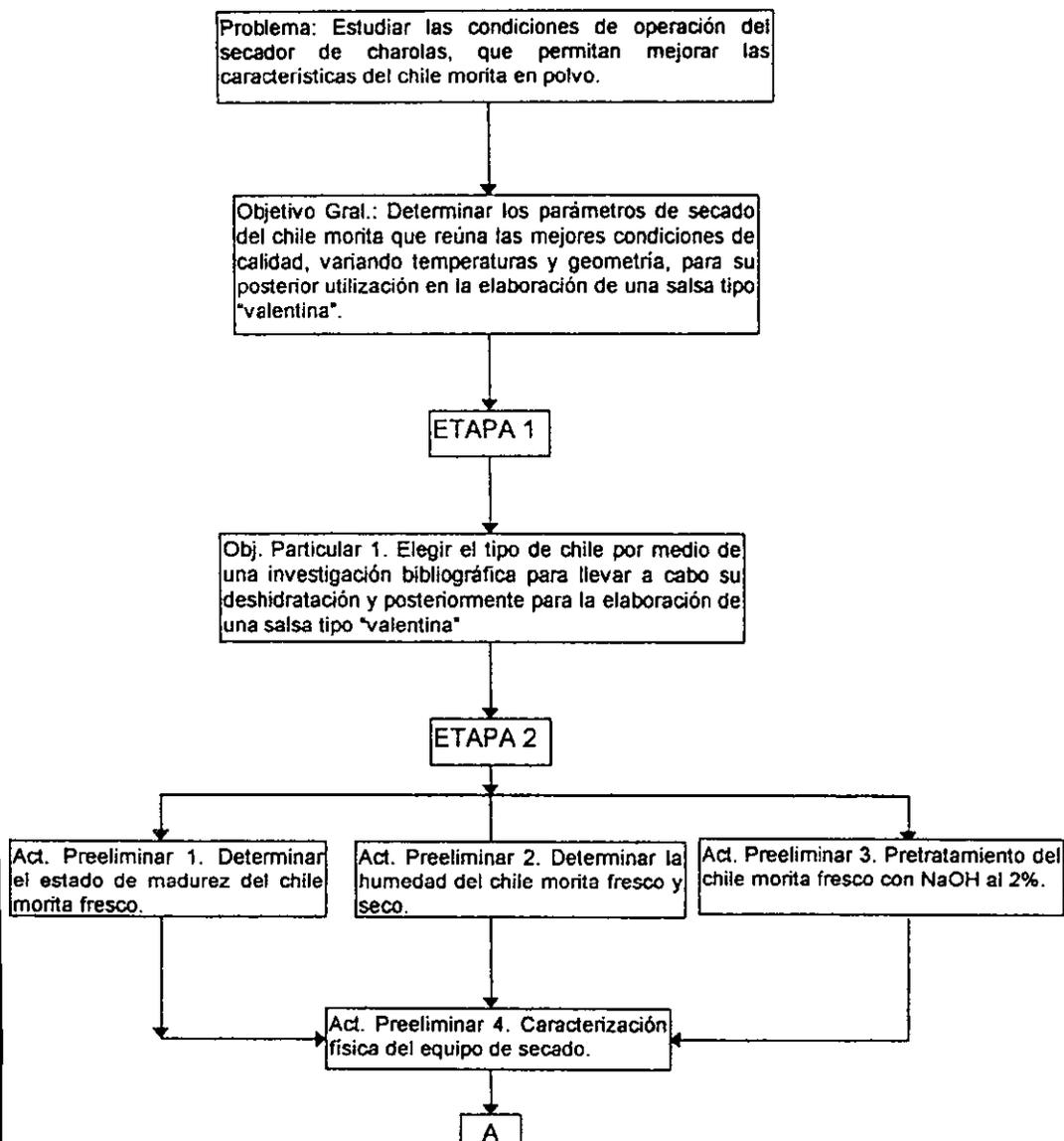
$P_o$  = presión de vapor de agua pura a la temperatura empleada, la cual es la temperatura de equilibrio del sistema

