

29<sup>1</sup>



Universidad Nacional  
Autónoma de México



Facultad de Estudios Superiores  
CUAUTITLÁN

**PREDICCIÓN DE LA VIDA DE ANAQUEL DEL CHILE  
EN POLVO ENVASADO EN UNA MICROATMOSFERA  
BACTERIOESTÁTICA**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:  
**INGENIERA EN ALIMENTOS**

p r e s e n t a n

**AGUIRRE URBINA YANIRA  
SANCHEZ ESPARZA MARIA GABRIELA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DRA. L. PATRICIA MARTINEZ PADILLA**

**COASESOR DE TESIS**

**M. C. ADRIAN AVILA FRANCO**

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México

1993

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **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 está 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.

2.2.1) Papel	80
2.2.2) Polietileno de Alta y Baja Densidad	81
<b>CAPITULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	
3.1) Metodología Experimental	85
3.2) Materiales y Métodos	89
3.2.1) Materia Prima	89
3.2.2) Determinación del Contenido Inicial de Humedad	90
3.2.3) Construcción y Validación del Aparato de Sorción	90
3.2.4) Elaboración de la Isoterma de Sorción de Humedad del Chile en Polvo	93
3.2.5) Determinación del Factor Crítico que Incide Sobre la Vida de Anaquel	95
3.2.6) Evaluación de la Atmósfera Bacteriostática	97
<b>CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION</b>	
4.1) Contenido de Humedad Inicial	99
4.2) Validación del Aparato de Sorción	99
4.3) Construcción de Isotermas de Sorción	102
4.4) Determinación de Humedad Crítica	108
4.5) Resultados Microbiológicos	113
<b>CAPITULO V. MODELO DE PREDICCIÓN DE LA VIDA DE ANAQUEL</b>	
5.1) Deducción del Modelo Matemático	115
5.2) Comparación de los Resultados con Otros Alimentos	118
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>121</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>123</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>124</b>

## INDICE DE CUADROS

1.1 Composición aproximada del chile fresco y chile deshidratado.	18
1.2 Dosis letales de radiación para diferentes organismos	32
1.3 Aplicaciones de irradiación con rayos $\gamma$ en alimentos	33
1.4 Efectos del método de esterilización sobre el contenido microbiológico de paprika molida finamente (por conteo), a temperatura de 16-36.8 °C.	35
1.5 Valores máximos de $A_w$ crítica para algunos alimentos secos	45
2.1A Velocidades de Transmisión de vapor (WVTR) y oxígeno (GT) de materiales de empaque.	61
2.1B Velocidades de Transmisión de vapor (WVTR) y oxígeno (GT) de materiales de empaque.	62
2.2 Valores de permeabilidad de los principales materiales de empaque.	64
2.3 Material de envase aprobado por la FDA para uso en irradiación en alimentos.	81
3.1 Principales características del chile en polvo para su comercialización.	89
4.1 Resultados de humedad inicial del chile en polvo.	99
4.2 Humedades relativas proporcionadas por soluciones de sales saturadas a 10, 30 y 45°C.	100
4.3 Contenido de humedad en equilibrio a 10°C.	103

4.4	Contenido de humedad en equilibrio a 30°C.	103
4.5	Contenido de humedad en equilibrio a 45°C.	103
4.6	Valor de humedad crítica para chile de árbol y chile guajillo.	111
4.7	Porosidad del chile de árbol y guajillo en condiciones aceleradas de almacenamiento (30 °C, 60.2 % HR).	112
4.8	Cuentas microbiológicas del chile en polvo antes y después de su esterilización con rayos γ.	113
5.1	Resultados de Tiempo de Vida de Anaquel (días) de tres diferentes alimentos.	119

## INDICE DE FIGURAS

1.1	Esquematzación gráfica de las moléculas de capsalcinas encontradas en el chile	16
1.2	Indice de deterloro de ácido ascórbico en polvo de tomate, en función a su ganancia de peso.	40
2.1 A	Empaque con atmósfera modificada. Procedimiento.	70
2.1 B	Empaque con atmósfera modificada. Interior del empaque.	71
3.1	Esquematzación del aparato de sorción.	91
3.2	Perfil de movimiento de aire en el interior de la cámara	92
4.1	Curvas de presión de vapor para soluciones de sales saturadas.	101
4.2	Isoterma de sorción de chile de árbol y chile guajillo.	104
4.3	Comparación entre los datos experimentales y los calculados a través de la ecuación de Caurie.	108
4.4	Determinación de humedad crítica por pérdida de color (chile de árbol).	109
4.5	Determinación de humedad crítica por pérdida de color (chile guajillo).	110
5.1	Predicción de vida de anaquel del chile de árbol y chile guajillo.	117

## RESUMEN

A través de la realización de este trabajo se propone la aplicación de una tecnología de atmósfera bacteriostática en alimentos en polvo, así como la predicción del tiempo de vida de anaquel que alcance el producto envasado en cualquier condición de temperatura y humedad relativa de almacenamiento.

Para ello, mediante el estudio de las características químicas y físicas de dos especies de chile en polvo: chile de árbol y chile guajillo, se fundamentaron las condiciones ideales para su conservación, con las cuales y a través de un análisis de su proceso de obtención, se identificaron las etapas críticas que rigen la calidad y el tiempo en el que se mantendrá esta calidad.

Las etapas correspondientes fueron el envasado y la esterilización. En lo que se refiere a la esterilización se seleccionó la irradiación con rayos  $\gamma$ , ya que genera un medio con el mínimo de microorganismos indeseables en el alimento. Este factor así como la aplicación de vacío después del envasado, necesario para obtener la atmósfera desecada, constituyen la base sobre la cual se pretende alargar la vida de anaquel en condiciones bacteriostáticas.

Para el almacenamiento del producto se seleccionaron bolsas multilaminadas de polietileno (Polietileno de alta densidad, y tres capas de Papel Kraft, la tercera laminada con polietileno de baja densidad), debido principalmente a su baja permeabilidad al oxígeno, vapores orgánicos y vapor de agua; facilidad de adquisición y bajo costo. Además posee la maleabilidad necesaria para la conformación de sacos de más de 20 kg de capacidad, con mayor resistencia a la penetrabilidad y rompimiento. Estas características son indispensables para el transporte de altas capacidades a través de grandes distancias, como por ejemplo, para su exportación.

Se obtuvieron las isotermas de sorción a 10, 30 y 45°C, así como la humedad crítica en condiciones aceleradas, este comportamiento fué modelizado a través de la ecuación de Caurie (1970) para alimentos deshidratados.

Se relacionaron los resultados experimentales y fundamentos de difusión para la obtención de un modelo de simulación en donde se predice el periodo en el cual el alimento perderá su calidad significativamente, de tal manera que ya no sea aceptable para el consumidor.

Dicho modelo fue utilizado en otros alimentos en polvo de diferente naturaleza al chile, cuyos tiempos de vida de anaquel ya habían sido determinados experimentalmente por otros autores, con el objeto de comprobar la validez de la expresión matemática.

## INTRODUCCION

La industria de alimentos abarca una amplia gama de productos, desde la conservación y comercialización de productos en fresco (frutas, hortalizas, carnes), la elaboración de las materias primas, de origen biológico y químico, hasta los que requieren todo un proceso complejo de preparación, como los platillos precocidos y/o congelados.

Una de las principales materias primas utilizadas en la mayoría de los alimentos preparados y en conservación son los aditivos, los cuales se pueden definir como una sustancia o mezcla de sustancias que se encuentran presentes como resultado de su adición premeditada para mejorar alguna característica del alimento (Badui, 1987).

Estos poseen una importancia relevante dentro de esta industria debido a su diversidad de usos y composición. Entre ellos se encuentran los edulcorantes, conservadores, colorantes, antiapelmazantes, antiaglutinantes, ayuda para fluidización, etc. La categoría con mayor número de investigaciones es la de saborizantes, definidos como aquellos materiales adicionados a los alimentos para proporcionar un sabor diferente, o, suprimir o modificar su propio sabor, o, para cubrir o enmascarar el sabor original del material. Esto ha obligado a establecer una serie de normas de calidad específicas para los productores y para las empresas que los utilizan (Furia, 1975; Gerhart, 1975; SECOFI, 1984; Farrell, 1990)

Uno de los saborizantes con más demanda en México es el que proporciona una sensación fuerte y penetrante, comúnmente conocido como picante; fácilmente identificable en diversos tipos de alimentos preparados o en mezclas de condimentos.

Esta sensación es proporcionada generalmente por el chile, el cual pertenece al grupo de las *especias*, calificativo aplicado a cualquier vegetal o sustancia seca aromática, fragante o pungente; en forma entera, quebrado o en polvo; originario de Asia y zonas tropicales de América.

Este fruto pertenece al grupo de las *Capsicum*, siendo particularmente clasificado como *Capsicum frutescens* o *Annum chillies*, de la familia de las Solanaceas. Cada una de las especias varían de tamaño (6 a 300 mm de longitud); y en sabor, razón por la cual se puede establecer una clasificación regida por el grado de mayor a menor sabor a picante, o pungencia (Considine, 1982).

La pigmentación de estos frutos depende de su grado de madurez, y la proporciona una mezcla de carotenoides y clorofilas, sensibles a la luz solar. Estos pigmentos le confieren cualidad de colorante, aunque esta forma de uso es secundario (Heath, 1981).

El chile se utiliza regularmente en forma de polvo, en mezclas con pimienta, sal, limón en polvo, o sólo; como sazonador en carnes, salsa italiana, mortadela bolognesa, pepperoni, pizzas, pathés, salchichas, adobos, sopas, frituras, etc.

Para la obtención del condimento se requiere que la materia prima (chile) sea expuesta a un proceso de secado, molienda, empaclado y esterilización, observándose como principales etapas críticas:

- 1.- el empaclado y
- 2.- la esterilización.

Las cuales son determinantes para la obtención de una mayor vida de anaquel del polvo; debido a que se elimina la alta carga microbiana inherente al producto y por su parte, el sistema de empaque tiene como objetivo principal mantener su calidad durante la comercialización y consumo en el mayor tiempo posible.

En lo que se refiere a las características apropiadas para su consumo, cabe señalar que este producto ofrece al consumidor un sabor propio inconfundible. Este sabor puede sufrir cambios durante el almacenamiento principalmente por la exposición a altas temperaturas, humedades relativas altas, y reacciones dañinas con gases, principalmente oxígeno, y con vapor de agua; los que producen la

oxidación de sus ácidos grasos y componentes que proporcionan el color (carotenoides).

Por lo que es necesario un control estricto en el proceso térmico de secado y una selección del sistema de empaque adecuada. Para ello, se recomienda el uso del envasado al vacío y el uso de un material de empaque que impida las reacciones con la luz, vapores orgánicos y vapor de agua. Para el almacenamiento de esta especia, se aconseja un ambiente aislado de la luz solar, con humedad relativa y temperatura bajas, lo que aumentará la posibilidad de mantener conservado y en óptima calidad al alimento (Salzer, 1975; Lego, 1984; Lindsay, 1984).

El envase brinda un mecanismo de protección contra el medio ambiente externo, y un medio de control sobre las condiciones en el interior del mismo envase. Lo anterior es de fundamental importancia para mantener la calidad inicial del polvo, así como evitar el desarrollo microbiano durante el mayor tiempo posible.

Este tipo de tecnología no es fácil de aplicar, su éxito depende de la alta calidad de la materia prima, del material de envase seleccionado, y del equipo de operación. Los cambios mostrados en el alimento envasado dependen de la permeabilidad del material de envase, de la absorción de gases y sus reacciones químicas con los componentes, o del gas utilizado por los microorganismos anaerobios residuales. El ambiente interno desarrollado es capaz de evitar proliferación de microorganismos deteriorantes durante un intervalo de tiempo considerable.

La manera en la que se evalúa la eficiencia del material seleccionado es por la transferencia de humedad que permite entre el medio interno y el externo a través de la actividad de agua ( $A_w$ ) del alimento envasado, lo cual influye directamente en su vida de anaquel.

El valor de  $A_w$  caracteriza el estado del agua de los alimentos, o sea, su disponibilidad para los cambios físicos, químicos y

biológicos. Asimismo, es un indicador tanto de la cantidad de agua disponible para el crecimiento de microorganismos deteriorantes y patógenos, como del potencial para reacciones bioquímicas donde el agua actúa como disolvente o reactante (Duckworth, 1975; Mizrahi y Karel, 1977b; Rockland y Nishi, 1980; Rockland y Stewart, 1981).

Su evaluación se utiliza con excelentes resultados en la determinación de la vida de anaquel de productos secos empacados; bajo condiciones extremas de temperatura y humedad relativa, con el fin de simular las condiciones que se presentan durante el transporte y almacenamiento en la etapa de comercialización del producto.

El objetivo de este estudio está enfocado a la predicción de la vida de anaquel de un polvo de chile envasado, aplicando una tecnología de atmósfera bacteriostática. Realizando simultáneamente, la selección del material de envase, proponiendo el método de esterilización más adecuado para el producto envasado.

Todo ello, repercutirá en un mejor control de condiciones de comercialización del chile en polvo, de tal manera que su exportación se realice sin perjudicar la calidad final del producto.

## OBJETIVO GENERAL

Seleccionar un modelo matemático para predecir la pérdida de calidad del chile en polvo envasado a través del tiempo, en función a sus características sensoriales determinantes como producto terminado.

## OBJETIVOS PARTICULARES

- 1) Seleccionar el material de envase para chile en polvo en base a los principales requerimientos técnicos, económicos y su compatibilidad con el alimento.
- 2) Determinar mediante pruebas aceleradas, el cambio a través del tiempo en sus características de calidad más importantes.
  - 2.1) Evaluar las principales características sensoriales (color, textura) del chile en polvo antes de ser sometido a condiciones aceleradas.
  - 2.2) Seleccionar un método para la estimación de los cambios en las características sensoriales más importantes (color, textura), bajo condiciones aceleradas.
  - 2.3) Seleccionar la característica que posea mayor influencia en la pérdida de calidad del polvo, por medio del análisis de su cambio a través del tiempo, en condiciones aceleradas.
- 3) Establecer el modelo matemático con el cual se pueda estimar el tiempo de vida de anaquel del chile en polvo envasado, bajo cualquier condición de almacenamiento.

## CAPITULO I

### ANTECEDENTES

### 1.1) ASPECTOS SOCIOECONOMICOS SOBRE EL CHILE EN POLVO

Desde antes de la conquista, el chile (*Capsicum annuum*) ha sido reconocido como un alimento típico mexicano, debido a que la alimentación de este país, desde la época prehispánica, esta basada en maíz, frijol, chile y calabaza; de los cuales es al chile al que se le reconoce como el principal condimento para la dieta. (Labor de Concino, 1984; Long, 1986)

Este fruto ha sido reconocido por la Comisión de Información y Legislación Alimentaria y por la *American Spice Trade Association*, (ASTA) como parte de un grupo de alimentos llamados *especias*, las que forman parte de ciertas plantas en estado natural, desecadas, y que por su sabor y aroma característico sazonan, y le confieren un sabor característico a los alimentos preparados. (Gerhart, 1975; Considine, 1982)

México, India, China, Japón, Indonesia y Tailandia, son considerados como los principales países abastecedores de chile en el mundo, cuyos principales consumidores son Sri Lanka, Malasia; y en América, Estados Unidos y Canadá. La exportación de frutos mexicanos a Norteamérica se ve favorecida en los meses que comprenden del mes de noviembre a mayo, en los cuales la producción en estado fresco del campo en éstos países se ve limitada (Labor de Concino, 1984; Long, 1986).

Los productos de exportación representan el 10% del total cultivado anualmente en el país, de estos el 80% lo constituye el tipo bell y el resto los chiles picantes como anahelm, caribe, fresco, cubanello, pimienta roja, serrano, jalapeño y otros.

Más del 95% de las exportaciones se realizan de diciembre-abril, de las cuales Estados Unidos absorbe alrededor del 85% del total de ventas y el resto corresponde a Canadá.

Los principales estados productores de chile para exportación son Sinaloa, (85.6 %), Sonora (7 %), Tamaulipas (3.4 %), Nayarit (2.1 %), Jalisco (0.6 %), Veracruz (0.5 %), Baja California (0.4 %), y

Guajuato (0.4 %). (Labor de Concino, 1984).

Debido a que se trata de un alimento altamente perecedero, su valor como producto primario esta determinado principalmente por la ley de la oferta y la demanda, a excepci3n del chile deshidratado el cual posee un precio m1as o menos estable.

#### CHILE EN POLVO

Los polvos rojos se elaboran con el chile seco y molido; proporcionando un sabor caracteristico a muchos platos condimentados. El chile molido regularmente se mezcla con finas hierbas y especias, en estas mezclas se logra identificar una amplia gama de sabor picante, lo que depende de la variedad de los chiles utilizados.

Los chiles m1as importantes en M1exico son el chile piquin, el chile de 1rbol, chile guajillo, chile ancho, chile pasilla, chile chipotle y chile cascabel; de donde se considera el m1as picoso al chile piquin. La aceptacion de 1ste a nivel industrial es importante debido principalmente a sus atributos de sabor picante o pungencia, lo cual es f1acilmente identificable y cuya sensaci3n desaparece r1apidamente. A pesar de su pungencia, se caracteriza por no irritar el est3mago. Esta propiedad le ha permitido ser aceptado como aditivo (saborizante) natural, por la Food and Drug Administration (FDA). (Furia, 1975; Lindsay, 1984)

Debido a que la producci3n de este tipo de chile no logra cubrir la demanda de chile seco molido y su precio llega a ser muy elevado, es mezclado con otros tipos de chile como el de 1rbol y el guajillo o mezclas de 1stos dos solamente, comercializ1ndose bajo la denominaci3n de *Chile Piquin*.

Para evaluar su grado de pungencia se utiliza el m1etodo Scoville (Fisher y Hart, 1984) el cual necesita la colaboraci3n de un equipo calificado de 5 jueces saboristas, registr1ndose la presencia e intensidad de cualquier sustancia picante en la garganta o en la lengua. El valor standard para este tipo de chiles es de 40 000

grados Scoville, siendo superado solo por el Huntaka Japonés (50 000), el Mombassa africano (120 000) y el Uganda africano (127 000). (Heath, 1981; Considine, 1982; Long, 1986; Heath, 1988; Farrell, 1990).

Su comercialización se hace en forma de polvo muy fino, debido a que se obtiene un color aceptable y homogéneo, con un nivel de pungencia máximo, además de permitir la utilización de chiles ligeramente moteados o quemados por el sol.

En México, la producción de este tipo de especia en polvo se hace a nivel pequeña y microindustria, destacando entre éstas sólo dos con capacidad de más de 20 toneladas/año (información obtenida de los reportes industriales de Canacintra en 1990). Asimismo, cabe resaltar que existe la posibilidad de una adecuada disponibilidad de materia prima debido a que, año con año, la producción para exportación excede considerablemente la demanda, por lo que los agricultores se quedan con una parte significativa, la que se vende al intermediario a bajo precio.

Lo anterior, representa una oportunidad de desarrollo económico para la industria, debido al alto valor agregado del producto terminado y a las grandes posibilidades de aceptación en los países importadores, pudiéndose asegurar asimismo el desarrollo para el agricultor mismo, al evitar pérdidas por falta de un buen comprador.

Cabe señalar que este producto se encuentra en competencia con otros dos tipos de chile molido: las mezclas de especias en polvo y la paprika. El primero es un compuesto molido especial de chile, semillas de comino, sal, orégano y ajo; y el segundo es el de mayor importancia comercial por su pungencia y marcado color rojo, pero no se produce en México (Labor de Concino, 1984).

## 1.2) CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL CHILE

El principal componente químico que le confiere su principio pungente es la Capsaicina, un alcaloide que se encuentra asociado con

otros capsaicinoides como la norcapsaicina, nor-hidrocapsaicina, dihidrocapsaicina, homocapsaicina, y homodihidrocapsaicina; la primera se encuentra en una proporción de 46 a 77% en comparación a todos los demás capsaicinoides. La esquematización de estas moléculas se encuentra en la figura 1.1.