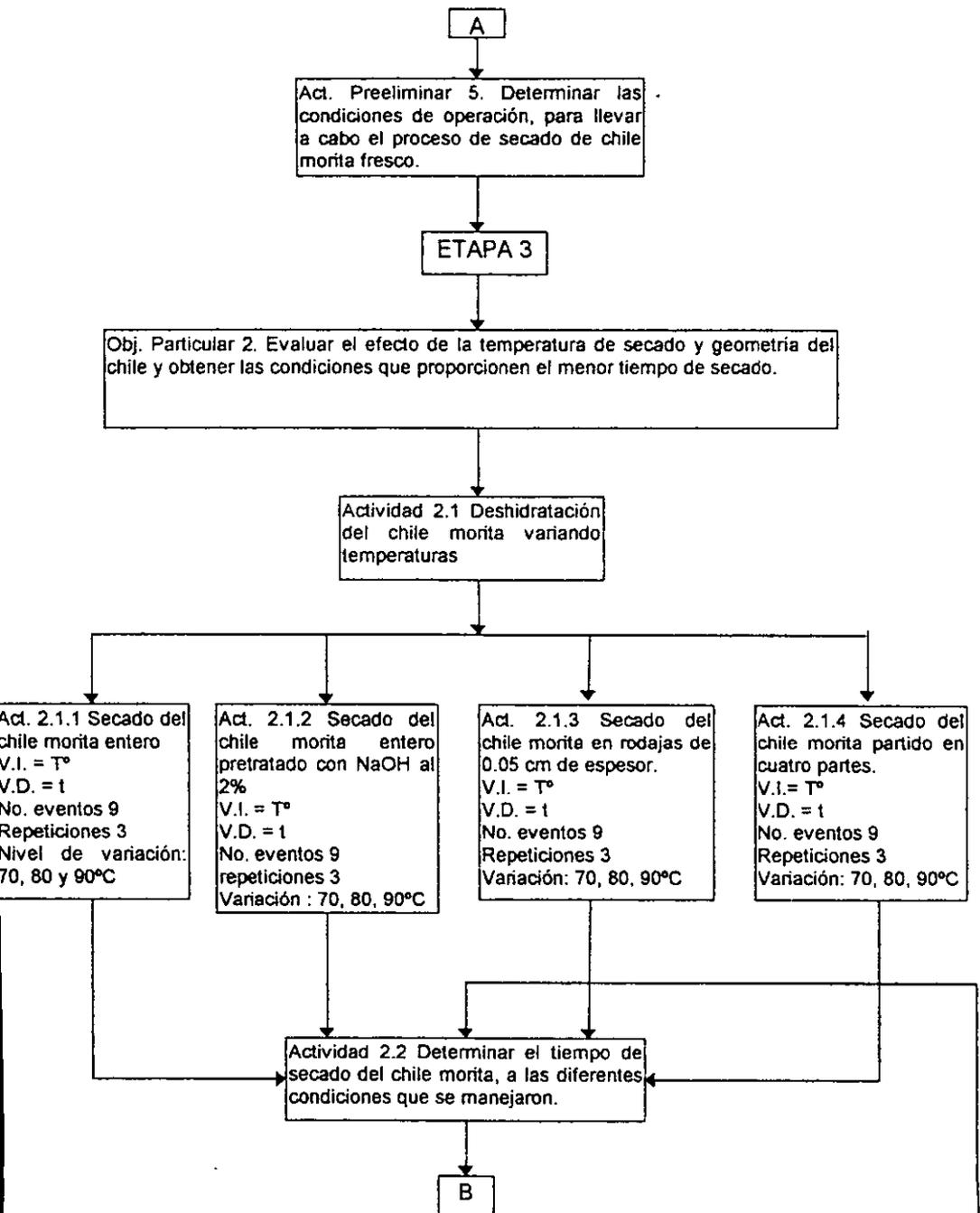
Fig.1.5. Isoterma de sorción del chile

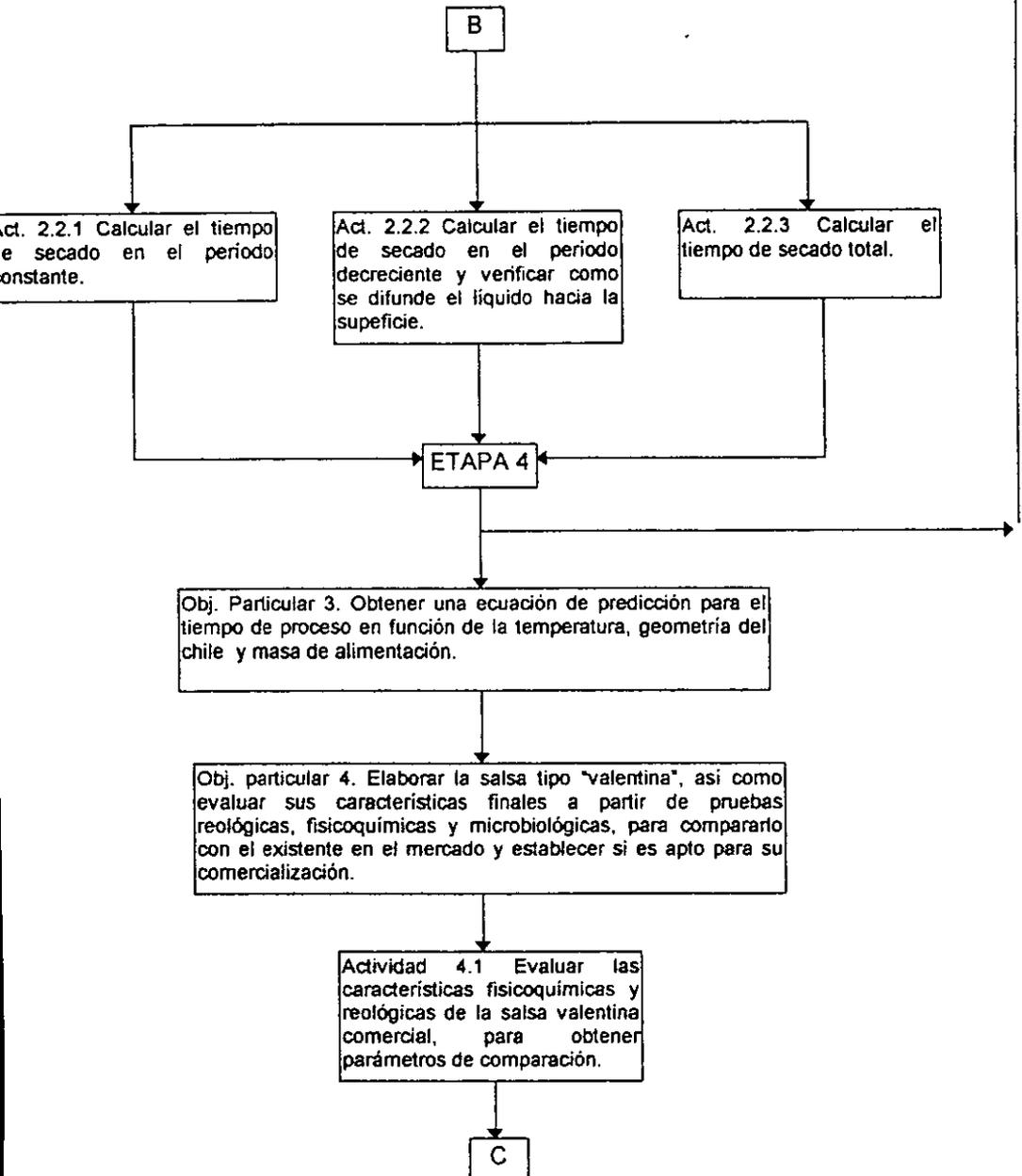


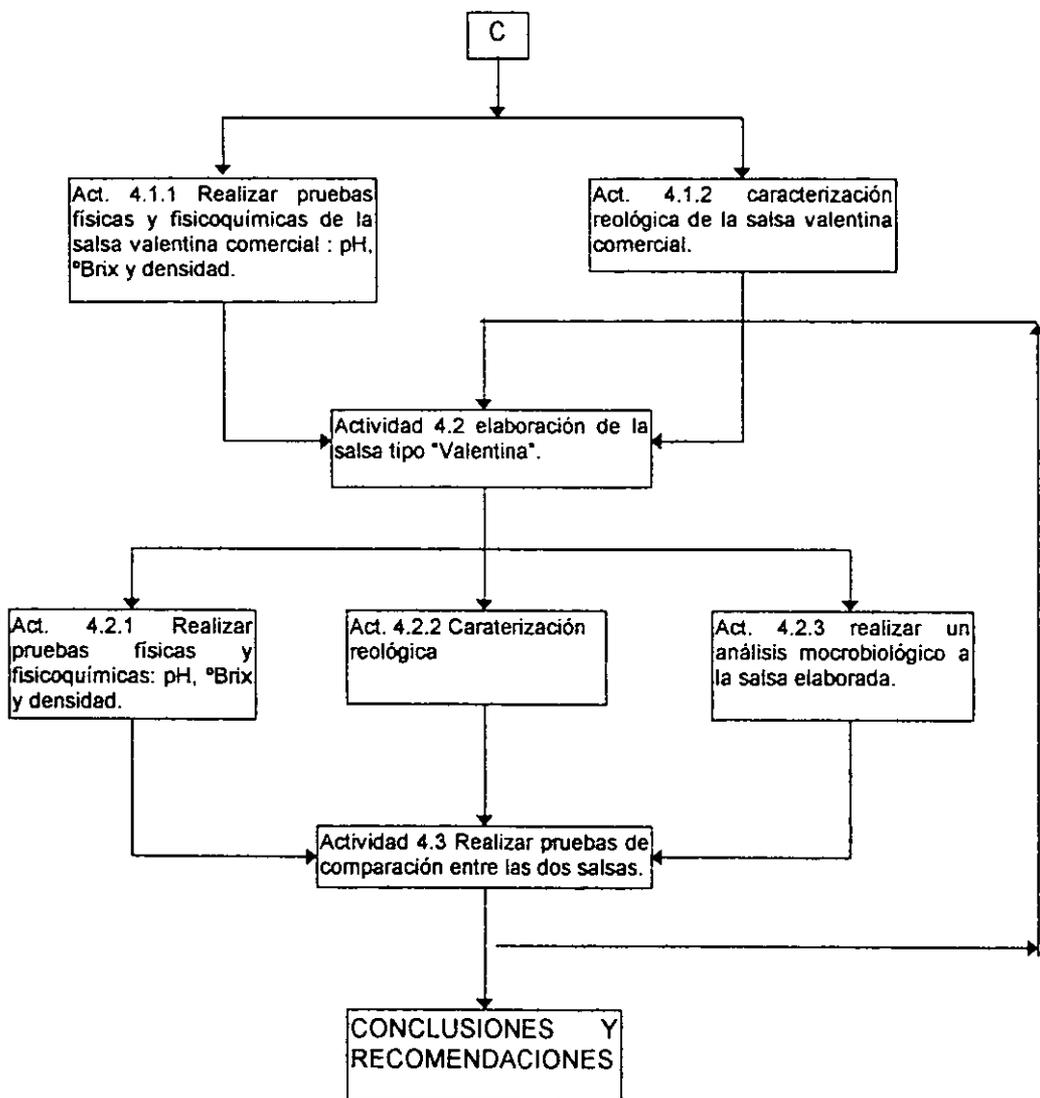
## CAPITULO II. METODOLOGÍA

### 2.1 CUADRO METODOLÓGICO









### **2.2.1 Definición de la salsa valentina**

Se puede decir que la salsa tipo "valentina" es la compensación o mezcla de varias sustancias comestibles, utilizable para acompañar a la comida o a los preparados alimenticios. Este tipo de salsa cumple dos funciones, tanto pueden resaltar suavemente un sabor, como ser lo bastante enérgicas para dar interés a alimentos que por si mismos no lo tendrán.

Una salsa puede definirse como un producto semifluido o líquido frío o caliente, la cual se adiciona a un alimento cuando éste se sirve. Su aceptación se liga al mejoramiento de la apariencia, aroma, sabor y consistencia; puede no incluirse el uso de especias o extractos de éstas.

Los procedimientos de fabricación varían, pero en su mayoría se utiliza el siguiente proceso de elaboración (ver diagrama de bloques) (pag.44)

### **2.2.2 Descripción del proceso**

#### **RECEPCIÓN**

Los chiles frescos llegan a la planta transformadora en diversos vehículos como camiones, remolques, etc. desde el centro de recolección y/o acopio, el chile debe cumplir con ciertas características como textura firme al tacto, color rojo y tamaño característico, bien desarrollados, enteros, sanos, sin descomposición o pudrición.

## **LIMPIEZA**

El objetivo de la limpieza es separar de los chiles el material extraño, tal como polvo, suciedad, otro tipo de chiles o hierbas, para este propósito se utilizan cribas y ventiladores que constan de tamices constituidos de láminas perforadas de metal, colocándose uno sobre otro de modo que en el último tamiz se retengan los chiles a utilizar.

## **DESPATADO**

El objetivo de esta operación es eliminar manualmente el tallo de los chiles frescos.

## **PRETRATAMIENTO**

La importancia del pretratamiento es abrir los poros del chile y hacer que la humedad contenida en este fluya más rápido hacia el exterior reduciendo el tiempo de secado. En este paso, los chiles se sumergen en una solución de NaOH al 2% (peso/vol.) a 50°C por 5 min. esta operación se realiza en un tanque.

## **LAVADO**

Es para eliminar el exceso de NaOH que adquirió durante el pretratamiento. El agua empleada en este caso debe ser potable y con un bajo contenido de cloro, procurándose a 50°C.

## **SECADO**

La deshidratación del chile se lleva a cabo según bibliográficamente a temperatura de 90°C durante 7 horas en un secador rotatorio, donde el chile contiene una humedad inicial de 89.3% hasta una humedad final de 19-20%

## **MOLIENDA**

En este punto el chile es una pieza relativamente grande, lo que hace necesario llevar a cabo una reducción de tamaño a través de una molienda seca. se pueden utilizar molinos Pulvex que están diseñados para hacer una reducción de partícula que pase el producto por tamiz No. 80

## **MEZCLADO**

Una vez obtenido el chile en polvo se adicionan los condimentos y especias al mezclador, esto se puede hacer manualmente, los líquidos como el agua y el vinagre pueden ser bombeados para que así se obtenga la premezcla.

## **EVAPORADO**

Ya formada la premezcla, se lleva a una evaporación por medio de una marmita que permite reducir el contenido de agua del alimento, provocando el aumento de los sólidos totales y obtener finalmente la salsa valentina.

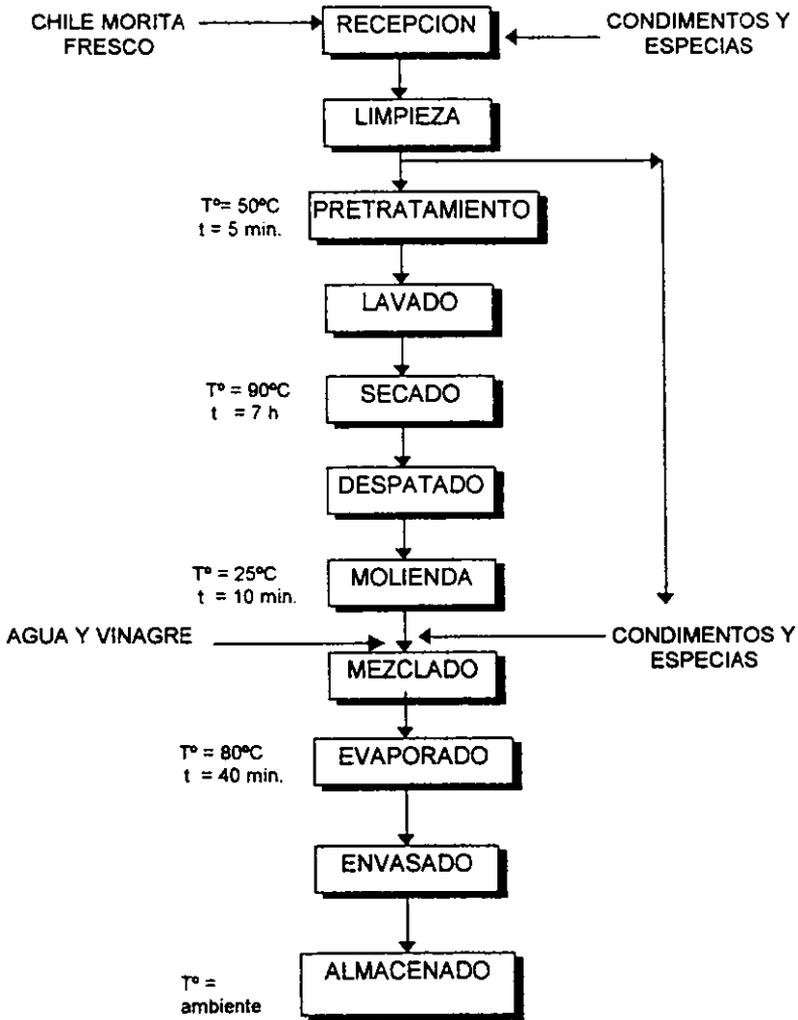
## **ENVASADO**

Una vez obtenida la salsa, es transportada a un tanque de almacenamiento para su posterior envasado, comúnmente el envasado se realiza en caliente en envases de vidrio.

## **ALMACENAMIENTO**

Los frascos de salsa se almacenan a granel a temperatura ambiente.

## 2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES



## 2.3 VARIABLES

Las variables que se estudiaron durante la deshidratación del chile morita y que intervienen directamente con el tiempo de secado son las siguientes:

- 1.- Temperatura del aire de secado
- 2.- Geometría del chile
- 3.- Pretratamiento del chile

## 2.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

De acuerdo con el cuadro metodológico planteado se realizaron cuatro etapas. A continuación se hará mención de como están constituidas cada una de ellas.

Etapa 1 se realizó una investigación bibliográfica sobre todas las variedades de chile cultivados en México y así se eligió el tipo de chile a trabajar y estudiar su cinética de secado.

En la etapa 2, se cubrieron actividades consideradas como preliminares, las cuales permitieron conocer el estado de madurez del chile por medio del color, esta prueba se realizó en un colorímetro Minolta CR-300. Se verificaron el contenido de humedad del chile antes y después del proceso con el empleo de la termobalanza AD-4714A, posteriormente se realizó un pretratamiento del chile morita con NaOH al 2% pero sólo a los experimentos propuestos y por último se realizó una caracterización física del equipo de secado.

La etapa 3, permitió evaluar las variables involucradas a través de curvas de secado, las cuales presentaron un comportamiento que indico el tiempo necesario para deshidratar el chile morita . Conociendo los parámetros directamente involucrados en la deshidratación, a través de gráficos se pudo obtener una ecuación de predicción del tiempo mínimo de secado, que en un futuro pueda ser utilizada para disminuir los costos de producción y darle una aplicación industrial.

En la etapa 4 se elaboró una salsa tipo “Valentina” con el chile morita ya deshidratado, pero antes conociendo las características fisicoquímicas y reológicas de la salsa comercial con el objetivo de tener parámetros de comparación, y por último también se llevó a cabo pruebas de calidad, además de las anteriores, como un análisis microbiológico al producto obtenido.

## 2.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

### ETAPA 1

**OBJETIVO 1.** Elegir el tipo de chile por medio de una investigación bibliográfica para llevar a cabo su deshidratación y posteriormente para la elaboración de una salsa tipo “valentina”.

ETAPA	Actividad	Equipo	Método
Preliminar			
1.	Determinación del grado de madurez del chile morita	Colorímetro Minolta-300	Colorimetría
2.	Determinación del contenido de humedad del chile morita fresco y seco.	Termobalanza AD-4714A	Lectura directa

3. Realizar un pretratamiento al chile morita fresco

4.- Caracterización física del equipo de secado.

5.- Determinación de condiciones de proceso

NOTA: La explicación de estas actividades se realizó en el capítulo de resultados.

### ETAPA 3

**Objetivo 2.** Evaluar el efecto de la temperatura de secado y geometría del chile y obtener las condiciones que proporcionen el menor tiempo de secado.

Actividad 2.1 Deshidratación del chile morita fresco, variando temperaturas.

Una vez seleccionados los parámetros directamente involucrados se llevó a cabo la experimentación siguiente, para estudiar el efecto de cada variable en la deshidratación del chile y establecer así cuales de ellas son las más apropiadas para reducir el tiempo de secado.

Actividad	Variables	Nivel de variación
2.1.1 Secado del chile morita entero	V.I. = $T^{\circ}$ , V.D. = $t$	70°C, 80°C y 90°C
2.1.2 Secado del chile morita entero pretratado con NaOH al 2%.	V.I. = $T^{\circ}$ V.D. = $t$	70°C, 80°C y 90°C
2.1.3 Secado del chile morita en rodajas (0.05cm)	V.I. = $T^{\circ}$ V.D. = $t$	70°C, 80°C y 90°C
2.1.4 Secado del chile morita partido en cuatro partes	V.I. = $T^{\circ}$ V.D. = $t$	70°C, 80°C y 90°C

Por cada experimento o actividad se realizaron tres eventos y tres repeticiones de cada una.

Debido a la cantidad de datos obtenidos para cada actividad, se realizó un análisis estadístico (medidas de tendencia central y análisis de varianza).

Actividad 2.2 Determinar el tiempo de secado del chile morita a las diferentes condiciones.

Una vez realizada la experimentación anterior se evaluó lo siguiente:

Evaluación	Método	Resultado
1. Determinación de humedad total y libre	$X_T = W - W_s / W_s$ $X_L = X_T - X^*$	Curva de $X_L$ vs $t$ (h)
2. determinación de velocidad de secado	$R = (-L_s / A) (dx/dt)$	Curva de $R$ vs $X_L$
3. calcular coeficiente convectivo (h)	$h = 0.0204 G^{0.8}$ $w / m^2 K$	Coefficiente convectivo ( h )
4. Calcular la difusividad másica	Por ecuación $E = f(D\theta/a^2)(D\theta/b^2)(D\theta/c^2)$	Difusividad másica ( $D_{ab}$ )
5. Calcular el tiempo de evaporación del agua en el periodo constante	$R_c = h(T - T_w) / \lambda w$	Velocidad de evaporación en periodo constante. ( $R_c$ )
6. Determinar el tiempo de secado en el periodo decreciente.	Integración gráfica	Curva de $1/R$ vs $X_L$
7.- Determinar si el líquido se libera hacia la superficie del sólido por difusividad o capilaridad.	$\frac{X - X^*}{X_c - X^*} = \frac{X}{X_c}$ $t = \frac{X_1 \rho_s t_w X_c}{h (T - T_w)} \ln \frac{X_c}{X}$ $t = \frac{4X_1^2}{\pi^2 D_{ab}} \ln \frac{8X_1}{\pi^2 X}$	Difusión líquida Flujo capilar
8.- Calcular el tiempo total de secado	$T_T = T_c + T_d$	Tiempo total de secado

**Objetivo 3.** Obtención de la ecuación de predicción del tiempo de secado del chile morita.

Para llegar a la ecuación de predicción se utilizaron las regresiones lineales de la fase experimental donde involucraban tiempos, temperaturas y masa de alimentación; y la relación existente entre ellos hasta obtener una ecuación final. Donde esta ecuación es sólo aplicable a las condiciones que se trabajaron experimentalmente.

#### ETAPA 4

**Objetivo 4.** Elaborar la salsa tipo "Valentina", así como evaluar sus características finales a partir de pruebas reológicas, fisicoquímicas y microbiológicas, para compararla con la existente en el mercado y establecer si es apta para su comercialización.

Actividad 4.1 Evaluar las características fisicoquímicas y reológicas de las salsa comercial, para obtener parámetros de comparación.

Actividad	Equipo	Método
4.1.1 Medición de pH, °Brix y densidad.	Potenciometro Refractómetro Abbe Relación peso volúmen	Lectura directa Refractometría
4.1.2 Caracterización reológica.	Viscosímetro Brookfield	Mitschka

#### Actividad 4.2 Elaboración de la salsa tipo "Valentina"

A partir de esta formulación reportada bibliográficamente se realizaron pruebas hasta encontrar características similares a la salsa valentina comercial.

INGREDIENTES	PORCENTAJE
Vinagre	65.43
Agua	21.82
Chile morita	5.39
Cebolla	1.61
Almidón de maíz	1.61
Ajo	1.07
Sal	0.61
Clavo	0.10
Canela	0.10
Jengibre	0.07
Azúcar	2.17

(Ref.42)

También se realizaron las siguientes actividades:

Actividad	Equipo	Método
4.2.1 Determinación de sólidos solubles (°Brix), pH y densidad	Refractómetro Abbe Potenciómetro Jenco Modelo 6071 Pícnometro	Refractometría Lectura directa Lectura directa
4.2.2 Caracterización reológica	Viscosímetro Brookfield	Mitschka

#### Actividad 4.2.3 Realizar un análisis microbiológico

Determinación	Método	Incubación
Coliformes	Placa: Rojo violeta bilis agar	37°C por 24 horas
Mesófilos aerobios	Placa: Agar para método estándar	35°C por 48 horas
Hongos y Levaduras	Placa: Agar papa dextrosa	23°C por 5 días

Ref. ( 1 )

Actividad 4.3 Realizar pruebas de comparación entre la salsa valentina muy picante comercial y la experimental.

## CAPITULO III. RESULTADOS

### ETAPA 1

#### Selección del chile

Para seleccionar el tipo de chile a utilizar fue necesario conocer las diferentes variedades de chile cosechadas en México y como se puede ver el chile jalapeño no sólo es el más producido sino que también es aportado por más regiones del país. Esto se ve directamente reflejado en el costo ya que obedece la ley de la oferta y la demanda. Otra razón importante para su elección es la poca variedad de productos ya procesados a partir del chile fresco, es consumido principalmente fresco o seco; de esta forma apuntando en las causas anteriores se eligió el citado inicialmente.

### ACTIVIDADES PRELIMINARES

#### ETAPA 2

##### 1. Determinación y selección por color del chile morita fresco.

La selección del chile morita se realizó por medio del color que a su vez indicaba el estado de madurez del mismo, se llevó a cabo mediante un colorímetro (Minolta CR-300 cuyas características se describen en el anexo II).

El color en el chile morita es uno de los parámetros más importantes para que pueda ser utilizado en la elaboración de la salsa tipo Valentina, ya que repercute directamente con la aceptación. Este indica el estado de madurez que presenta ya que conforme va madurando cambia su coloración. Para poder utilizar este tipo de chile posteriormente se necesitó que presentara una coloración roja.

La materia prima de consiguió en la Central de Abastos de la Ciudad de México, y el tamaño de lote para realizar esta actividad fue de 10 kg. Se seleccionó manualmente y visualmente por color, en cuatro coloraciones distintas presentes en el lote. A cada color clasificado visualmente se le midió el color en un colorímetro Minolta; cuando presentaba un color verde intenso, verde a naranja, naranja a rojo y de rojo a rojo púrpura. En el cuadro 3.1 se presentan los resultados que se obtuvieron.

Cuadro 3.1. Porcentaje de croma, luminosidad y coordenadas de croma

CHILE	LUMINOSIDAD L*	COORDENADAS DE CROMA		CROMA
		a*	b*	
VERDE	49.950	4.0	-40.3	33.441
VERDE-NARANJA	43.014	4.0	-38.0	35.710
NARANJA-ROJO	40.160	4.0	-37.4	36.221
ROJO- PURPURA	34.087	4.0	-36.0	37.613

Cuadro 3.2 Resultados de análisis estadístico de la determinación de color.

CHILE	LUMINOSIDAD			a*			b*			CROMA		
	X	S	C.V. %	X	S	C.V. %	X	S	C.V. %	X	S	C.V. %
VERDE	49.957	0.144	0.289	4.0	0	0	-40.5	0.2	0.493	33.547	0.136	0.4
VERDE- NARANJA	43.076	0.100	0.234	4.0	0	0	-38.49	0.69	1.807	35.766	0.11	0.3
NARANJA- ROJO	40.624	0.524	1.290	4.0	0	0	-38.0	0.81	2.144	36.755	0.631	1.7
ROJO-ROJO PURPURA	33.858	0.527	1.558	4.0	0	0	-35.86	0.71	1.993	38.167	0.697	1.8

Cuando clasificamos los colores se pueden descomponer en sus tres elementos primarios "tono" (color), "claridad" (luminosidad), y croma (saturación). El tono que esta representado por la coloración del chile nos ayuda a distinguir por ejemplo el verde del rojo. La luminosidad ( $L^*$ ) o claridad ayuda a separar los claros de los oscuros cuando se comparan sus luminosidades, en nuestro caso nos indica cuando el chile morita pasa de naranja a rojo es mas claro, esta característica puede medirse independientemente del tono del color, si observamos la tabla de luminosidad disminuye conforme va cambiando su tono.

El croma se refiere a lo vivo o apagado de los colores y esto tiene que ver con la intensidad o pureza del color; por lo tanto cuando la claridad cambia el croma van aumentando; las coordenadas de croma nos representan la sensibilidad humana al color. Cuando estos tres parámetros son combinados en un sistema tridimensional, aparecerán como un sólido de color tal. Por lo tanto el chile morita que presentaba una coloración de rojo a rojo púrpura fue seleccionado para elaborar la salsa tipo Valentina.

Los resultados del análisis estadístico realizados se observan en el cuadro 3.2 donde se aprecia que no hay mucha variación en cuanto a las tres repeticiones que se efectuaron durante la experimentación.

## 2. Contenido de humedad del chile morita fresco y seco

El contenido de humedad se realizó en una termobalanza digital (AD-4714A), (ver anexo III), donde se obtuvieron los resultados que se muestran en el cuadro 3.2 donde la humedad del chile fresco es de 88.86% en peso, y del chile seco es de 20% lo que represento un parámetro importante para saber la cantidad de agua que se tiene que eliminar durante el proceso de secado.

Cuadro 3.3. Contenido de humedad del chile morita fresco y seco

CHILE MORITA	HUMEDAD (%)	BIBLIOGRÁFICO
FRESCO	88.86	89.3
SECO	20	19-20

### 3. Pretratamiento del chile morita

Esta actividad se llevo a cabo solamente a los experimentos que correspondieron a la actividad 2.1.2. Este se realizó sumergiendo los chiles en una solución de NaOH al 2% a 50 °C por 5 min., con la finalidad de abrir los poros del chile para que la humedad contenida se elimine más rápido hacia el exterior reduciendo el tiempo de secado.

### 4. Caracterización del equipo de secado

La caracterización del equipo se hizo con el fin de obtener las características físicas, dimensiones y de funcionamiento, así como la capacidad para fijar una masa de alimentación, además de poder determinar los rangos de operación de temperaturas, circulación y recirculación del aire. Por lo que se obtuvo lo siguiente:

El equipo que se utilizó en las pruebas experimentales fue un secador de charolas intermitente y atmosférico, como el mostrado en la figura 1.6.

El secador empleado tiene las siguientes características:

- \* Dimensiones externas: ancho 112 cm por 213 cm de alto y 173 cm de largo.
- \* Dimensiones de la cámara de secado: largo 74.5 cm por 101 cm de ancho por 107 cm de altura.
- \* Número de charolas: 20
- \* Dimensiones de cada charola: 74.5 cm de largo por 50 cm de ancho con malla perforada

\* Número de ventiladores: 1 de tipo axial

\*Diámetro del ventilador: 71.3 cm

\*Número de aspas del ventilador: 13

\*Motor: eléctrico trifásico

0.25 HP

840 r.p.m.

\*Calentador o intercambiador de calor:

56 cm de largo por 26.5 cm de ancho por 56 cm de alto

98 Tubos aletados

0.588 cm de diámetro

54.3 cm de longitud

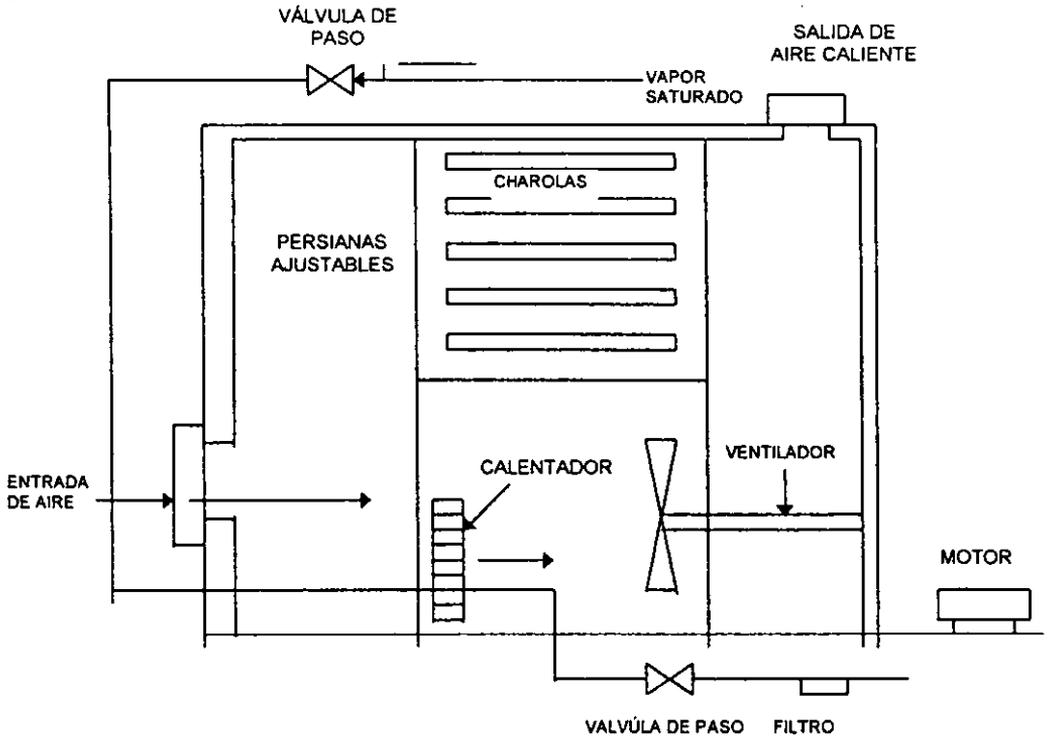
107 aletas por cada tubo

9 m<sup>2</sup> de área de transferencia de calor

20 cm de diámetro interno de los ductos de entrada y salida del aire.

El procedimiento de operación del secador de charolas se muestra en el anexo IV.

Fig. 1.6 Secador de charolas experimental.



### 5. Determinación de las condiciones de proceso.

La determinación de las condiciones de proceso se realizó en base a la caracterización del equipo. Dentro de lo más importante tenemos lo siguiente: la velocidad del aire es importante ya que influye directamente con el tiempo de secado del producto, es por esto que fue necesario establecer la distribución de las velocidades del aire dentro del secador, ya que existen niveles en que la velocidad del aire sea diferente.

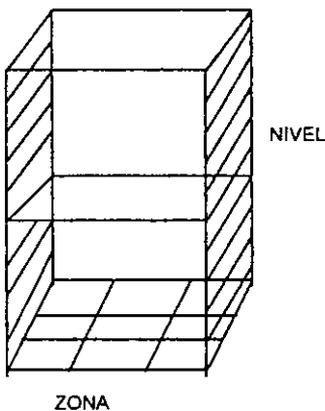
Se supone que en toda la cámara de secado debe existir una igual velocidad de secado pero no fue así, por esta razón se tomaron las velocidades de secado en los 11 niveles de acomodo de charolas como se muestra en el siguiente cuadro. Se puede observar que en el nivel 6 existe una mayor velocidad de secado de 1.6 m/s.