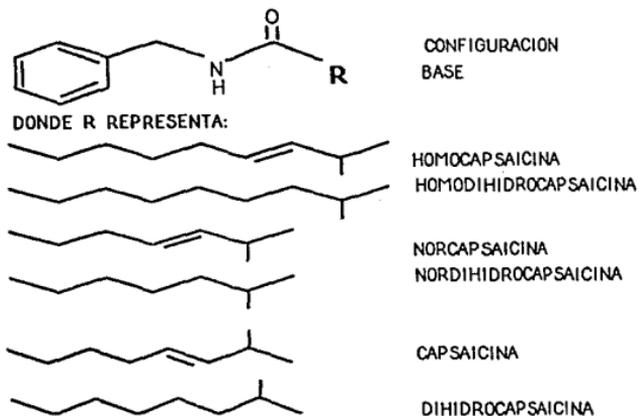


FIGURA 1.1 ESQUEMATIZACION GRAFICA DE LAS MOLECULAS DE CAPSAICINAS ENCONTRADAS EN EL CHILE. (Lego, 1984)

Las variedades más pungentes pueden contener hasta 1% de éste compuesto. La pungencia relativa de estos compuestos no ha sido establecida, pero se concluye de su estructura química que el atributo pungente es debido a la presencia de un grupo hidroxilo fenólico y un grupo éter en posición orto en el núcleo del benceno, y a una cadena lateral. La longitud de ésta y la presencia del grupo ácido amina parece ser importante en la determinación del grado de pungencia. (Heath, 1981; Lego, 1984; Badui, 1987; Heath, 1988; Farrell, 1990).

Este capsaicinoide es un compuesto cristalino que funde a 65 °C en su forma pura, y es volátil arriba de esta temperatura, produciéndose un vapor peligrosamente irritante.

En lo que se refiere a su color característico, los pigmentos carotenoides son los que proporcionan principalmente el color rojo, y éstos son: capsantina, criptoxantina, carotenos y zeaxantina.

Las especies capsicum contienen cantidades mínimas de aceite esencial, por lo que su principal subproducto es su oleoresina, en donde se encuentran los compuestos cápsicos, los cuales se extraen a través de una serie de destilaciones, se diluyen y estandarizan a las unidades Scoville requeridas. (Salzer, 1975)

En cuanto a los requerimientos básicos de calidad, se establece que: un mínimo del 95% en peso del polvo debe pasar a través de un tamiz U.S. Standard no. 40; no debe contener más del 8% de cenizas totales, 1.5 % de cenizas insolubles en ácido, 8 % de humedad, y debe presentar de 25 a 40 mil unidades Scoville. Su pH es de 4.5 (Farrel, 1990).

Sus componentes y valores standard se encuentran reportados por Farrell, 1990, en base húmeda, en el cuadro 1.1; para Chile en general en estado fresco y deshidratado.

#### 1.2.1) REACCIONES DESFAVORABLES.

Durante la conservación del Chile se llevan a cabo reacciones bioquímicas indeseables favorecidas por factores externos al producto.

Particularmente, las vitaminas A y C, se inactivan por una oxidación; la C se degrada por calentamiento en presencia de agua y la riboflavina es muy susceptible a degradarse con la luz.

En cuanto a las proteínas, éstas se modifican debido a un calentamiento excesivo en el secado, por oxidación y por reacciones con otras moléculas orgánicas. Sin embargo, el calentamiento moderado es práctico para provocar desdoblamiento de moléculas o desnaturalización, lo cual inactiva enzimas que pueden afectar al

producto (Richardson y Finley, 1984)

COMPONENTE	FRESCO	DESHIDRATADO
Agua	93.4 g	8.1 g <sup>B</sup>
Proteína	1.2 g	12 g
Carbohidratos totales.	3.4 g	56.6 g
Fibra	1.4 g	24.9 g
Grasa	0.2 g	17.3 g
Cenizas	0.4 g	6 g
Calcio	9 mg	145 mg
Hierro	0.7 mg	8 mg
Magnesio	18 mg	152 mg
Fósforo	22 mg	293 mg
Potasio	A	2014 mg
Sodio	13 mg	30 mg
Zinc	A	2 mg
Ac. Ascórbico	128 mg	76 mg
Riboflavina	0.08 mg	1 mg
Niacina	0.5 mg	9 mg
Tiamina	0.08 mg	A
Vitamina A	420 U.I.	41 610 U.I.
Otras vitaminas		Insignificante

A valor no reportado

B valor máximo

CUADRO 1.1. COMPOSICION APROXIMADA DEL CHILE FRESCO Y CHILE DESHIDRATADO (en 100 g de porción comestible). (Farrell, 1990)

Uno de los principales problemas del chile en polvo son las reacciones de oscurecimiento, ya que su sabor, textura y olor característicos se ven modificados de manera importante.

El oscurecimiento debido a reacciones de los carbohidratos del chile, se ve limitado debido a las temperaturas bajas que deben usarse en el secado, las cuales no sobrepasan el punto de fusión de los azúcares; además de presentarse una inhibición de la enzima

Polidenoloxidasas. Las reacciones de Maillard también se encuentran limitadas debido al bajo valor de pH (4.5) (Richardson y Finley, 1984; Badui, 1987).

La presencia de oxígeno en el medio circundante a la especie, produce efectos indeseables debido a su reacción con las moléculas de grasa y pigmentos del chile (carotenoides), siendo uno de los factores que con más determinación inciden sobre el deterioro del alimento, ya que además de provocar cambios en el color, le confiere un mal sabor.

La oxidación no enzimática de los carotenoides con la consecuente pérdida de color, es de relevante importancia en este alimento deshidratado, principalmente en el  $\beta$ -caroteno, ya que es el que posee la porción más insaturada. En el caso de la Capsantina, su oxidación resulta en la conversión de hidroxilos a grupos ceto, seguido por ruptura de cadena en el enlace carbono-carbono. (Furia, 1972; Kapsalis, 1987)

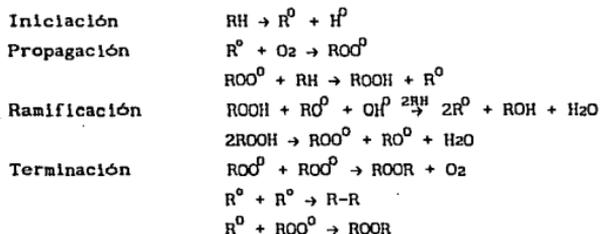
En las moléculas de grasa, los ácidos grasos insaturados son susceptibles a la oxidación en sus dobles ligaduras cuando se exponen al oxígeno y energía radiante, lo que provoca reacciones de naturaleza orgánica. Las radiaciones ionizantes  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$ , también provocan la oxidación, si hay presencia de oxígeno.

Todos estos factores influyen en la degradación de su sabor característico originando una percepción a rancio. La química de ésta oxidación es compleja, la autooxidación de lípidos insaturados esta caracterizada por cuatro pasos: iniciación, propagación, ramificación y terminación.

La iniciación esta caracterizada por la pérdida de un radical hidrógeno debido a la presencia de elevadas temperaturas, luz o trazas de metal, en general, se requiere de algún agente catalizador.

En la propagación, el radical libre de los lípidos reacciona con el oxígeno para formar radicales libres de peróxidos, los cuales

reaccionan con las moléculas del lípido para formar hidroperóxidos. En la ramificación, los radicales libres se incrementan geométricamente por la descomposición de los hidroperóxidos. La terminación consiste en la eliminación de los radicales libres. A continuación se muestran las reacciones respectivas:



La descomposición de hidroperóxidos forma aldehídos, cetonas, alcoholes, hidrocarburos, y otros productos que producen olores y sabores desagradables. Los hidroperóxidos, pueden reaccionar con oxígeno para formar productos secundarios, que a su vez se descomponen en productos volátiles indeseables. En suma, los hidroperóxidos y sus productos pueden reaccionar con proteínas, enzimas, y membranas, produciendo reacciones indeseables sobre la calidad del alimento. (Furia, 1975; Heath, 1981; Frankel, 1984; Richardson y Finley, 1984; Badui, 1987)

Por lo anteriormente expuesto, se recomienda un ambiente libre de oxígeno y luz, y a baja temperatura de almacenamiento, para la conservación de sus características sensoriales principales: el color y el sabor, ya que la estabilidad de los pigmentos del chile depende de la presencia o ausencia de oxígeno, luz, sustancias reductoras u oxidantes, metales pesados, Aw, pH y temperatura, y con la presencia de la luz solar, las pérdidas de color pueden ascender aproximadamente hasta 96 % de su valor total.

### 1.2.2) FACTORES DE ESTABILIDAD

La estabilidad puede verse favorecida con la adición de

antioxidantes naturales o sintéticos. Aunque la oleorresina del Chile posee un antioxidante natural característico de la especie, la vitamina C, (Salzer, 1975), esto no es suficiente, por lo que es necesario controlar la concentración de oxígeno de una forma más eficiente y prolongada.

En general, se puede afirmar que una reducción de la concentración de oxígeno en la atmósfera circundante mantiene a los pigmentos estables, evitando pérdida de color; al mismo tiempo que se evita la oxidación de lípidos impidiendo su rancidez.

El agua tiene un papel de protección en la oxidación de carotenoides; y la  $A_w$  es un factor importante para determinar la estabilidad de éstos en el producto. El efecto de protección del agua contra la autooxidación de los carotenoides, se explica por su efecto directo sobre los radicales producidos durante la oxidación de los pigmentos, ya que el contenido de radicales libres puede ser reducido por interacción con el agua, lo que disminuye el  $A_w$ . Aunque por otro lado, la presencia de agua afecta también al ácido ascórbico degradándolo en una relación exponencial. (Haralampo y Karel, 1983)

En realidad, todas las sustancias que presentan dobles ligaduras son propensas a una oxidación, y éstas son precisamente los constituyentes del olor, color y sabor.