Por otra parte para conocer la variación de la temperatura que está en función de las diferentes presiones de operación, y así poder obtener un perfil de temperatura que permitiera tener un control durante la operación de secado. Los resultados muestran que las presiones de  $0.2 \text{ Kg/cm}^2$  a  $10 \text{ Kg/cm}^2$  proporcionan un rango de temperatura de  $70$  a  $90^\circ\text{C}$ . Sin embargo, cabe mencionar que la mayoría de los casos la temperatura de secado depende del producto, ya que si excede la temperatura recomienda, puede provocar cambios no deseados en el producto, como oscurecimiento, cambio en la textura, color, etc.

NIVEL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V(m/s)	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5

La cámara de secado se dividió en 9 zonas, donde se fue tomando la velocidad del aire en los 11 niveles de acomodo de charolas.

Fig. 1.7 Cámara de secado.



Para toda la experimentación se disponía de 36 Kg de chile morita fresco, que fueron distribuidos en todos los niveles de variación de temperaturas y presentación del chile. Por lo que por cada corrida se alimentó con un kilogramo de chile morita fresco y para llevar acabo la experimentación en el equipo de secado se decidió tomar el peso antes de que se sometiera a deshidratar el chile y así como tomar el peso cada 10 min. en cada corrida. No se fijaron intervalos menores de tiempo para interrumpir en lo mínimo posible el proceso de secado, es decir, si se hubiera muestreado cada 2 ó 5 min. se desestabilizaría el coeficiente de transferencia de masa por un mayor número de veces interrumpido, no teniendo datos confiables para el análisis de la cinética de secado. En el cuadro 3.3 se resumen todas las condiciones que se manejaron durante toda la experimentación.

Cuadro 3.4 Condiciones de proceso durante la experimentación.

VARIACION	CONDICIONES
Velocidad del aire	1.60 m/s
Circulación del aire	paralelo
Recirculación del aire	Boquilla a 60°
Temperaturas	70, 80, y 90°C
Masa de alimentación	1 Kg de chile
No. de charolas	una charola de 74.4 de largo x 28.5 ancho

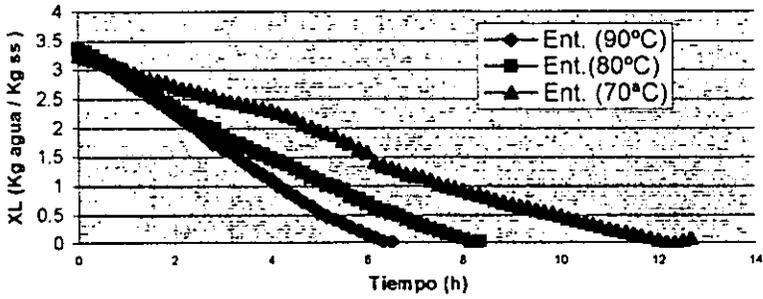
### ETAPA 3

**Objetivo 2.** Evaluar las mejores condiciones de operación de secado, variando temperaturas y geometría del chile morita, para obtener características de calidad del mismo y determinar las condiciones de operación con las cuales se requiere menor tiempo de secado.

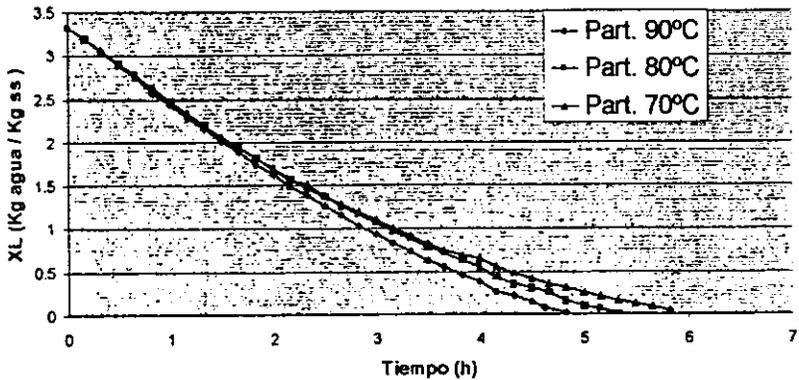
#### **Actividad 2.2 Determinar el tiempo de secado del chile morita**

A partir de los datos obtenidos durante las pruebas realizadas, (la secuencia de cálculo para obtener estos resultados se puede observar en el anexo V), se graficó una curva de contenido de humedad como función del tiempo, como se muestra en las gráficas 3.1 a 3.4 donde se observa que la humedad del chile va disminuyendo conforme pasa el tiempo, pero el tiempo necesario para alcanzar la humedad de equilibrio es diferente para cada prueba ya que depende de la naturaleza de la humedad, la naturaleza del sólido y la temperatura; para todos los cálculos se tomó la misma humedad en equilibrio que fue de 0.08 Kg de humedad en equilibrio/ kg de sólido seco; por otra parte se observa en las mismas gráficas que el tiempo total de secado se reduce al aumentar la temperatura del aire de secado; sin embargo tiene que ver la geometría del chile ya que esta en función de la superficie específica, ya que cuando existe un mayor contacto del aire hacia el sólido hay una superficie de evaporación del agua mayor, como se puede apreciar en las gráficas 3.3 y 3.4 donde el tiempo se reduce considerablemente. Especialmente en la gráfica 3.4 donde el chile fue secado en rodajas se puede apreciar que para las tres temperaturas empleadas el tiempo fue el mismo, esto pudo haber sido por que al mismo tiempo alcanzaron el equilibrio no importando la temperatura que se le aplico.

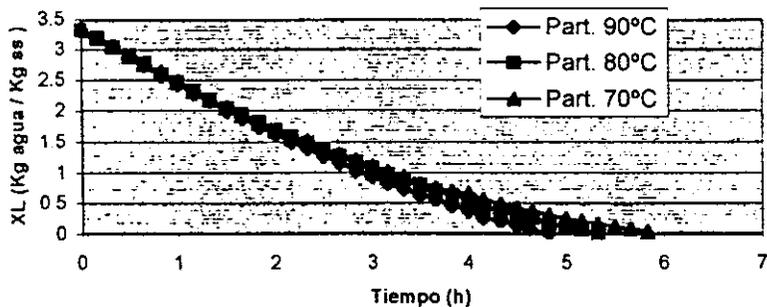
GRÁFICA 3.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL SECADO DE CHILE M. ENTERO



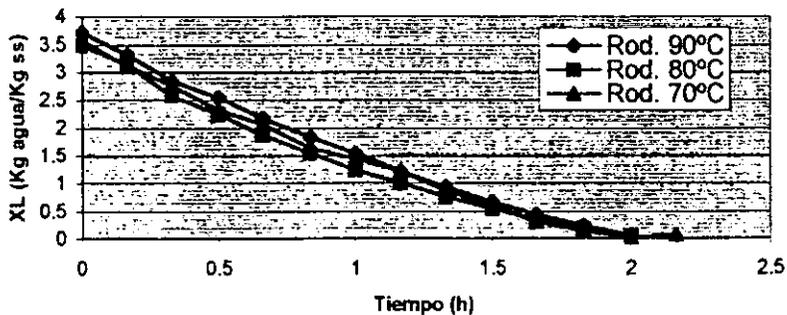
GRÁFICA 3.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN CHILE M. ENTERO PRETRATADO



GRÁFICA 3.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL CHILE M. PARTIDO



GRÁFICA 3.4 EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO DEL CHILE M. EN RODAJAS

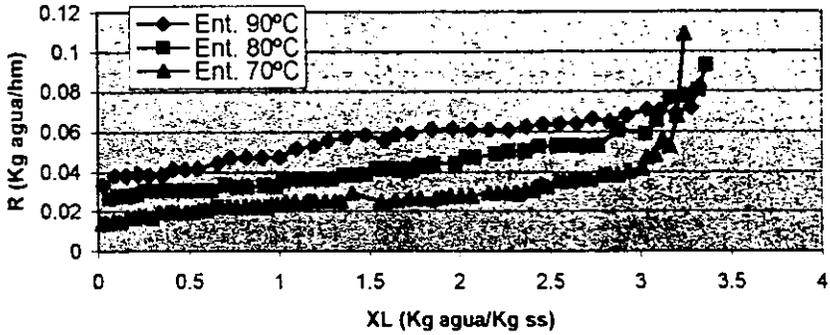


La información de los datos se convirtieron a rapidezces o fluxes de secado  $R$  ( $\text{Kg/h} \cdot \text{m}^2$ ) y se graficaron contra el contenido de humedad que lo representan las gráficas 3.5 a 3.8. Esto se determinó a partir de pequeños cambios en el contenido de humedad  $\Delta x$  para los cambios pequeños correspondientes en el tiempo  $\Delta t$  y calculando la rapidez como  $R = -L_s \Delta x / A \Delta t$ , (ver anexo V). Estas serán útiles para determinar el tiempo necesario para secar grandes lotes en las mismas condiciones de secado.

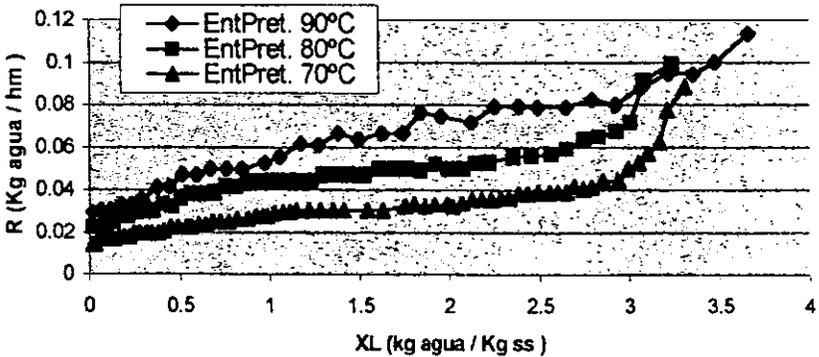
Teóricamente la tendencia que debe seguir la rapidez de secado se mostró en Capítulo 1 específicamente en la figura 1.6 a pesar que dicha tendencia depende del producto a deshidratar, donde se apreciaban los periodos de rapidez constante y decreciente; pero a menudo esto no es así ya que existen sólidos diferentes y condiciones distintas de secado que dan lugar a curvas con formas diferentes en el período decreciente. Este es nuestro caso ya que como se observa en las gráficas 3.5 a 3.8 no se distingue el período constante por esa razón se decidió calcular el tiempo en este periodo porque gráficamente no se aprecia, esto pudo haber sido porque el chile sólo tenía una capa delgada de agua y además existente en el interior del mismo que hizo que el líquido se evaporara rápidamente y diera lugar a que el período durará poco tiempo.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

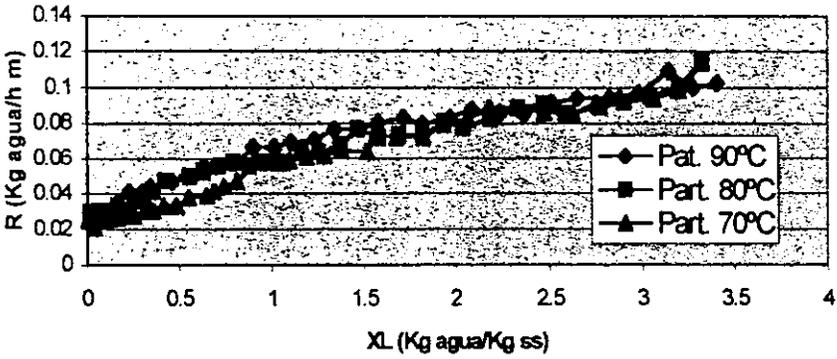
GRÁFICA 3.5 VELOCIDAD DE SECADO DEL CHILE M. MORITA



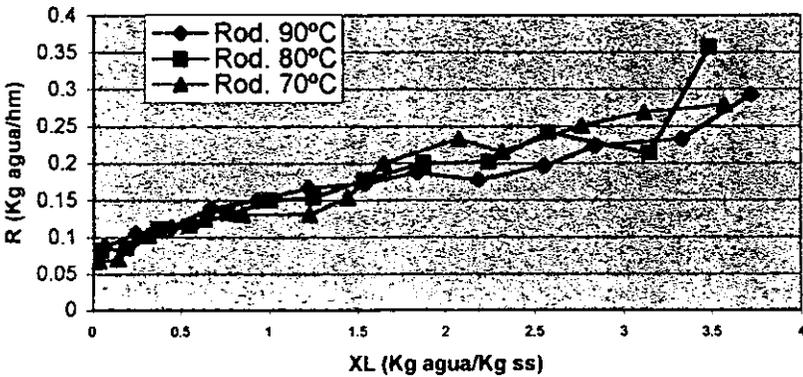
GRÁFICA 3.6 VELOCIDAD DE SECADO DEL CHILE M. ENTERO PRETRATADO



GRÁFICA 3.7 VELOCIDAD DE SECADO DEL CHILE M.  
PARTIDO



GRÁFICA 3.8 VELOCIDAD DE SECADO DEL CHILE M.  
EN RODAJAS



Este período continua mientras el agua continúe llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora, pero como no es así la rapidez va ser diferente cada determinado tiempo. En el cuadro 3.5 se aprecian los tiempos del período constante, siendo diferente para cada caso, por ejemplo, para el chile en rodajas a los 90°C empieza a los 23 minutos, mientras que para 70°C comienza a los 27 minutos. Por lo tanto para temperaturas de 90°C el período inicia a los 23 minutos para 80°C a los 16 minutos y a los 70°C a los 26 y 27 minutos después de haber iniciado el proceso de deshidratación y termina en el momento donde empieza el período decreciente.