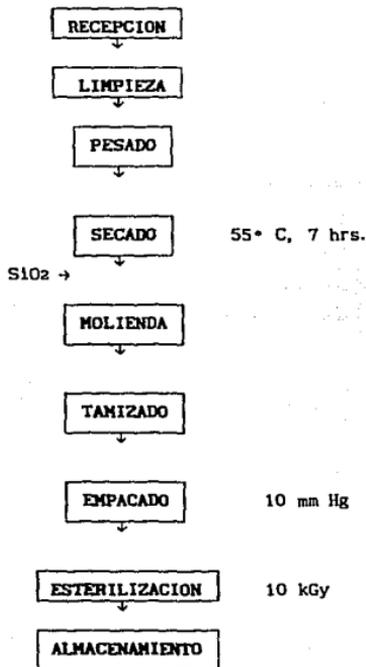
La influencia de  $A_w$  en la oxidación de los lípidos es también importante. El efecto antioxidante del agua a un valor bajo de  $A_w$  ha sido atribuido a su reacción con hidroperóxidos y a la hidratación de metales catalíticos, y por otro lado, el efecto prooxidación a  $A_w$  elevado es debido al aumento en el movimiento de reactantes. Para reducir la oxidación de los lípidos se recomienda el ajuste del  $A_w$  del producto seco, la adición de antioxidantes, la sustitución o remoción total del oxígeno, y la inyección de gases o el empaque al vacío como tal, el cual es más económico que la inyección de un gas o mezcla de gases específicos, razón por la cual se considera el más recomendable.

Para el almacenamiento del chile en polvo envasado se recomienda un lugar frío ( $15\text{ C} \pm 2$ ), fuera del alcance de cualquier tipo de fuente calorífica. Los contenedores deben estar fuera del contacto con la luz del sol directa; por lo que el almacén debe ser oscuro o iluminado indirectamente, de no ser posible, entonces los productos deben estar en empaques que no dejen pasar la luz. Su forma y tamaño debe estar en función de su utilización, esto evita la formación de existencias excesivamente viejas. (Heath, 1981; Minor, 1983; Brody, 1989).

Por último, en lo que se refiere a su textura, al aumentar la Aw la cohesividad propia del polvo se incrementa provocando un valor de densidad a granel menor; si este polvo se vierte a un empaque o se encuentra en él, crea pequeños vacíos, debilitándolo mecánicamente y colapsándolo bajo pequeñas cargas, produciendo una alta compresibilidad; a diferencia del polvo con un porcentaje de humedad reducido, en donde ocurre lo contrario. Además de proporcionar un medio viable para la propagación de microorganismos patógenos y deteriorantes.

### 1.3) PROCESO DE ELABORACION DE CHILE EN POLVO

En el proceso de fabricación del chile en polvo, se ven involucradas las siguientes operaciones:



CORTESIA

EMPACADORA LA POTOSINA, SA DE CV

La materia prima utilizada es un pimiento derivado de los frutos de las plantas del género *Capsicum* de la familia *annum*.

#### 1.3.1) DESCRIPCION DEL PROCESO

**RECEPCION.**-Los chiles frescos llegan a la planta transformadora en diversos vehículos, como camiones, remolques, etc., desde el centro

de recolección y/o acopio.

El primer paso en su industrialización es establecer sus características más adecuadas para el proceso, es decir, que cumpla con lo siguiente: variedad (chile de árbol y guajillo), textura firme al tacto, color rojo y tamaño característico a cada variedad.

El fruto deberá además reunir ciertos requisitos de calidad. Los chiles deben estar bien desarrollados, enteros, sanos, frescos, sin humedad exterior anormal, descomposición o pudrición, prácticamente libres de defectos de origen mecánico, meteorológico, microbiológico, o genético fisiológico. Todo eso se examina visualmente, si se detecta un porcentaje mayor al establecido por el productor, se rechaza el lote de producto.

Una vez aceptado un lote de frutos, se pesa en una báscula de plataforma junto con el vehículo que los transporta y por diferencia se obtiene la cantidad de fruto neto.

Una vez descargados, los chiles se colocan sobre una banda transportadora que los lleva hacia el almacén de materia prima. Aquí, son almacenados en un ambiente seco, de humedad relativa controlada, (40 - 50 %) a 10 °C, hasta que sea posible su procesamiento.

**LIMPIEZA.** - El objetivo de la limpieza es separar de los chiles el material extraño, tal como polvo, suciedad, chiles de otros cultivos o variedades, hierbas, etc.

Para este propósito se utilizan cribas-ventiladoras, que constan de tamices construidos de lámina perforada de metal; colocándose uno sobre otro, de modo que en el último tamiz se retengan los chiles ya separados del material extraño.

Estos equipos cuentan también con ventiladores que generan corrientes de aire que separan al chile de impurezas ligeras, como polvo y tierra.

Inmediatamente después, los chiles se lavan con agua tibia (25 °C aproximadamente) para eliminar el mayor número de impurezas.

**PESADO.** - Los frutos se pesan antes de procesarse con la finalidad de estandarizar el proceso. Para esto se hace uso de una báscula de piso.

**SECADO.** - La deshidratación del chile se usa como método de preservación. Para llevar a cabo la deshidratación se emplea un túnel de secado con una temperatura de 55°C durante 7 horas, cuyas dimensiones son regularmente de 6 a 9 metros de longitud, 1.5 metros de altura y 1 metro de ancho, en donde entra aire caliente en contracorriente con el producto.

**MOLIENDA.** - En este punto, el chile es una pieza relativamente grande de tejido vegetal seco, por lo que no es posible su uso directo en los productos alimenticios. Lo que hace necesario llevar a cabo una reducción de tamaño, a través de una molienda seca. Para ello se usan principalmente molinos *Edge Runner*; los que operan de la siguiente manera: el material que va ser molido, pasa continuamente entre dos superficies. Una piedra circular se monta horizontalmente como lecho y otras dos ruedas de molino están en el plano vertical colocadas sobre un eje horizontal, de modo que rotan sobre el lecho fijo.

Se produce un polvo muy fino con la mínima generación de calor; la operación es lenta y sucia, por lo que el molino se encuentra cubierto cuando está en operación. Esto es muy útil cuando el sabor y/o textura son de importancia primordial.

Este equipo cuenta con una malla en la descarga para permitir una clasificación primaria del polvo obtenido.

Es en el momento de la molienda donde se pierde más calidad, siendo recomendable la adición de un excipiente (amolina), para retener los aceites etéreos. Se adiciona también un agente antiapelmazante ( $\text{SiO}_2$ ) en una concentración de 0.5%, el que ayudará a evitar la obstrucción de los tamices en la siguiente operación,

facilitando su flujo continuo durante el resto del proceso; y evita la absorción de agua por el polvo durante el almacenamiento.

Los antiapelmazantes o antiaglomerantes son considerados semejantes, aunque en el segundo grupo existe la presencia de un ligante, mientras que el primero evita que se forme una masa. El antiapelmazante se presenta en forma de polvo blanco amorfo, insoluble en agua. Debido a su tamaño de partícula (en el orden de 10 a 20 nanómetros), estos polvos juegan un papel de revestimiento, dispersantes o lubricantes en seco. Sus propiedades se explican por su marcado carácter hidrófobo. Se incorpora directamente al polvo de Chile sin premezcla. (Multon, 1988)

**TAMIZADO.**- Es necesario controlar continuamente el tamaño de partículas producido, a fin de asegurarse que se obtengan los tamaños deseados, y con el fin de reciclar los gruesos hasta lograr un tamaño razonablemente uniforme.

La máquina de tamizado consiste de un medio de vibración o rotación de un tamiz de malla de tela de seda a través de la cual el material del tamaño de partícula requerido pasa. Este aparato se coloca fijamente en la línea de operación continua.

El apelmazamiento se reduce considerablemente por la presencia del dióxido de silicio, por lo que no es necesario utilizar dispositivos adicionales en la máquina de tamizado.

En esta operación se recomienda también el uso de imanes para retirar las partículas metálicas arrastradas por el producto durante la molienda, como resultado del desgaste de los materiales de fabricación del molino.

**ENVASADO.**- El Chile ya molido se envasa de forma tal que conserve sus propiedades físicas, químicas y organolépticas a través del mayor tiempo posible, hasta que llegue al consumidor.

Para ello se utiliza un envasado al vacío, con el objeto de

mantener la calidad de sus atributos de color y sabor, indispensables para su aceptación. El envasado se realiza con ayuda de una máquina formadora, llenadora y selladora, que cuenta con un dispositivo que evacúa el aire dentro del empaque, estableciéndose así una presión de vacío (aproximadamente 10 mm Hg).

**ESTERILIZACION.**- El chile seco, se encuentra contaminado con diferentes microorganismos captados principalmente durante su recolección y proceso; y al adicionarse a otros productos alimenticios dará como consecuencia que el alimento se deteriore. Esto hace necesario la aplicación de un tratamiento que elimina agentes patógenos y evita la proliferación de cualquier tipo de microorganismos.

La irradiación provee un medio efectivo para llevar a cabo la inactivación de microorganismos. Puesto que los materiales están secos la acción de la irradiación es directa y es minimizada la alteración química; aunque el bajo contenido de humedad hace necesaria la utilización de dosis relativamente altas.

**ALMACENAMIENTO.**- El chile en polvo se almacena en un espacio frío, (Temperatura ambiente media de 15 °C), fuera del alcance de cualquier tipo de fuente calorífica (serpentes de calentamiento, radiadores, orificios de aire acondicionado, etc.). La forma y tamaño de los contenedores están en función de su utilización, esto evita la formación de existencias excesivamente viejas. (Heath, 1981; Minor, 1983; Brody, 1989)

El almacén debe estar seco, fresco, bien aireado, procurando que el chile se conserve fuera del alcance de la luz solar, el polvo, y de otros alimentos a los que fácilmente pueda transmitir olores. Asimismo, es necesario un estricto control de plagas tanto en almacén de materia prima como en el de producto terminado, con el fin de mantener perfectas condiciones microbiológicas para su comercialización. Finalmente, la calidad microbiológica del chile en polvo solo depende de la atmósfera bacteriostática presente.

### 1.3.2) IDENTIFICACION DE ETAPAS CRITICAS

Las operaciones críticas dentro del proceso de elaboración del chile en polvo se seleccionaron con base en la influencia que tienen sobre la extensión de la vida de anaquel del producto, esto es, se consideran críticas aquellas operaciones que aseguren que la calidad del chile permanezca inalterable a través del tiempo, a lo largo de todo su canal de comercialización. Estas operaciones críticas son el envasado y la esterilización.

#### 1.3.2.1.) Esterilización

El chile en polvo sufre contaminación microbiana a lo largo de las operaciones a las que se somete durante su proceso. Los frutos del chile al recolectarse, presentan gérmenes del suelo y agua, así como su flora superficial natural. El crecimiento de algunos de estos microorganismos puede iniciarse antes de que los alimentos lleguen a la industria, debido a las condiciones ambientales favorables que se presentan en las regiones tropicales y semitropicales del país, donde se cultiva el chile.

El proceso influye en la cantidad y tipo de microorganismos presentes; se reduce su número en las operaciones de selección al eliminar los frutos alterados o partes estropeadas; la limpieza arrastra tierra y sustancias adheridas; la aplicación de calor durante el secado reduce el número total de microorganismos, generalmente se destruyen todas las levaduras y la mayoría de las bacterias, pero sobreviven las esporas bacterianas o fúngicas. Además, puede existir contaminación posterior si el equipo empleado en las siguientes etapas no está suficientemente limpio y desinfectado.

El chile contiene sustancias que detienen el crecimiento microbiano. Su componente antimicrobiano más activo es la capsaicina (Müller, 1981), pero su efecto bactericida es específico, como el de todos los antibióticos y no afecta a todos los microorganismos con la

misma intensidad. Por lo que, aún cuando el Chile posee esta propiedad bactericida, puede presentar un elevado número de microorganismos, generalmente debido a una manipulación inadecuada en términos de higiene.

Entre los microorganismos que se encuentran presentes se incluyen bacterias anaeróbicas deteriorantes, bacterias formadoras de esporas, bacterias proteolíticas y formadoras de gas, hongos patógenos, y algunas veces levaduras.

Por todo lo anterior, es necesario esterilizar al Chile cuando se encuentra ya molido y envasado, evitando la recontaminación debida a su contacto con el medio externo. Por lo tanto, se puede asegurar que mientras el envase conserve su integridad, la calidad del producto no disminuye debido a factores microbiológicos.

Dentro de los métodos de esterilización más eficientes para esterilizar polvos alimenticios se cuenta con la aplicación de gases que no sean tóxicos e inactiven a los microorganismos. Para ello se usan principalmente el formaldehído, óxido de propileno, beta - propiolactona, ácido peracético, bromuro de metilo, y óxido de etileno. En el caso de los cinco primeros aún cuando son altamente reactivos químicamente, son excesivamente difíciles de eliminar de muchos materiales después de su exposición y algunos de ellos se consideran carcinogénicos (Banerjee y Cheremisinoff, 1985).

El óxido de etileno no presenta esta desventaja pues se disipa casi en su totalidad del material simplemente por exposición al aire, por lo que es utilizado como esterilizante para el tratamiento de una gran variedad de materiales sensibles al calor, que de otro modo podrían dañarse por la esterilización con vapor.

Su habilidad para esterilizar sin efectos destructivos y su permeabilidad hacen posible la esterilización de instrumentos e instalaciones médicas, artículos plásticos, equipo, libros, misceláneos, instrumentos ópticos delicados, y muchos otros materiales envasados en películas y cartones sellados (Perkins, 1969;

Cooper, 1973; Banerjee y Cheremisinoff, 1985; Gennaro, 1987; Lachman, et al. 1986).

Las principales desventajas que presenta la esterilización con óxido de etileno en comparación con los llevados a cabo a través de irradiación, son: el mayor costo y control sobre el proceso, la dificultad del manejo de residuos o de los productos de reacción que se llegan a formar en los materiales tratados, los niveles de exposición de los operarios por arriba de los límites establecidos por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), ya que es tóxico y existen evidencias de su carcinogenicidad.

La humedad del material que se va a esterilizar, ejerce un efecto significativo en el proceso de esterilización con óxido de etileno, ya que es esencial tener niveles de 30% o más, para alcanzar una actividad antimicrobiana efectiva. Las humedades relativas menores del 20% o mayores a 65% reducen la eficiencia.

Generalmente se seleccionan humedades del 50-60%, debido a que la humedad vuelve disponibles los sitios activos de las células microbiana. En un ambiente seco el material proteico de la superficie celular se contrae, dificultando la reacción de las moléculas del óxido de etileno con los sitios activos; sin embargo, si el material proteico se hidrata, se hincha y expande, haciéndose disponible. (Perkins, 1969; Cooper, 1973; Banerjee y Cheremisinoff, 1985; Carleton y Agalloco, 1986)

Debido a lo anterior, es obvio que este método de esterilización no puede ser usado para el chile en polvo a causa de los niveles tan altos de humedad relativa requeridos.

Por lo que el método considerado más útil para la esterilización de especias es la irradiación, la cual es particularmente efectiva para el control de microorganismos promotores de la descomposición y patógenos.

La radiación ionizante consiste en radiaciones corpusculares y

electromagnéticas con la energía suficiente para despojar o producir la expulsión de electrones de átomos y moléculas.

La radiación corpuscular se debe a partículas subatómicas de varios tipos que pueden transferir su energía cinética a cualquier cosa que intercepten; los rayos catódicos (haces de electrones acelerados a velocidades próximas a la de la luz) y los rayos beta (emitidos por núcleos atómicos) pertenecen a este tipo de radiación.

Los rayos gamma, los rayos X y los haces de electrones ( rayos beta y catódicos) son las radiaciones ionizantes útiles en la preservación de los alimentos.

Los electrones tienen una capacidad limitada para penetrar en los productos alimenticios; su nivel de penetración depende de su nivel de energía, los haces de electrones por arriba de 10 millones de electrón-voltios inducen radiactividad por lo que no se consideran aptos para la preservación de alimentos.

Los radionucleótidos emiten rayos gamma y beta, sin embargo, el nivel de energía de los rayos beta es relativamente bajo para la esterilización del alimento, así que normalmente sólo se consideran los rayos gamma. La fuente de generación de los rayos gamma son isótopos radiactivos como el cobalto-60 o el cesio-137; el cobalto-60 es la fuente de radiación más recomendable por su abundancia, precio y propiedades. (Perkins, 1969; Urbain, 1986)

La energía de radiación se expresa en unidades rad. Una dosis de un rad se obtienen cuando 0.01 joule (J) de energía de radiación se absorbe por kilogramo de materia; también es utilizada la unidad gray (Gy), cuya equivalencia es 100 rad = 1 Gy (Trowbridge, 1988; Bandrup e Immergut, 1989).

La acción letal de las radiaciones ionizantes en las células vivas se debe tanto a su acción directa sobre el material genético (ruptura del ADN) como a efectos indirectos; en este último caso se produce un cambio inicial en la suspensión del medio o en algunas

moléculas no genéticas, tal como la difusión de radicales libres y peróxidos producidos cerca del microorganismo.

Las mutaciones producidas son directamente proporcionales a la dosis, y ésta a su vez, depende del tamaño del organismo sobre el que actúa la irradiación. (Cuadro 1.2)

La dosis de radiación para la destrucción de los microorganismos varía con el tipo y la concentración de células, el tipo de sustrato o medio de suspensión, la concentración de oxígeno, y la temperatura.

DOSIS LETALES APROXIMADAS DE RADIACION (Gy)	
ORGANISMO	NIVEL
Hombre	6 - 10
Insectos	250 - 1000
Bacterias y hongos	1000 - 10000
Esporas bacterianas	10000 - 50000
Virus	30000 - 50000

CUADRO 1.2 DOSIS LETALES DE RADIACION PARA DIFERENTES ORGANISMOS (Urbain, 1986).

Los alimentos son irradiados para inhibir la germinación (papas, cebollas), retrasar la maduración (frutas), para la destrucción de parásitos (cerdo, buey, pescado) o para eliminar a los microorganismos que acortarían la vida de anaquel del alimento, así como para prevenir o controlar las enfermedades de origen alimenticio. Las dosis recomendadas para cada producto se encuentran detalladas en el cuadro 1.3, en función al objetivo perseguido en cada caso.

PROPOSITO	DOSIS (kGy)	PRODUCTOS
<b>DOSIS BAJAS (ABAJO DE 1 kGy)</b> Inhibición de gérmenes	0.5-0.15	Papas, cebollas, ajos, jengibre.
Desinfestación de insectos y esterilización de parásitos.	0.15-0.50	Cereales y semillas comestibles, frutas frescas y secas, carno y pescado secos carne de puerco fresca.
Retraso de procesos fisiológicos	0.50-1.0	Vegetales y fruta fresca
<b>DOSIS MEDIA (1- 10 kGy)</b>		
Extensión de vida de anaquel	1.5-3.0	Pescado fresco, fresas
Descontaminación de podredumbre y microorganismos patógenos.	2.0-5.0	Mariscos frescos y congelados, pollo y carne crudos o congelados
Proporcionar propiedades tecnológicas a alimentos	2.0-7.0	Uvas (incrementa rendimiento en jugo), vegetales deshidratados (reduce tiempo de cocimiento)
<b>DOSIS ALTA (10 - 50 kGy)</b>		
Esterilización comercial (combinada con calor moderado)	30-50	Carne, pollo, mariscos, alimentos preparados, dietas esterilizadas de hospital.
Descontaminación de ciertos aditivos de alimentos e ingredientes.	10-50	Especias, preparación de enzimas, gomas naturales.

CUADRO 1.3 APLICACIONES DE IRRADIACION CON RAYOS GAMMA EN ALIMENTOS. (Trowbridge, 1988)

Entre los alimentos regularmente tratados por este proceso se encuentran principalmente las especias y frutos, debido a que se aumenta de manera considerable su vida de anaquel y por lo tanto, su disponibilidad en el mercado mundial se ha incrementado al producirse una gran demanda para su exportación. (Loaharanu, 1989; Urbain, 1989).

La FDA estableció una norma (abril 18, 1986) que permite la irradiación de alimentos frescos a dosis hasta de 1 Kgy (100 Krad) para la inhibición de crecimiento microbiano (Cuadro 1.2), y para substancias vegetales aromáticas deshidratadas o secas como las especias, permite la aplicación de dosis de hasta 30 Kgy (3 000 Krad) para la eliminación de insectos y en el control de microorganismos. (Farrell, 1990)

La irradiación de condimentos vegetales secos se lleva a cabo comercialmente en Europa y los Estados Unidos, sin causar cambios químicos que afecten significativamente sus características sensoriales normales y usos. A través de este método, se inactivan los mohos más efectivamente y adicionalmente es más fácil de aplicar en especias con contenedores sellados que pueden ser penetrados por la irradiación, con la ventaja de que los tiempos de tratamiento son significativamente menores, no existen residuos tóxicos y la seguridad del personal operativo no representa un problema. (Urbain, 1989).