Cuadro 3.5 Tiempo en el período constante

CHILE MORITA	90°C HORAS	80°C HORAS	70°C HORAS
ENTERO	0.234	0.166	0.268
ENTERO PRETRATADO	0.238	0.165	0.273
PARTIDO	0.233	0.166	0.273
RODAJAS	0.239	0.168	0.277

Para del período decreciente no hay suficiente agua en la superficie del chile para mantener una película continua, la superficie ya no está totalmente mojada y la porción mojada empieza a disminuir durante este período, hasta que la superficie que totalmente seca. En el cuadro 3.6 se muestran los tiempos donde comienza la rapidez decreciente y a su vez la terminación del período constante.

Cuadro 3.6 Tiempo en el período decreciente.

CHILE MORITA	90°C HORAS	80°C HORAS	70°C HORAS
ENTERO	0.766	0.67	0.311
ENTERO PRETRATADO	0.683	0.332	0.256
PARTIDO	0.582	0.581	0.158
RODAJAS	0.452	0.426	0.233

En el periodo de rapidez decreciente el secado se verifica por evaporación de la humedad del área expuesta del chile, la humedad se desplaza desde el interior del chile hasta la superficie del mismo. El mecanismo de este movimiento esta dado por difusión ya que la difusión de la humedad líquida se verificó porque hay una diferencia de humedades entre el interior del chile y su superficie, (los cálculos de difusividades se muestran en el anexo VI). En el Cuadro 3.7 se representa las diferentes difusividades que se tienen en el proceso, los resultados suponen que entre más alto sean los coeficientes de difusividad la concentración de agua inicial dentro del sólido fluye más rápido hacia la superficie del mismo, estos coeficientes se calcularon por la 2ª Ley de Fick y se utilizó el gráfico de difusión en estado no estacionario (ver anexo VI) a partir

de los valores de cantidad de humedad no eliminada y tomando como geometría una placa de chile morita.

Cuadro 3.7 Difusividades a diferentes temperaturas del chile morita.

TEMPERATURAS °C	ENTERO Dx10 <sup>5</sup> (m <sup>2</sup> /s)	ENTERO PRETRATADO Dx10 <sup>5</sup> (m <sup>2</sup> /s)	PARTIDO Dx10 <sup>5</sup> (m <sup>2</sup> /s)	RODAJAS Dx10 <sup>5</sup> (m <sup>2</sup> /s)
90	2.955	8.61	8.808	0.21
80	5.788	5.727	7.38	0.193
70	3.592	3.845	7.962	0.204

Los tiempos de secado del chile en todos los experimentos varían uno de otro, además de que son muy largos, esto se debe a que previamente se obtuvo la humedad inicial del chile (88.86%), y tenía que ser deshidratado hasta una humedad del 20% aproximadamente, esto es para facilitar su molienda. Como se observa en el cuadro 3.8 el comportamiento es el esperado; es decir, conforme aumenta la temperatura y la superficie específica la velocidad de secado disminuye. Considerando que el menor tiempo de secado total es aquel que el chile fue presentado en rodajas, seguido del partido, entero pretratado y entero.

Cuadro 3. Tiempo total del proceso de secado.

TEMPERATURAS °C	ENTERO (h)	ENTERO PRETRATADO (h)	PARTIDO (h)	RODAJAS (h)
90	6.66	6.0	5.16	2.16
80	8.5	8.0	5.66	2.16
70	12.66	11.83	6.33	2.16

Con la finalidad de tener una referencia final para poder elegir las condiciones que se recomendarían para deshidratar el chile morita. Primero se tomó en cuenta la presentación del chile, se consideró no invertir más mano de obra que la necesaria para

llevarlo a cabo, es decir se descarta la presentación del chile partido y en rodajas ya que se necesitaría personal para el troceado, y esto repercutiría directamente en el tiempo, además este chile no se seca de forma homogénea. Por otra parte para la elección del entero se consideraron el tiempo final de secado y su temperatura; por lo tanto se eligió el entero pretratado que presenta un menor tiempo (6.0 h) a una temperatura de 90°C porque esta no afecta en la apariencia final del chile, además se acentuó más el color, además es el que presenta un mayor coeficiente de difusión lo que nos representa que el agua contenida en el interior fluye más rápido hacia la superficie del chile. Por lo tanto el chile que se utilizó para la elaboración de la salsa tipo valentina fue el chile morita entero pretratado con NaOH al 2% y se sometió a una deshidratación con una temperatura de aire de secado de 90°C.

#### **ETAPA 4**

**Objetivo 3.** Predicción de una ecuación para el tiempo de proceso en función de la temperatura, geometría y masa.

A partir de los resultados anteriormente obtenidos y mediante la alineación de los datos de temperaturas, geometría y masa del chile, se obtuvo una ecuación que predecirá el tiempo de proceso para cualquier temperatura y masa del chile, (la secuencia se describe con detalle en el anexo VII).

Esta ecuación sólo es aplicable para el chile morita en un proceso a presión atmosférica de 585 mmHg, y el secador de charolas descrito en el capítulo I con una capacidad de 20 kg a las condiciones manejadas durante toda la fase experimental.

$$t = F (0.670 M) \cdot T + 0.0129 M + 99.05$$

donde:

F = Factor de presentación del chile morita

@ chile entero = 6.785

@ chile entero pretratado = 6.250

@ chile partido = 3.392

@ chile en rodajas = 1.160

M = Masa de alimentación (g)

T = Temperatura del aire de secado (°C)

t = Tiempo del proceso ( min)

**Objetivo 4.** Elaborar la salsa tipo "valentina", así como evaluar sus características finales, a partir de pruebas reológicas, fisicoquímicas y microbiológicas para compararlo con el comercial.

**Actividad 4.1** Evaluar las características fisicoquímicas y reológicas de la salsa valentina comercial.

4.1.1 Medición de pH, °Brix y densidad

La determinación de °Brix de la salsa valentina comercial del tipo muy picosa se realizó por índice de refracción, con un refractómetro marca Abbe con precisión de 0.1

°Brix. La muestra utilizada se adquirió en tiendas de supermercados, realizándose tres repeticiones de medición de °Brix con diferentes muestras.

La densidad se determinó por la medición de peso de una muestra a un volumen constante de un picnómetro con capacidad de 25 ml. Cada una de las mediciones de las diferentes muestras se realizó a temperatura ambiente (25°C), con tres repeticiones.

El pH se evaluó por el diferencial de potencial, (el procedimiento se describe en el anexo VIII). Esta prueba se repitió tres veces para cada muestra.

El análisis estadístico que se aplicó a los resultados de las repeticiones de pH, °Brix y densidad, fue un promedio, calculando su desviación estándar y el coeficiente de variación (CV), para conocer el porcentaje de error cometido experimentalmente y desechar aquellos valores que aumentaron por arriba del 10% del C. V. Los resultados se reportan en el siguiente cuadro 3.9.

Cuadro 3.9 Características de pH, °Brix y densidad

pH	Brix	Densidad (kg / m <sup>3</sup> )	Sólidos Totales (%)
3.35	6.95	1045	25

#### 4.1.2 Caracterización reológica

La caracterización se hizo utilizando un viscosímetro Brookfield RVT de 8 velocidades con el huso No. 2. La determinación del modelo y constantes reológicas se realizó por el método propuesto por Mitschka. (ver anexo IX)

Los resultados que se obtuvieron fue que la salsa valentina comercial, es un fluido no newtoniano, que sigue la ley de la potencia  $\tau = k \dot{\gamma}^n$ . Estos resultados dan la pauta para la elaboración de la salsa tipo "valentina", que se realizará posteriormente,

sus resultados deben ser iguales o semejantes para que pueda realizarse una comparación de esta. Los resultados se reportan en el cuadro 3.10

Cuadro 3.10. Caracterización reológica de la salsa valentina.

MODELO	CONSTANTES REOLOGICAS	
REOLOGICO	$K (Pa s^n)$	n
POTENCIA	3.552	0.207

#### Actividad 4.2 Elaboración de la salsa tipo "valentina"

La elaboración de la salsa se realizó con la formulación encontrada bibliográficamente, evaluando sus características fisicoquímicas y reológicas, hasta que se obtuvo una salsa semejante a la comercial en cuanto a dichas características encontradas anteriormente. Finalmente se obtuvo la formulación que dio las características que se estaban buscando. ( Cuadro 3.11).

Cuadro 3.11 Formulación final de la salsa valentina experimental.

INGREDIENTES	PORCENTAJE
AGUA	67.72
VINAGRE	20.64
CHILE M. SECO	6.4
CEBOLLA	0.8
ALMIDON DE MAIZ	1.5
AJO	0.5
SAL	0.35
CLAVO	0.05
CANELA	0.09
JENGIBRE	0.05
AZUCAR	1.9

Para poder elaborar la salsa tipo valentina se partió de la formulación bibliográfica, pero los resultados no fueron satisfactorios ya que su sabor era insípida y sin consistencia por lo que se decidió cambiar la formulación, para cada cambio se realizaron pruebas fisicoquímicas y reológicas hasta encontrar la que se semeja a estas características de la comercial. Por lo tanto se obtuvo la que se reporta en el cuadro 3.11 en esta se puede apreciar que hay un aumento en el porcentaje de especias y se disminuyo en el agua y el chile morita seco, con respecto a la del cuadro 4.2.

#### 4.2.1 Medición de pH, °Brix y densidad

Esta determinación se realizó con el mismo procedimiento descrito en el anexo VIII, y los resultados se presentan en el cuadro 3.12

Cuadro 3.12 Características fisicoquímicas de la salsa valentina experimental.

pH	°BRIX	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )
4.0	7.2	1049

#### 4.2.2 Características reológicas

La evaluación de las características reológicas se realizaron también con un viscosímetro Brookfield, encontrando el modelo reológico así como sus constantes, estos se presentan en el cuadro 3.13.

Cuadro 3.13 Características reológicas de la salsa valentina experimental.

MODELO REOLÓGICO	CONSTANTES REOLÓGICAS	
	K (Pa s <sup>n</sup> )	n
POTENCIA	3.622	0.295

#### 4.2.3 Análisis Microbiológico

Se realizaron análisis microbiológicos para ver si cumple con los estándares establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-F-346-5-1980, para salsa valentina, y se obtuvieron los siguientes resultados (Cuadro 3.14).

Cuadro 3.14 Comparación de resultados obtenidos entre la salsa valentina experimental y comercial.

EVALUACIÓN	SALSA VALENTINA EXPERIMENTAL	SALSA VALENTINA COMERCIAL
<b>FISICOQUIMICOS</b> PH °Brix Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	4.0 7.2 1049	3.35 6.95 1045
<b>REOLOGICOS</b> Modelo reológico K(Pa s <sup>n</sup> ) n	Potencia 3.622 0.295	Potencia 3.522 0.207
<b>MICROBIOLOGICOS</b> Mesófilos aerobios Hongos y levaduras Coliformes	400 Col/g 40 % Campos 0 Col/g	350 Col/g 40 % Campos 0 Col/g

Todos los resultados reportados son satisfactorios, por lo cual se puede decir que cumple con la calidad de higiene y aspectos necesarios para introducirlo al mercado.

#### Actividad 4.3 Prueba de degustación

Con la finalidad de conocer la aceptación del producto y compararlo con el comercial en cuanto a cualidades de sabor, olor y consistencia, se realizó una prueba de degustación. Esta prueba consistió en dar a probar a 30 personas dos tipos de salsa valentina (experimental y comercial); para esto se aplicó un cuestionario. Cuadro 3.15

Una vez concluida la encuesta se procedió a efectuar la prueba de hipótesis estadística, usando la t de Student para determinar si hay o no diferencia perceptible de ambas muestras ( 31 ).

Hipótesis nula ( $H_0$ ) : declara que no hay diferencia en las muestras que se estudian.

$$H_0 = M_1 = M_2$$

Hipótesis alternativa ( $H_a$ ): declara que si hay diferencia en las muestras que se estudian.

$$H_a = M_1 \neq M_2$$

Este planteamiento se conoce como bilateral ya que no se declara sentido alguno de la diferencia. ( 31 ).

Cuadro 3.15 Cuestionario aplicado para la prueba de degustación.

Indique qué tanto le gustan o disgustan las muestras de salsas, según la siguiente escala:

- 5.- Me gusta mucho
- 4.- Me gusta regular
- 3.- Me gusta poco
- 2.- No me gusta
- 1.- Me disgusta mucho

Asigne la calificación correspondiente a cada propiedad:

	Muestra 1	Muestra 2
Sabor	_____	_____
Olor	_____	_____
Consistencia	_____	_____

$M_1$  = Muestra 1 = salsa valentina comercial.

$M_2$  = Muestra 2 = salsa valentina experimental.

Debido a que cada juez calificó a cada par de muestras el procedimiento señala tomar la diferencia de cada par de calificaciones (D) y el cuadrado de la diferencia ( $D^2$ ).

Cuadro 3.16 Valores de t de Student

	SABOR	OLOR	CONSISTENCIA
t	8.745	1.026	1.114

Finalmente el valor de t se compara con el correspondiente al grado de libertad y al nivel de significancia ( $\alpha$ ) de las tablas (ver anexo X). Prosiguiendo a aceptar o rechazar la hipótesis planteada ( $H_0$ ) según sea el caso. ( 31 )

El valor de tablas " valores criticos para t de Student", para una t con g.1.= 29, dos colas y para  $\alpha = 0.05$ , es equivalente a 2.045; al compararlo con el valor calculado para el sabor  $t = 8.745$ , se observa que éste último es mayor en este caso; por lo tanto, la hipótesis nula ( $H_0$ ) se rechaza o sea que si hay diferencia en el sabor de ambas muestras por lo tanto se cumplió con el objetivo de dar otro sabor diferente a la salsa valentina. El valor calculado para olor y consistencia es menor a 2.045 por lo que se concluye que la hipótesis nula ( $H_0$ ) para estos casos no se rechaza porque no existe diferencia de olor y consistencia que es lo que se buscaba, esto a su vez indica que la salsa elaborada con el chile morita puede competir con la salsa valentina del tipo II ( muy picante)

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el caso específico de este trabajo se puede decir que al someter al chile morita entero a deshidratar con un pretratamiento con NaOH al 2% y una temperatura de aire de secado de 90°C, se obtiene un tiempo de proceso de 6 horas, disminuyendo 2 horas de proceso si se deshidrata el chile morita entero sin pretratar. Por otra parte la superficie de contacto del aire hacia el producto también fue un factor importante en el tiempo de secado, haciendo que a mayor superficie de contacto (chile en rodajas con espesor de 0.05 cm), menor tiempo de secado.

Se encontró que para todas las pruebas de secado existe un período de velocidad constante muy corto. aproximadamente, predominando el período decreciente. También se evaluó el movimiento del líquido hacia la superficie del chile, encontrando que este se lleva a cabo por difusión, por lo cual se calcularon los valores de difusividad mediante la segunda ley de Fick para una placa.

De la ecuación obtenida se tiene un tiempo de proceso de secado del chile morita a partir de la masa de alimentación y presentación que se desee, además de la temperatura a emplear, lo que es bastante útil para el productor ya que se verá beneficiado en costos y tiempo.

Las características del producto final obtenido son semejantes a las del producto comercial, de acuerdo con las pruebas realizadas (físicoquímicas y reológicas), además de las de aceptabilidad, por lo que el producto puede competir en el mercado con las salsas de este tipo, por otra parte esta cumple con los estándares microbiológicos de acuerdo a la Norma Mexicana NOM-F-346-5-1980.

Considerando los resultados obtenidos se concluye que no sólo se disminuyó el tiempo de operación de secado, sino que se puede obtener un subproducto más del chile morita, es decir que no sólo se podrá comercializar el chile seco, sino que se utilizará para preparar otro tipo de productos que dentro de sus ingredientes se utilice chile en polvo como en el caso de las salsas botaneras o en específico en la valentina.

En cuanto al secador de charolas, se tienen las siguientes recomendaciones:

- \* Se debe cambiar la válvula reguladora de presión de vapor, ya que su funcionamiento no es adecuado. Esto dificulta el control de la presión de trabajo e impide el correcto control de las condiciones de la experimentación.

- \* También se debe cambiar la trampa de vapor, ya que no funciona correctamente, deja escapar una gran cantidad de vapor, evitando que se condense en el intercambiador de calor del equipo. esto reduce la eficiencia térmica del equipo e incrementa los costos de operación del mismo.

- \* Se debe adecuar un sistema para que las mediciones de peso del producto se puedan realizar dentro del mismo equipo. con esto se evitará sacar constantemente la charola del equipo, lo que ocasiona pérdidas de tiempo y de calor al estar abriendo determinado tiempo la puerta, ya que el aire caliente se escapa y entra aire frío.

## ANEXOS

## ANEXO I. NOMENCLATURA

- $\gamma$  = Deformación  
 $\rho$  = Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)  
 $\tau$  = Esfuerzo cortante  
 $\kappa$  = Índice de consistencia (Pa s<sup>n</sup>)  
 $\rho_a$  = Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_s$  = Densidad del sólido  
 $\Delta t$  = Diferencia de tiempo (h)  
 $\lambda_w$  = Calor latente (J/Kg)  
 $\Delta x$  = Diferencia de humedades  
 $A$  = Área de secado (m<sup>2</sup>)  
 $a^*$ ,  $b^*$  = Coordenadas de croma  
 $D_{ab}$  = Difusividad másica (m<sup>2</sup>/s)  
 $G$  = Masa de velocidad de aire (kg/h m<sup>2</sup>)  
 $h$  = Coeficiente convectivo (W/m<sup>2</sup>°K)  
 $L^*$  = Luminosidad  
 $L_i$  = Porcentaje de torque  
 $L_s$  = Sólido seco usado (Kg)  
 $N_i$  = Velocidad de huso (r.p.m.)  
 $^{\circ}\text{Bx}$  = Grados brix  
 $R$  = Velocidad de secado (Kg agua / kg h m<sup>2</sup>)  
 $R_c$  = Velocidad de evaporación de agua (Kg agua/Kg h m<sup>2</sup>)  
 $T$  = Temperatura de bulbo seco (°C)  
 $T_c$  = Tiempo de secado en período constante (h)  
 $T_d$  = Tiempo en período decreciente (h)  
 $T_m$  = Tiempo muerto de secado (h)  
 $T_T$  = Tiempo total de secado  
 $T_w$  = Temperatura de bulbo húmedo (°C)  
 $V$  = Velocidad del aire (m/s)  
 $V_h$  = Volumen húmedo (m<sup>3</sup>/Kg aire seco)  
 $W$  = Sólido húmedo (Kg)  
 $W_s$  = Peso del sólido seco (Kg),  
 $X^*$  = Humedad en equilibrio (kg agua / kg ss)  
 $X_c$  = humedad crítica (kg agua/kg ss)  
 $X_f$  = Humedad final (Kg agua/Kg ss)  
 $X_i$  = Humedad inicial (Kg agua/Kg ss)  
 $X_L$  = Humedad libre (kg agua/kg ss)  
 $X_T$  = Humedad total (kg agua/kgss)

## ANEXO II. EQUIPO DE MEDICIÓN DE COLOR.

En la prueba de color se utilizó un Colorímetro Minolta CR-300, como el que muestra en la figura 1.8 (Pag. 98). La medición se realizó directamente sobre el tejido del chile en la parte central del mismo.

El colorímetro fue calibrado con la placa CR-A43, que tiene los valores de  $Y = 94.7$ ,  $x = 0.3136$ ,  $y = 0.3201$ , las mediciones que se obtuvieron fueron luminosidad (%) y coordenadas de croma.

Dicho colorímetro es un analizador de color compacto para la medición de colores reflejados o de superficies. El colorímetro consta de una cabeza sensora y un procesador de datos DP-301. La cabeza sensora del colorímetro tiene un espacio circular de 8 mm de diámetro para tomar la lectura y utiliza iluminación difusa y  $0^\circ$  de ángulo de observación para obtener medidas precisas sobre una gran variedad de objetos.

El colorímetro ofrece cinco diferentes sistemas de color para la medición absoluta del color. { CIE  $Yxy$  (1931),  $L^*a^*b^*$  (1976),  $L^*C^*H^\circ$  (1976) y XYZ (1931); Hunter Lab} y cuatro sistemas para la medición de las diferencias de color { $\Delta(Yxy)$   $\Delta(L^*a^*b^*)$   $\Delta(L^*C^*H^\circ)$  y Hunter  $\Delta(lab)$  } Además la diferencia absoluta de color  $\Delta E^*_{ab}$  es también mostrada en pantalla cuando se emplean los siguientes sistemas de color  $\Delta(L^*a^*b^*)$  o  $\Delta(L^*C^*H^\circ)$  y la diferencia absoluta de color  $\Delta E$  es mostrada en el sistema de color Hunter  $\Delta(Lab)$ . (33)

El sistema que se utilizó para este caso fue el sistema  $Yxy$  (CIE 1931),  $Y$  es el factor de luminosidad expresado como el porcentaje, basado en una reflectancia perfecta de 100%, y  $x$  y  $y$  son las coordenadas de cromaticidad de la CIE 1931  $x$ .

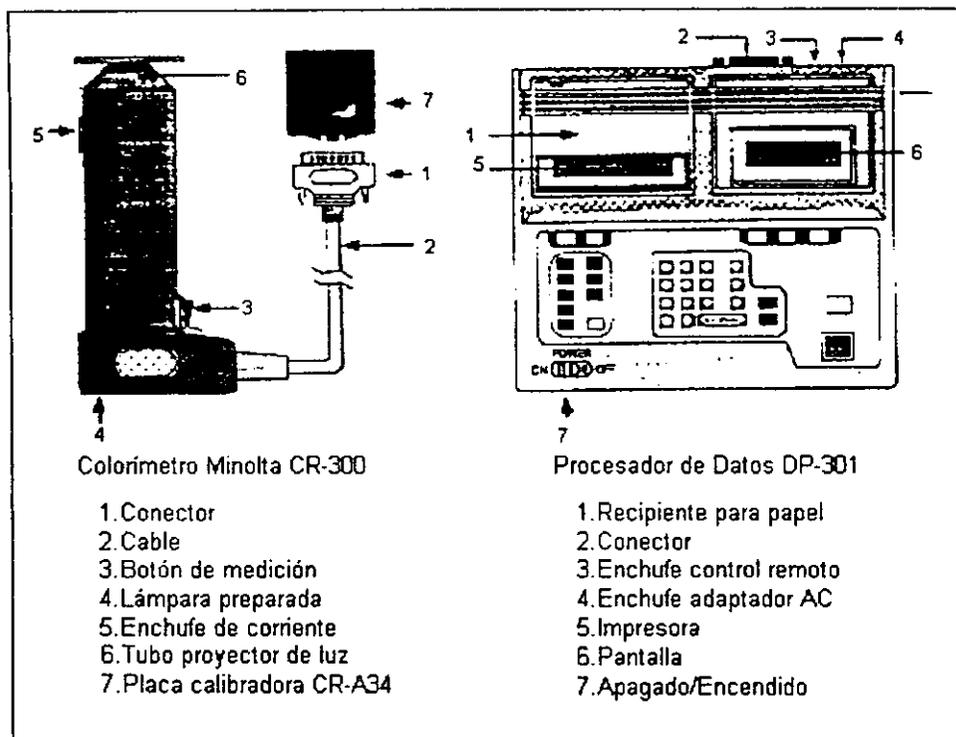


Fig. 1.8 Colorímetro y procesador de datos Minolta.

### ANEXO III. EQUIPO DE MEDICIÓN DE HUMEDAD

Se utilizó una termobalanza digital modelo AD-4714A la cual determina el contenido de humedad (como un porcentaje) de una muestra por calentamiento de la misma con luz infrarroja para evaporar el contenido de humedad y después medir el cambio en masa.

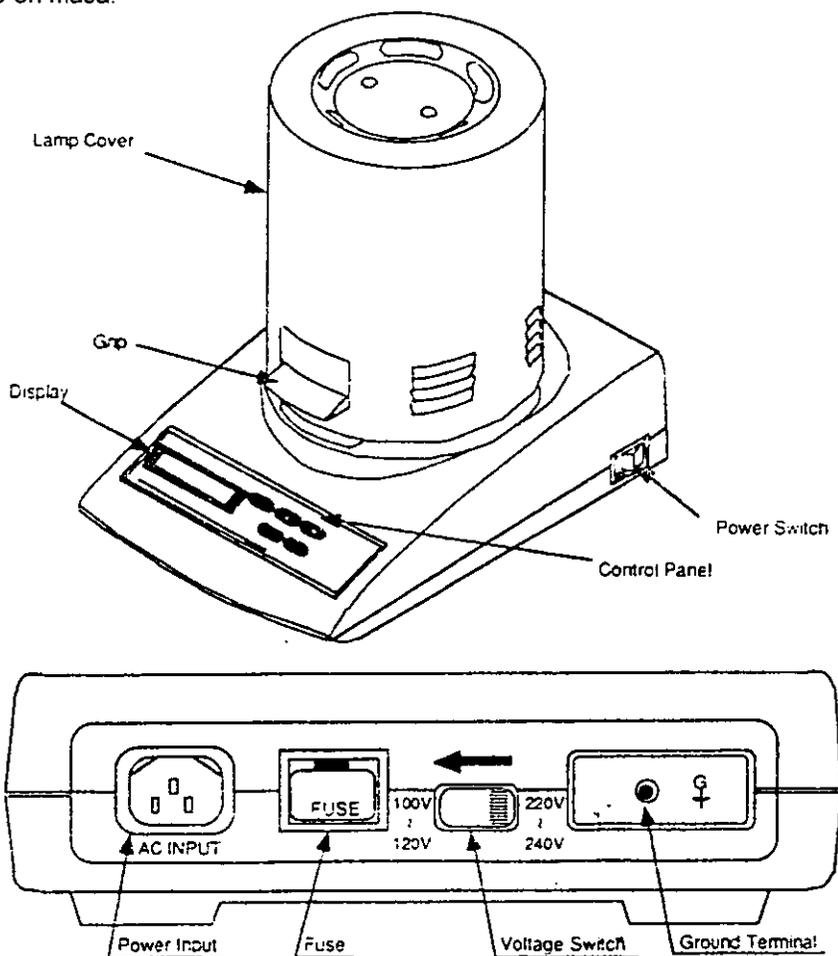


Fig. 1.9 Termobalanza digital AND

#### ANEXO IV. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL SECADOR DE CHAROLAS

En este tipo de secador, el aire se mueve mediante un ventilador a través del intercambiador de calor con la finalidad de calentarlo, el medio de calefacción es vapor saturado y es de importancia mencionar que el intercambiador de calor tiene conectado un manómetro y una válvula reductora de presión para el control de la temperatura del aire de secado. Dicho intercambiador se encuentra ubicado fuera del compartimiento de secado. En la cámara de secado del equipo se encuentran los bastidores fijos para colocar las charolas. El secador de charolas tiene el siguiente procedimiento de operación:

- a) Cerrar la puerta de la cámara de secado
- b) Poner en marcha el ventilador
- c) Abrir las válvulas de purga del equipo
- d) Abrir la válvula de vapor lentamente para purgar la línea
- e) Cerrar la válvula de purga del equipo
- f) Controlar con la válvula reguladora la temperatura del aire de secado
- g) Cargar manualmente al material a secar en las charolas
- h) Colocar las charolas en el interior del secador
- y) Extraer una muestra del secador casi al final del secado para checar la humedad.