En el cuadro 1.4 se muestra la efectividad del uso de radiaciones gamma sobre el óxido de etileno, y su comparación con muestras sin esterilizar; proporcionando cuentas bacterianas bajas sin causar cambios químicos.

En este cuadro es notable la efectividad con la que actúa la irradiación con rayos  $\gamma$  sobre el óxido de etileno sobre todo en lo que se refiere a mesófilos aeróbios, hongos y levaduras; así como la magnitud con la cual disminuye la carga microbiana inicial. Cabe señalar que si bien la eliminación de microorganismos no es total, es lo suficiente en lo que se refiere a microorganismos patógenos y agentes que faciliten la pudrición del producto (hongos y levaduras).

Además de la contaminación microbiana, algunas veces este material puede también tener contaminación por insectos; el uso de la irradiación en tales casos es también efectiva. (Urbain, 1986; Trowbridge, 1988; Llorente, et. al., 1986)

MICROORGANISMOS	TRATAMIENTO	TIEMPO (días)		
		55	105	285
Mesófilos aerobios	Control	$20 \cdot 10^6$	$23.5 \cdot 10^6$	$29 \cdot 10^6$
	Oxido de E	$1.6 \cdot 10^5$	$3.8 \cdot 10^5$	$5.1 \cdot 10^5$
	Rad $\gamma$	$2.2 \cdot 10^4$	$2.5 \cdot 10^4$	$3.3 \cdot 10^4$
Coliformes	Control	$9.3 \cdot 10^3$	$2.40 \cdot 10^4$	$2.3 \cdot 10^4$
	Oxido de E	-	-	-
	Rad $\gamma$	-	-	-
Reductores de sulfitos	Control	$5 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^2$
	Oxido de E	-	-	-
	Rad $\gamma$	-	-	-
Hongos y levaduras	Control	$2 \cdot 10^4$	$2.5 \cdot 10^4$	15500
	Oxido de E	600	200	500
	Rad $\gamma$	300	100	400

CUADRO 1.4. EFECTOS DEL METODO DE ESTERILIZACION SOBRE EL CONTENIDO MICROBIOLÓGICO DE PAPRIKA MOLIDA FINAMENTE (POR CONTEO), A TEMPERATURA DE 16-36.8 °C. (Llorente, et. al., 1986)

La esterilización por radiación se clasifica de acuerdo al nivel de energía utilizado. La *radapertización* (esterilización por irradiación) conduce a la destrucción prácticamente total de los microorganismos; las dosis empleadas pueden producir pérdidas en la calidad organoléptica del alimento, por lo cual se incluyen procesos que pueden atenuar estas pérdidas, tal como el uso de condiciones anaeróbicas, eliminación de humedad, temperaturas de congelación, etc.

La *radurización* (pasteurización con irradiaciones) destruye un

número suficiente de microorganismos para aumentar la vida de anaquel de los alimentos. Las dosis utilizadas (0.1 a 1 KGy) destruyen 90 a 99% de los microorganismos. Algunas células vegetativas resistentes y esporas sobreviven, de ahí, la necesidad de cualquier otro tratamiento para retardar el crecimiento y la posible producción de toxina en los supervivientes.

La radicación se utiliza principalmente para la eliminación de *Salmonellas* con dosis de radiación de bajo nivel (4 a 6 KGy aproximadamente) (Kaduya, 1990)

Numerosos estudios han demostrado que los alimentos irradiados son tan sanos y nutritivos como los procesados por otros medios. La irradiación del alimento con rayos gamma procedentes del cobalto 60, incluso en proporciones elevadas, induce menos radiactividad de la que puede detectarse con los instrumentos más sensibles disponibles. En general, se admite que mediante controles apropiados durante el procesado y la distribución, el riesgo microbiológico de los alimentos irradiados es prácticamente nulo (Banwart, 1982).

Por otro lado, la FDA en 1985 aprobó varios materiales para su utilización en irradiación de alimentos pre-envasados. Entre éstos se encuentran películas coextruidas y laminadas adecuadas para el proceso de envasado de alimentos (Trowbridge, 1988)

En conclusión, el método de esterilización más recomendable para el chile en polvo es la esterilización por medio de rayos  $\gamma$ , para lo cual se expone al producto envasado herméticamente con el fin de evitar contaminaciones posteriores. Por lo que la selección del material de envase también debe referirse a su resistencia a irradiaciones como una de sus propiedades principales para una dosis recomendada de 10 kGy. (Urbain, 1986, 1989)

#### 1.3.2.2.) Envasado

Esta operación se considera una etapa crítica dentro del proceso de elaboración, ya que la selección apropiada del sistema de envasado

es fundamental para lograr una extensión de la vida de anaquel del chile en polvo. Para lo cual debe considerarse que el producto se utiliza únicamente como insumo en la industria elaboradora de botanas principalmente.

Su propósito primordial es proteger al producto contra factores ambientales que deterioran su calidad como los que promueven cambios indeseables en sus atributos de color, olor y sabor, capaces de favorecer el crecimiento de microorganismos deteriorantes.

Asimismo, el envase debe poseer resistencia contra daños mecánicos, que se presentan durante el almacenamiento y distribución.

En general, todo material que se utilice en la fabricación de envases para el chile debe cumplir con los siguientes requisitos: alta barrera a gases, luz y vapor de agua; ser resistente frente a las posibles acciones de los componentes del chile; no formar combinación con ningún componente del producto; y poseer resistencia a las condiciones del proceso de esterilización.

Con base a lo anterior, la selección del material de envase se especifica en el capítulo II.

#### 1.4) VIDA DE ANAQUEL

El período de tiempo, durante el cual un alimento permanece dentro de límites aceptables de calidad; o bien, el tiempo al cual los alimentos son percibidos como inaceptables para el uso al que estaban destinados, ya sea por pérdida de sus características sensoriales, nutritivas, microbiológicas, físicas o químicas, se define como vida de anaquel. Este período debe, por lo menos, exceder el tiempo de distribución mínimo requerido que transcurre desde el procesamiento del alimento hasta su consumo (Labuza y Schmidl, 1985).

En este caso, los polvos alimenticios están clasificados de acuerdo con su vida de anaquel, como alimentos estables (duración aproximada de 90 días hasta tres años), debido a que su humedad se reduce a un punto en el que los microorganismos deteriorantes no pueden desarrollarse y la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas se reduce considerablemente. Sin embargo, si se almacenan a humedades relativas elevadas en un envase que permita la transferencia de vapor de agua con facilidad, el alimento captará humedad y su deterioro será de manera casi inmediata (Labuza y Contreras-Medellin, 1981).

Para evitar estos cambios, debe considerarse que la vida de anaquel real del chile en polvo varía con la calidad de la materia prima utilizada, el proceso, la transmisibilidad del envase a luz, la permeabilidad a la humedad y los gases; y las condiciones ambientales durante la manipulación, distribución y almacenamiento.

Los dos primeros factores se pueden controlar asegurando la calidad inicial del producto en la recepción. El papel del sistema de empaque es prolongar la vida de anaquel al suministrar una adecuada protección contra los factores ambientales que afectan su estabilidad.

En lo que se refiere a la relación tiempo-temperatura a las cuales se expone el chile en polvo, existe un problema relacionado con el hecho de que durante casi todo el año se comercializa, y en su

exportación existe una amplia variabilidad de climas y estaciones, de modo que el polvo está expuesto a muy distintos historiales de humedad/temperatura, dependiendo de su destino nacional o externo, modo de transporte y época de embarque.

Por lo que se hace necesario implementar métodos experimentales de los que derivan datos útiles para la predicción de su vida de anaquel. Esto se realiza por medio de pruebas aceleradas en las que se somete al polvo a condiciones extremas de humedad relativa y temperatura de almacenamiento, con el objeto de simular los abusos a los que se ve sometido el alimento durante su cadena de comercialización.

Este tipo de investigación se realiza rutinariamente en la experimentación con alimentos. Algunos de estos estudios se centran en la determinación de la velocidad con la que se lleva a cabo el deterioro de su calidad, y algunos otros en la determinación del tiempo requerido para que el producto llegue a un estado en el que sea inapropiado para el consumo humano.

Como ejemplo de lo anterior, en la figura 1.2, se puede observar un estudio llevado a cabo por Karel y Mizrahi en 1978, acerca del deterioro del ácido ascórbico en polvo de tomate al aumentar su contenido de humedad, como parámetro concluyente de su vida de anaquel en función a la velocidad con la que se lleva a cabo.

Para la realización correcta de las pruebas aceleradas de vida de anaquel se requiere del conocimiento y/o establecimiento de:

1. Las formas de deterioro que limitan esta vida de anaquel en el Chile en polvo. En general, suponiendo un envase intacto, son: el pardeamiento, la rancidez, la pérdida de color, el cambio de textura ( apelmazamiento ), y la pérdida de nutrimentos. En donde la temperatura, porcentaje de humedad relativa, la luz y la concentración de oxígeno, constituyen los factores ambientales críticos para la aparición de estas variaciones.

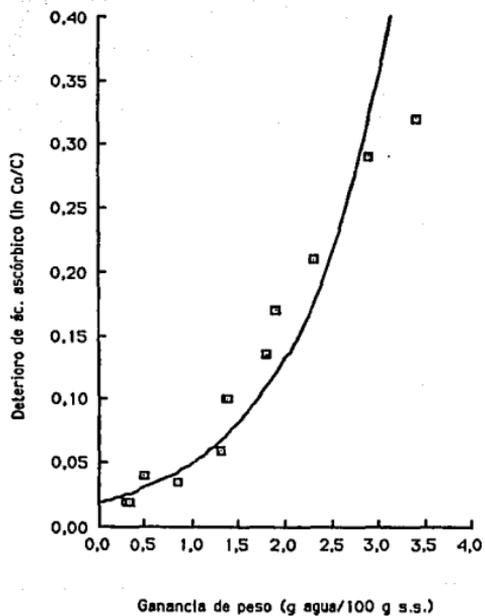


FIG 1.2. INDICE DE DETERIORO DE AC. ASCORBICO EN POLVO DE TOMATE, EN FUNCION A LA GANANCIA DE PESO (Mizrahi y Karel, 1978)

Al mismo tiempo existe la posibilidad de una contaminación microbiana, relacionada al control durante el proceso, principalmente durante la descontaminación y/o envasado, fallas en el envase (pérdida de su integridad), o inapropiada manipulación y almacenamiento a través de la cadena de distribución.