Una vez que se completa la deshidratación del material, se procede a detener el funcionamiento del equipo de la siguiente manera:

- a) Cerrar las válvulas de suministro de vapor
- b) detener el ventilador
- c) Descargar las charolas del material seco
- d) Limpiar las charolas y colocarlas dentro del secador.

## ANEXO V. SECUENCIA DE CÁLCULO PARA EL TIEMPO TOTAL DE SECADO.

Para obtener la cinética de secado del chile jalapeño variedad morita y posteriormente calcular el tiempo total de secado se realizó lo siguiente: (ejemplo del chile morita pretratado con NaOH al 2%) secado a temperatura de 90°C.

1.- Se registro la disminución del peso del chile conforme transcurría el tiempo de secado, el peso se tomaba cada 10 min.

2.- Se cálculo la humedad total y la humedad libre

$$X_T = W - W_s / W_s \quad X_T = 1 - 0.211 / 0.211$$

$$W_s = 0.211 \text{ Kg agua/Kg ss} \quad = 3.739 \text{ Kg agua/Kg ss}$$

$$X_L = X_T - X^* \quad X_L = 3.659 \text{ Kg agua/Kg ss}$$

$$X^* = 0.08 \text{ kg agua/ kgss}$$

3.- también se calcula la velocidad de secado

$$R = - (Ls/A) (\Delta x/\Delta t)$$

$$R = -(0.211/2.120 \text{ m}^2)(-0.189/0.166) = 0.113 \text{ Kg agua / Kg h m}^2$$

inversa de la velocidad de secado:

$$1/R = 8.825$$

Los resultados se presentan en el cuadro 3.16 y posteriormente se procedió a graficar los resultados como se mostró en las gráficas 3.5 a 3.8

4.- Cálculo del tiempo en el periodo constante

$$T^\circ = 90^\circ\text{C}$$

$$T^{\circ w} = 37^\circ\text{C}$$

$$H = 0.072 \text{ Ka agua / Kg as (carta psicrometrica)}$$

$$VH = (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} H) T^\circ = 1.146 \text{ m}^3 / \text{Kg aire seco}$$

Cuadro 3.16 Valores finales de la cinética de secado del chile morita

t (h)	W (Kg)	X <sub>T</sub>	X <sub>L</sub>	$\Delta x$	$\Delta t$	R	1/R
0	1.0	3.739	3.659	-0.189	0.166	0.113	8.805
0.166	0.96	3.549	3.469	-0.118	0.164	0.071	13.919
0.33	0.935	3.431	3.351	-0.137	0.17	0.080	12.438
0.5	0.906	3.293	3.213	-0.151	0.16	0.094	10.609
0.66	0.874	3.142	3.062	-0.137	0.173	0.078	12.658
0.833	0.845	3.004	2.924	-0.132	0.167	0.079	12.655
1.0	0.817	2.872	2.792	-0.146	0.166	0.088	11.362
1.166	0.786	2.725	2.645	-0.156	0.164	0.094	10.545
1.33	0.753	2.568	2.488	-0.104	0.17	0.060	16.396
1.5	0.731	2.464	2.384	-0.132	0.16	0.082	12.125
1.66	0.703	2.331	2.251	-0.127	0.17	0.074	13.360
1.83	0.676	2.203	2.123	-0.170	0.17	0.099	10.020
2.0	0.640	2.033	1.953	-0.123	0.16	0.076	13.057
2.16	0.614	1.909	1.829	-0.094	0.17	0.055	18.036
2.33	0.594	1.815	1.735	-0.113	0.17	0.066	15.030
2.5	0.57	1.701	1.621	-0.127	0.16	0.079	12.574
2.66	0.543	1.573	1.493	-0.113	0.17	0.066	15.030
2.83	0.519	1.459	1.379	-0.109	0.17	0.063	15.683
3.0	0.496	1.350	1.270	-0.099	0.16	0.061	16.166
3.16	0.475	1.251	1.171	-0.113	0.17	0.066	15.030
3.33	0.451	1.137	1.057	-0.085	0.17	0.049	20.040
3.5	0.433	1.052	0.972	-0.127	0.16	0.079	12.574
3.66	0.406	0.924	0.844	-0.085	0.17	0.049	20.040
3.83	0.388	0.838	0.758	-0.090	0.17	0.052	18.985
4.0	0.369	0.748	0.668	-0.075	0.16	0.047	21.219
4.16	0.353	0.672	0.592	-0.080	0.17	0.047	21.219
4.33	0.336	0.592	0.512	-0.071	0.17	0.041	24.048
4.5	0.321	0.521	0.441	-0.066	0.16	0.041	24.250
4.66	0.307	0.454	0.374	-0.085	0.17	0.049	20.040
4.83	0.289	0.369	0.289	-0.056	0.17	0.033	30.060
5.0	0.277	0.312	0.232	-0.056	0.16	0.035	28.292
5.16	0.265	0.255	0.175	-0.056	0.17	0.033	30.060
5.33	0.253	0.199	0.119	-0.052	0.17	0.030	32.793
5.5	0.242	0.146	0.066	-0.047	0.16	0.029	33.950
5.66	0.232	0.099	0.019	-0.052	0.17	0.030	32.793
5.83	0.221	0.0473	0.032	-0.047	0.17	0.027	36.072
6.0	0.211	0	0.08	-0.08	0		

$$\sigma = 1 + H / VH$$

$$\sigma = 1 + 0.072 / 1.146$$

$$= 0.935 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$G = V\sigma$$

$$= (1.6 \text{ m/s})(0.935 \text{ Kg/m}^3)$$

$$= 1.496 \text{ Kg} / \text{s m}^2 = 5388.062 \text{ Kg} / \text{h m}^2$$

$$h = 0.0204G^{0.8}$$

$$= (0.0204)(5388.062)^{0.8}$$

$$= 19.714 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$R_c = h(T - T_w) / \lambda_w$$

$$\text{at } 37^\circ\text{C } \lambda_w = 2413914.32 \text{ J} / \text{Kg}$$

$$R_c = 19.714(363 - 310) / 2413914.32$$

$$= 1.558 \text{ Kg} / \text{h m}^2$$

$$T_c = - (L_s / AR_c)(X_i - X_f)$$

$$= -(0.211 / (2.120\text{m}^2))(1.558 \text{ Kg/hm}^2) (4.0 - 0.25)$$

$$T_c = 0.238 \text{ h}$$

### 5.- Cálculo del tiempo en el periodo decreciente

En este período la velocidad de secado no es constante, sino que disminuye cuando el secado pasa por la zona de contenido crítico de humedad ( $X_c$ ). Para este caso se utilizó una integración gráfica, se trazó  $1/R$  en función de  $X$  y determinando el área bajo la curva se tiene:

$$T_d = Ls/A \int_{x_0}^{x_1} 1/R$$

$$T_d = \left( \frac{0.211 \text{ kg}}{0.3725 \text{ m}^2} \right) (11.6 \text{ m}^2 \text{ h}) = 6.57$$

$$T_T = T_d + T_c$$

$$= 6.57 + 0.238 = 6.8 \text{ h}$$

## ANEXO VI OBTENCIÓN DE COEFICIENTES DE DIFUSIÓN

Para la obtención de los coeficientes de difusión se utilizó el gráfico de difusión en estado no estacionario (42), a partir de los valores de cantidad de agua o humedad no eliminada (E) y tomando en cuenta una placa de chile, se obtuvieron los coeficientes de difusión. A continuación se muestra el procedimiento utilizado.

De los datos experimentales se obtuvo:

$E = 0.120$  y utilizando la gráfica se obtiene

$$0.84 = D\theta / C^2$$

donde : D = es la difusividad

$\theta$  = tiempo ( s )

$$D = 0.84C^2 / \theta$$

$$D = 0.84(1.488\text{m})^2 / 21,600 \text{ s}$$

$$D = 8.61 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

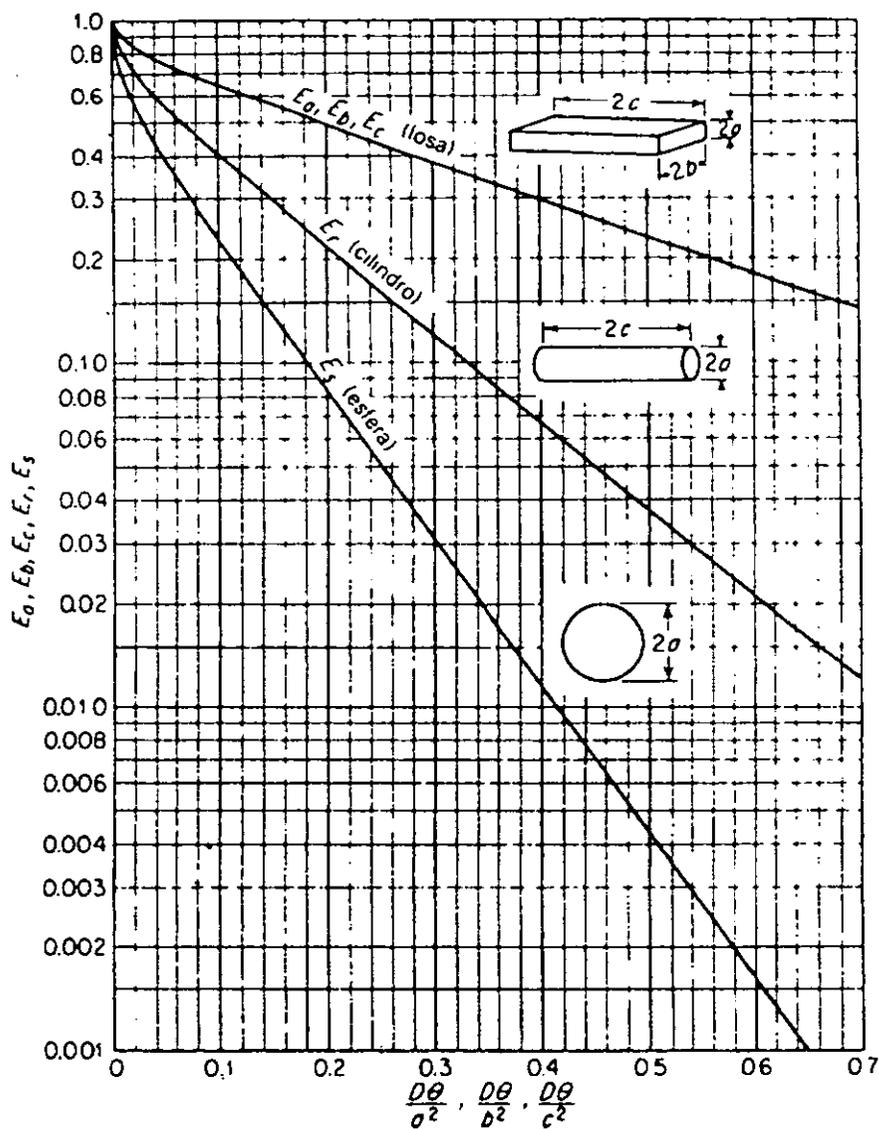
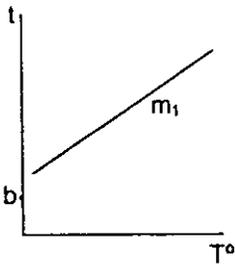


Fig. 1.10 Difusión en estado no estacionario para cilindro, placa y esfera.

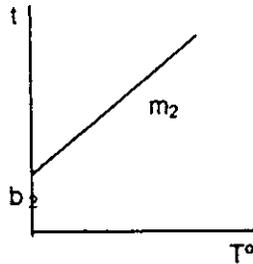
## ANEXO VII. PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LA ECUACIÓN DE PREDICCIÓN DEL TIEMPO DE SECADO.