2. Las condiciones de almacenamiento bajo las cuales se llevarán a cabo las pruebas. Se ha propuesto probar con una serie de temperaturas de almacenamiento para alimentos secos (Labuza y Schmidl, 1985) con el objeto de determinar la influencia que tiene la variación de la temperatura sobre la vida de anaquel; las temperaturas sugeridas son 0°C (control), 23°C (temperatura ambiente), 30, 35, 40 y 45°C.

También se ha propuesto ensayar con una condición estándar normal tal como 23°C (73°F), 50 % de humedad relativa, con una condición de abuso de 38°C (100 °F), 20% HR para ganancia de humedad, y 38°C (100°F), 90% de humedad relativa. El almacenamiento a diferentes niveles de oxígeno es útil únicamente si existe un efecto cinético específico importante del oxígeno sobre la velocidad de reacción, como ocurre con la oxidación de lípidos, y si el polvo se encuentra a granel, es decir, sin una barrera específica para este gas.

3. La frecuencia de inspección de la muestra. Se debe establecer con base en la velocidad de deterioro, si no se conoce esta velocidad, se puede ensayar un experimento previo.

4. Las evaluaciones y análisis requeridos. Las muestras deben ser representativas del proceso y del modo específico de deterioro. Los análisis incluyen: análisis sensoriales, análisis químicos específicos, contenido de humedad, y análisis microbiológicos.

La percepción de inaceptabilidad puede estar basada en pruebas establecidas por un panel sensorial, o por un selecto grupo de investigadores de desarrollo de nuevos productos usando pruebas

diseñadas estadísticamente, o por la medición objetiva de un factor de calidad clave.

Entre los estudios que se han realizado para predecir la vida de anaquel se encuentran los siguientes: Oswin (1945), fué el primero en publicar metodología que podría ser usada para predecir la vida de anaquel. Desarrolló una ecuación para predecir la velocidad de pérdida de humedad de cigarros en varias películas de envase.

Heiss en 1958, presentó el estudio clásico de la relación entre las propiedades de sorción de humedad de los alimentos, la permeabilidad al vapor de agua de la película de envase y la vida de anaquel, usando conceptos simples de ingeniería sobre la transferencia de masa.

De 1960 a 1970 este trabajo se llevó a cabo en los laboratorios de M. Karel en el Massachusetts Institute Technology (MIT), introduciendo modelos matemáticos simples y soluciones por computadora que simplifican los cálculos. Desde 1970 se publicaron varios artículos indicando soluciones para predecir el cambio de humedad durante el almacenamiento, tanto en alimentos como en sustancias farmacéuticas. Estas investigaciones realmente no introdujeron ningún concepto diferente a lo establecido por Oswin, Heiss y Karel.

Mizrahi y Karel en 1977 (a y b), y Mizrahi et. al. en 1978, utilizaron estos esquemas para desarrollar un modelo matemático simple para predecir el cambio de humedad en un alimento deshidratado durante almacenamiento. Sus ecuaciones se utilizaron para determinar el tipo de película de envase que debería ser empleada para alcanzar una vida de anaquel dada, para lo cual se requirieron factores tales como la velocidad del deterioro químico del producto como una función de las condiciones ambientales, el máximo efecto de la reacción que pudo tolerarse y las condiciones externas ambientales.

Este trabajo también se desarrolló para otros sistemas alimenticios (Labuza et. al., 1972; Karel et. al., 1971), para

alimentos de humedad intermedia. (citado por Waletzko, 1976; Labuza y Contreras-Medellin, 1981).

Debido a que se trata de chile en polvo envasado, y la película de envase aunque debe ser impermeable al vapor de agua, no constituye una barrera hermética, lo que provoca una sorción de humedad por parte del polvo de chile conforme transcurre el tiempo, afectando en gran medida sus atributos de calidad. Se ha observado a través de la experiencia que a mayor contenido de humedad las reacciones de deterioro en este producto deshidratado, se incrementan significativamente.

El concepto referido al estado del agua y su disponibilidad para las reacciones de deterioro, es la actividad de agua ( $A_w$ ), la cual está más estrechamente relacionada a las propiedades biológicas, químicas y físicas que la evaluación del contenido total de humedad (Duckworth, 1975; Mizrahi y Karel, 1977b)

Esta actividad de agua ( $A_w$ ) es la propiedad fisicoquímica más importante en los sistemas alimenticios. En el estado termodinámico de equilibrio, bajo condiciones de presión constantes, la  $A_w$  es prácticamente equivalente a la relación de presión de equilibrio de vapor de agua del alimento,  $p$ , dividida por la presión de vapor del agua pura,  $p_0$ , a la misma temperatura, y esta relacionada con la humedad relativa externa de equilibrio (%HRE) (Rockland y Nishi, 1980; Rockland y Stewart, 1981).

$$A_w = p / p_0 = \%HRE / 100 \quad (1.1)$$

El comportamiento mostrado por la  $A_w$  puede ser apreciado en curvas características del producto, denominadas ISOTERMAS DE SORCIÓN; que son la representación gráfica de la relación no-lineal generalmente sigmoide entre  $A_w$  y el contenido de humedad total. Las caracterizaciones matemáticas de las isotermas tienen aplicaciones teóricas y prácticas.

Más de 70 ecuaciones han sido reportadas para describir e

interpretar las isotermas. La ecuación BET (Brunauer et al, 1938) se emplea más frecuentemente para caracterizar agua de monocapa y para intentar predecir parámetros de contenido de humedad -  $A_w$  de productos alimenticios (Duckworth, 1975; Jian, 1985).

La  $A_w$  de un alimento determina si éste ganará o perderá humedad en un ambiente dado. Los cambios específicos en color, aroma, sabor, textura, estabilidad y aceptabilidad de productos alimenticios naturales y procesados han sido asociados con ciertos valores de  $A_w$ , a los que se les conoce como  $A_w$  crítica ( $A_{wc}$ ) (Labuza, 1968).

Los niveles críticos de actividad de agua, por encima de los cuales ocurre el detrimento indeseable del alimento, desde puntos de vista de seguridad, calidad y regulatorio, han sido determinados a través de experimentaciones, en las cuales se somete al alimento a condiciones aceleradas de almacenamiento y se evalúa su actividad de agua al mismo tiempo que se evalúa el cambio en sus principales características de calidad. Algunos de estos valores se encuentran reportados en el cuadro 1.5.

En este cuadro se describe la actividad de agua crítica para algunos alimentos, y en algunos de ellos, la causa de su deterioro. Sin embargo, en otros alimentos no se especifica la razón por la cual se consideró el valor de actividad de agua como crítico. A estos productos se les señaló con un asterisco.

En lo referente a la calidad del polvo, la principal característica que es afectada por una actividad de agua elevada es su textura al sufrir apelmazamiento. El apelmazamiento es provocado por la presencia de azúcares amorfos muy higroscópicos que al captar humedad cristalizan.

Desde un punto de vista de seguridad, se enfoca la atención principalmente hacia el crecimiento microbiano. Una vez que el chile seco gana humedad y excede una  $A_w$  de 0.6 está sujeto al crecimiento de hongos, levaduras, bacterias, y microorganismos patógenos. A mayor  $A_w$ , es mayor la probabilidad de deterioro (Labuza, 1980; Rockland y Nishi, 1980; Labuza y Contreras-Medellin, 1981; Kaduya, 1990).

ALIMENTO	Awc	CAUSA DE DETERIORO
Galleta soda	0.65	Apelmazamiento/ pérdida de fermento.
Galletas	0.43	Muy quebradizas a blandas
Huevos frescos	0.30	Calidad*
Gelatina	0.45	Calidad*
Dulce duro	0.30	Textura pegajosa
Chocolate	0.70	Carga microbiana
Tomate seco	0.11	Rancidez*
Harina	0.65	Hongos
Harina de avena	0.25	Calidad*
Leche en polvo descremada	0.30	Apelmazamiento
Mezcla de sopas secas	0.60	Carga microbiana
Café soluble	0.45	Apelmazamiento
Pasta	0.60	Carga microbiana
Carne de res seca	0.72	Carga microbiana
Vegetales secos	0.25-0.4	Calidad*
Frutas secas	0.60-0.65	Carga microbiana

CUADRO 1.5 VALORES MAXIMOS DE ACTIVIDAD DE AGUA CRITICA (Aw) PARA ALGUNOS ALIMENTOS SECOS (Heiss, 1958). \* No se especifica la razón por la cual se considera el valor de Aw como crítica.

Otro de los factores, que junto con la humedad, incide en la aceleración de las reacciones de deterioro del chile en polvo es la temperatura; las diferentes reacciones son afectadas en diferente grado por un incremento en la temperatura.

Por lo que se debe someter al polvo a ciertas condiciones de humedad y temperatura para evaluar el efecto sobre sus características físicas, químicas, y sensoriales, con el objeto de deducir una ecuación que permita predecir la vida de anaquel de éste producto.

Lo anterior puede realizarse por medio de dos métodos de determinación (Mizrahi y Karel, 1977; Mizrahi y Karel, 1978; Hill y Grieger-Block, 1980; Labuza, 1980; Lenz y Lund, 1980; Saguy y Karel, 1980; Labuza y Contreras-Medellin, 1981)

- 1) El primero involucra la determinación del comportamiento

del producto bajo diferentes condiciones de almacenamiento (Temperatura y humedad relativa) conforme transcurre el tiempo, esto es, se determina la cinética del deterioro de un atributo de calidad.

Esta aproximación analítica para calcular y predecir el deterioro, involucra modelos matemáticos y cinéticos. La aproximación cinética esta basada en la velocidad del proceso de deterioro, la que puede ser generalizada y correlacionada con los factores ambientales (temperatura, humedad, luz, oxígeno, etc.), y factores de calidad (color, textura, valor nutritivo, etc.). La ecuación general que describe la pérdida de calidad esta dada como:

$$- dC/dt = f ( E_1, F_1) \quad (1.2)$$

donde, el término de la izquierda es igual a la velocidad de deterioro, E representa a los factores ambientales, y F representa el factor de composición.