Para llegar a la ecuación final se realizó el siguiente procedimiento:

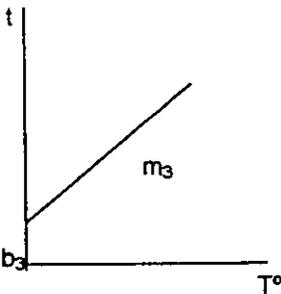
Obtención de la regresión lineal de  $t$  vs  $T^\circ$  a diferentes geometrías del chile



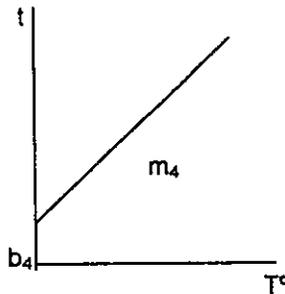
a) Chile Entero



b) Chile entero pretratado



c) Chile partido en cuatro



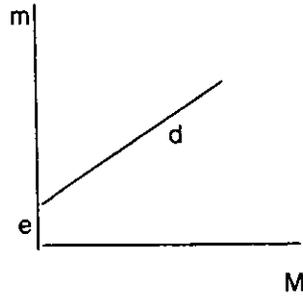
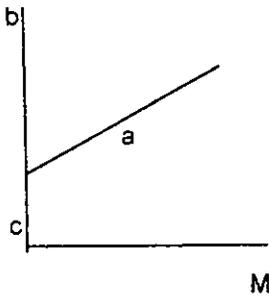
d) Chile en rodajas

Relación con ecuación de la recta

$$y = mx + b$$

$$t = mT^\circ + b$$

Con los datos obtenidos en el punto anterior se obtuvo la regresión lineal de ordenadas al origen y pendientes vs la masa de alimentación.



Relación de datos obtenidos con la ecuación de la recta.

$$Y = mx + b$$

$$m = d (\text{masa de alimentación}) + e$$

Obtención de la ecuación.

$$t = (dM + e)T^{\circ} + (aM + c)$$

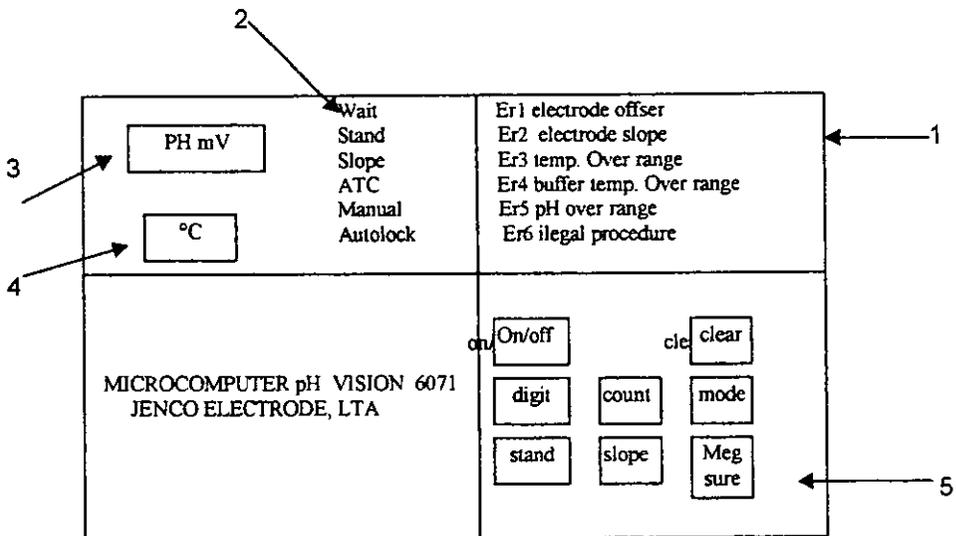
Para el chile morita entero:

$$t = 6.785 (0.670)(1000)70 + (0.0129)(1000) + 99.05 = 762.786 \text{ min.}$$

## ANEXO VIII. MEDICIÓN DE pH

El potenciómetro Jenco modelo 6071, es un instrumento de precisión para la medida de pH, mV y temperatura. Su microprocesador almacena, calcula y compensa todos los parámetros relevantes que se relacionan con la determinación de pH, tales como la temperatura del electrodo, las soluciones buffer y las desviaciones del electrodo.

Se utilizó un potenciómetro con precisión de 0.1 en la escala de pH de 0.1 a 14.0. Se colocó 1 ml. de salsa en 9 ml. de agua destilada para hacer una dilución, previamente se calibró el equipo con una solución buffer de pH 4.0 y 7.0 limpiándose los electrodos con agua destilada. A continuación los electrodos se introdujeron en la muestra y se esperó a que se estabilizará para su posterior toma de lectura.



- |                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| 1 Códigos de error          | 4 Pantalla de temperatura |
| 2 Luces indicadores         | 5 Teclas de función       |
| 3 Pantalla de lectura pH/mV |                           |

Fig. 1.11 Potenciómetro Jenco modelo 6071

## ANEXO IX. EQUIPO DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS

La consistencia de los dos tipos de salsas se caracterizó mediante un viscosímetro Brookfield RVT, este instrumento es útil para evaluar viscosidades de fluidos Newtonianos, el proveedor proporciona una tabla de factores, con los cuales se multiplica la lectura de % del torque obtenido a la velocidad de rotación manejada.

Una de las limitaciones de este instrumento es que no posee geometrías bien definidas (combinación de discos y cilindros), además de que éstas se sumergen en un medio considerado como infinito, lo que no permite un cizallamiento uniforme. Por lo anterior, no es posible evaluar directamente el esfuerzo de corte y velocidad de deformación, ya que hay que realizar correcciones por perfiles de velocidades.

Para la deducción de las constantes y ecuaciones se utiliza el método propuesto por Mitschka, donde no se toman en cuenta los efectos de borde, se supone un medio infinito y se analiza para fluidos de la potencia. Los intervalos de viscosidad manejado por cada modelo se muestran en el cuadro 3.18

Cuadro 3.18 Intervalos de viscosidad del viscosímetro Brookfield.

MODELO	HUSOS	VISC. MÍNIMA (cps)	VISC. MÁXIMA (cps)	VELOCIDADES
LVT	4	100	2,000,000	8
RVT	7	100	8,000,000	8
HAT	7	200	16,000,000	8
HBT	7	800	64,000,000	8

El procedimiento es el siguiente:

Se colocaron 600 ml. de muestra en un vaso de precipitado, seleccionándose el número de huso donde se obtuviera el mayor número de lecturas que estuvieran en un intervalo de 10 al 90 % de torque (para este caso fue el huso No. 2). Se realizaron curvas ascendentes y descendentes de los porcentajes de torque. Una vez obtenidos valores de torque (Li) y velocidades (Ni) se determinó el tipo de fluido, así como las constantes reológicas.

ANEXO X. VALORES CRÍTICOS PARA  $t$  DE STUDENT.

g.1.	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
1	1.0	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.61
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.55	5.041
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.90	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.689	0.863	1.069	1.33	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
$\alpha$	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Ref. (31)

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Adams, M. R. **MICROBIOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**. Edit. Acribia, S.A. España 1997.
- 2.- Badger, T. W. **INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA QUÍMICA**. Edit. McGraw-Hill. 1985.
- 3.- Biacs, Péter A. (1994) **STUDIES ON THE CAROTENOID PIGMENTS OF PAPRIKA (*Capsicum annum* L. var Sz-20)**. J. Agric. Food Chem. 37: 350-353.
- 4.- Billmeyer, W. F., Saltzma, M. **PRINCIPLES OF COLOR TECHNOLOGY**. Interscience Publishers.
- 5.- Casco, Vázquez A. L. **ESTUDIO DE PIGMENTOS NATURALES EN ALGUNOS CHILES MEXICANOS Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN LOS ALIMENTOS**. Tesis. Facultad de Química. 1990 UNAM.
- 6.- Cheftel, J. C., Cheftel, H. **INTRODUCCIÓN A LA BIOQUÍMICA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**. Edit. Acribia, Zaragoza España, 1992.
- 7.- Cortes, P.B y F. A. **TOXONOMIA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS CHILES CULTIVADOS EN MÉXICO**. 1979.
- 8.- D'acosta, L. **EL CULTIVO DE CHILES**. (SEP). VOL. 5, No. 10.
- 9.- Depto. Técnico Laqui. **LOS COLORANTES PARA LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**. Alimentación Latinoamericana. Vol.17, No. 142.
- 10.- **DESCRIPCIÓN DE TIPOS Y CULTIVARES DE CHILE EN MÉXICO**. Folleto técnico, Instituto de Investigaciones Agrícolas. 1981.
- 11.- Díaz, Pérez Martín. **EVALUACIÓN DEL COLECTOR DE ENERGÍA Y ESTUDIO DEL PROCESO DE ZANAHORIA EN UN SECADOR SOLAR**. Tesis. FES-C. UNAM, 1992.
- 12.- Earle, R. L. **INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS**. Edit. Acribia S.A. 2a. ed., España 1988.
- 13.- Fennema, R. Owen. **QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS**. Edit. Acribia, S.A. España 1993.
- 14.- Geankopolis, J. Chistie. **PROCESOS DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS**. Edit. CECSA 1992.

- 15.- Gross, Jeana. **PIGMENTS IN FRUITS**. Academic Press London, 1987
- 16.- Instituto Nacional de Nutrición. **VALOR NUTRITIVO DE LOS ALIMENTOS**. (Tablas), 1974.
- 17.- Iglesias, Héctor A. **HANDBOOK OF FOOD ISOTHERMS**. Academic Press, INC. New York, 1982.
- 18.- Kirk, R.E. **ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGÍA QUÍMICA** Edit. UTEHA. Vol. 5, México, 1962.
- 19.- Laboza, T.P. (1980). **THE EFFECT OF WATER ACTIVITY ON REACTION KINETICS OF FOOD DETERMINATION**. Food Technol. 34(4):36-41.
- 20.- Long-Solis, Janet. **CAPSICUM Y CULTURA. "LA HISTORIA DEL CHILLI"**. Fondo de cultura económica. 1986. Méx.
- 21.- Long-Solis, Janet. **PRESENTE Y PASADO DEL CHILE EN MÉXICO**. Publicaciones españolas del Instituto Nacional de investigaciones agrícolas No. 85, Abril 1984.
- 22.- López, Espinoza Ma. Guadalupe. **CHILE, DESARROLLO HISTÓRICO Y COMERCIAL EN MÉXICO**. Tesis, Facultad de Química, UNAM 1997.
- 23.- López, Valadez Artemio. **PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS** Edit. UTEHA. México, 1984.
- 24.- Luning, Pieternel A. et al. (1994). **COMBINED INSTRUMENTAL AND SENSORY EVALUATION OF FLAVOR FRESH BELL PEPPERS (*Capsicum annuum*) HARVESTED AT THREE MATURATION STAGES**. J. Agric. Food Chem. 42: 2855-2861.
- 25.- **MANUAL DE OPERACIÓN DEL CALORÍMETRO MINOLTA CR-300**. Laboratorio de propiedades reológicas y funcionales de alimentos. Traducido por I.A. María Eugenia Ramírez Ortíz. 1996.
- 26.- Muller, H. G. **INTRODUCCIÓN A LA REOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**. Edit. Acribia, Zaragoza España, 1977.
- 27.- Murillo, B. Jaime. **EL CULTIVO DEL CHILE EN MÉXICO**. UNAM. 1990. Cuautitlán Izcalli, Edo. Méx.
- 28.- Nonhebel, G. **EL SECADO DE SÓLIDOS EN LA INDUSTRIA QUÍMICA**. Edit. Reverté, Barcelona 1989.

- 29.- Norma Oficial Mexicana, para Chiles Variedad Serrano y Jalapeño.
- 30.- Norma Oficial Mexicana, para salsa valentina.
- 31.- Pedrero, L. P. **EVALUACIÓN SENSORIAL DE LOS ALIMENTOS, MÉTODOS ANALÍTICOS**. Edit. Alhambra Mexicana 1989.
- 32.- Peralta, Reyes A. et al. **ESTUDIO DE LA DESHIDRATACIÓN DE CARNE DE RES EN UN SECADOR DE CHAROLAS**. Tesis, FES-C, UNAM 1996.
- 33.- Perry, H. R. **MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO**. Edit. McGraw-Hill Sexta edición, México 1994.
- 34.- Reglamentos de Aditivos para Alimentos. Diario Oficial de la federación México. Enero 18, 1988.
- 35.- Rocklan, Lovis B. and Beuchat, Larry R. **WATER ACTIVITY: THEORY AND APPLICATIONS TO FOOD**. Basic Symposium, Chicago Illinois, 1986.
- 36.- Russell, J. E. **LAS CONDICIONES DEL SUELO Y EL CRECIMIENTO DE PLANTAS**. Edit. Aguilar. Madrid, 1968.
- 37.- Scharrer, K. **QUÍMICA AGRÍCOLA** Edit. Unión tipográfica hispano americana. Vol. I y II. Barcelona, 1960.
- 38.- Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (**SARH**).
- 39.- Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Folleto.
- 40.- Secretaria de Programación y Presupuesto. 1981, Vol. 5, No. 10
- 41.- Shewfelt, R. L. and Stanley, P. C. **POSTHARVEST HANDLING**. Interscience Poblsher, New York, 1968.
- 42.- Tamazula, Salsas. Jalisco, 1998 (E-mail)
- 43.- Treybal, E. Robert. **OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA**. Edit. McGrae-Hill. 2a. ed., México 1993.
- 44.- Walpole, L. H. **ESTADÍSTICA PARA INGENIEROS**.
- 45.- Winton, A.L. **ANÁLISIS DE ALIMENTOS**. Edit. HASA, Argentina, 1947.
- 46.- Yahia, et al. **FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA POSTCOSECHA DE PRODUCTOS HORTÍCOLAS**. Edit. limusa, México 1992.