Los efectos de algunos de estos factores pueden ser expresados relativamente de manera fácil en una relación funcional que es similar para muchas reacciones de deterioro y sistemas alimenticios. Otros efectos son más complicados y únicos en su comportamiento.

La suposición más común y generalmente válida es que la dependencia de la velocidad de reacción en función de la temperatura sigue la ecuación de Arrhenius

$$k = k_0 \exp (-E_a/RT) \quad (1.3)$$

donde, k=constante de velocidad en la reacción de deterioro;  $k_0$ = constante, independiente de la temperatura;  $E_a$ = energía de activación; R= constante de los gases; T= temperatura absoluta. La energía de activación generalmente se deriva de la pendiente de la gráfica  $\ln k$  vs  $1/T$ , y depende de factores tales como actividad de agua, el contenido de humedad, la concentración de sólidos, el pH, etc.

El modelo de Arrhenius y el de  $Q_{10}$  (el incremento de la velocidad de la reacción por cada 10 °C), describen que tan rápido una reacción se producirá si el producto se conserva en alguna otra temperatura, incluyendo temperaturas extremas. Si se conoce el factor temperatura - aceleración, entonces se puede extrapolar a temperaturas menores como aquellas encontradas durante la comercialización, lo que puede ser usado para predecir la vida de anaquel del producto (Waletzko, 1976; Saguy y Karel, 1980; Labuza y Riboh, 1982; Labuza y Schmidl, 1985).

Este factor de aceleración es el llamado  $Q_{10}$  y se define como

$$Q_{10} = \frac{\text{velocidad a temperatura } (T + 10)}{\text{velocidad a temperatura } T} \quad (1.4)$$

$$Q_{10} = \frac{\text{vida de anaquel a temperatura } T}{\text{vida de anaquel a temperatura } (T+10)} \quad (1.5)$$

Este tipo de extrapolación presenta errores prácticos y teóricos. Primero, por la heterogeneidad del alimento, la muestra puede contener sustancias que interfieran con el análisis. Enseguida, aunque las temperaturas elevadas aceleran las reacciones químicas, debe tenerse cuidado en la interpretación de resultados ya que la forma de deterioro puede cambiar si una reacción es acelerada más que otra: esto es, si tiene una mayor energía de activación pueden ocurrir cambios de fase, los carbohidratos en estado amorfo pueden cristalizar, decrece la solubilidad del oxígeno en agua, las proteínas pueden desnaturalizar, el  $A_w$  de los alimentos secos se incrementa a un contenido de humedad constante.

Y aún suponiendo que no existe ninguno de los inconvenientes mencionados anteriormente, esto es que la energía de activación permanezca constante, el valor de  $Q_{10}$  se incrementa con el descenso de temperatura. Así, si se usa un valor de  $Q_{10}$  evaluado a temperaturas elevadas se determinará una vida de anaquel menor que la vida de anaquel real (Labuza y Schmidl, 1985).

2) El segundo método de determinación de vida de anaquel está basado principalmente en el conocimiento de la relación del contenido de humedad vs  $A_w$  (isoterma de sorción), la velocidad a la cual la humedad se transfiere a través del material de envase y del valor crítico de actividad de agua (Labuza y Contreras-Medellin, 1981; Labuza, 1982; Labuza y Schmidl, 1985).

Al determinar el comportamiento de las isotermas de sorción a diferentes temperaturas, se está incluyendo tanto la influencia de la temperatura, como su efecto interrelacionado con la humedad.

La determinación del factor de aceleración  $Q_{10}$  para la determinación de vida de anaquel del chile en polvo no se considera adecuada, debido a que este factor se evalúa solamente en un intervalo de 10° C para establecer una constante, y no es igualmente válido a menores o mayores intervalos de temperatura. Asimismo, no se contempla la permeabilidad de la película, solo al involucrarla directamente en la experimentación al someter al alimento envasado a las condiciones establecidas de temperatura y humedad relativas, requiriendo mayor tiempo de experimentación (meses) debido a la resistencia que ofrece el envase a la transferencia de humedad.

Al mismo tiempo, el valor de la permeabilidad de la película depende de la temperatura a la que se exponga el material, y su comportamiento en función de la temperatura varía dependiendo de su composición. Por lo que los resultados obtenidos a través del valor de  $Q_{10}$  sólo se considera válido bajo las mismas condiciones de temperatura utilizadas en la experimentación.

Además, la información que podría ser obtenida a través de la evaluación del factor  $Q_{10}$  se obtiene de manera más adecuada y fácil a través de la elaboración de las isotermas de sorción.

Como el objetivo de esta investigación es la elaboración de una ecuación de simulación de vida de anaquel, deben hacerse varias suposiciones básicas para predecir matemáticamente la velocidad de ganancia o pérdida de humedad del sistema alimento en polvo-sistema

de empaque.

La primera suposición es que las condiciones externas se consideran constantes.

La segunda suposición es que el gradiente de humedad dentro del envase es insignificante, esto es que la mayor resistencia a la transferencia de humedad la representa la barrera formada por el empaque.

Un punto crítico para su modelación matemática, es el hecho de que la presión de vapor interna no es constante, sino que incrementa conforme el producto gana humedad. De modo que no existe una fuerza de impulso constante, sino que desciende conforme pasa el tiempo, descendiendo la velocidad con que se gana humedad, por lo que la isoterma de sorción se debe tomar en cuenta en dicha modelación debido a que ésta es función del contenido de humedad y éste a su vez es función de la presión de vapor interna.

La modelación se basa en los principios de transmisión de vapor de agua a través de películas flexibles: la primera ley de Fick de la difusión combinada con la ley de Henry para soluciones gaseosas a bajas concentraciones, referidas en el capítulo II.

En resumen, el chile envasado estará sujeto a ganancia o pérdida de humedad dependiendo de la humedad relativa de almacenamiento ( $A_w$ ), propiedades de sorción del producto y permeabilidad al vapor de agua del material de envase.

Por lo tanto, una ecuación que intente predecir el cambio de humedad del polvo envasado a través del tiempo bajo ciertas condiciones de almacenamiento, debe interrelacionar las siguientes variables: humedad de equilibrio del chile en función de la temperatura y humedad relativa externa; humedad inicial del producto, permeabilidad al vapor de agua de la película de envase, presión de vapor del agua pura a la temperatura del almacén, peso de los sólidos secos del producto en el envase, ecuación empírica representando a la

isoterma de sorción del producto, y contenido de humedad crítica a un tiempo  $t$ .

El tiempo requerido para alcanzar el contenido de humedad crítico del polvo, o sea, el tiempo al cual ya no se considera aceptable para el consumidor debido al cambio importante en alguna de sus características de calidad, representa la vida de anaquel del producto envasado.

En lo que respecta al establecimiento de las condiciones para la experimentación de simulación de la vida de anaquel del chile en polvo, se descarta la influencia del oxígeno sobre la vida de anaquel del producto, debido a que el proceso de envasado se propone realizarlo al vacío y a que la película de envase seleccionada debe ser una excelente barrera al oxígeno, por lo que no es factible que se presenten reacciones de deterioro causadas por la presencia de éste.

Asimismo, el envase que contiene al chile en polvo debe ser opaco, por lo que la luz no afecta los atributos de calidad del producto; y desde el punto de vista microbiológico, no sufrirá cambios mientras el envase conserve su integridad, suponiendo que el proceso de esterilización es llevado a cabo con eficiencia.

Cabe señalar que la vida de anaquel exacta de un producto individual es imposible de conocer, puesto que el chile envasado se expone a diferentes situaciones de distribución, dependiendo de la época del año en que fué producido, las condiciones de la ruta a su destino, y su localización en la carga de embarque. De modo que los modelos establecidos de esta manera para predecir la vida de anaquel, deben representar una buena aproximación a la vida de anaquel real.

## CAPITULO II

### DESARROLLO TEORICO, SELECCION DEL MATERIAL DE ENVASE

En México, se tiene una terminología especial para lo que se refiera a envase y embalaje, así pues, se identifica al término 'empaque o envase primario' como el contenedor de un determinado producto con el cual se encuentra en contacto envolviéndolo. El 'empaque o envase secundario' es referido al contenedor de un producto envasado al que protege durante su comercialización (Avila, 1990).

A la unidad que tiene un número determinado de empaques en forma ordenada y regularizada, se le denomina embalaje, formando lo que se denomina una carga unitaria.

Un Sistema de Empaque se compone del producto y el envase-embalaje, cuya integración se ha definido de dos maneras principales, la primera está referida a la protección que brinda contra riesgos mecánicos, químicos y biológicos presentes durante el manejo físico del alimento. El empaque puede ser considerado como una barrera a la presión o al impacto, representando asimismo un obstáculo a roedores, insectos y microorganismos, así como a agentes químicos, o sea todo lo que pueda entrar en contacto con el producto durante sus etapas de almacenamiento, distribución, venta y consumo.

La segunda comprende al empaque actuando como una barrera a la influencia externa de factores atmosféricos. Esta última se encuentra ejemplificada por las llamadas barreras a la humedad, oxígeno u otros gases, a la luz y otros tipos de radiaciones, a elevadas temperaturas, a grasas, aromas, etc.

Por medio del uso de éstas barreras se establece un microambiente en el interior del empaque, de modo que se conserven las características sensoriales, nutritivas y de seguridad del producto, a través de todo su canal de comercialización. Lo anterior aunque incrementa el costo del producto terminado, mantiene su calidad durante el mayor tiempo posible, lo que hace más viable su exportación.

La creación de este sistema de envase para la conservación del chile en polvo, involucra fundamentalmente el análisis de los siguientes parámetros: el producto por sí mismo, el producto y su relación con el envase como barrera, la resistencia del material a las irradiaciones y por último la compatibilidad producto/envase durante su comercialización (Heid y Joslyn, 1967; Potter, 1978; Avila, 1990).

Si el proceso se encuentra controlado, la disminución en su calidad depende directamente del comportamiento del empaque y su interacción con el alimento frente al medio ambiente en el almacenamiento y comercialización.

La aceptación desde un punto de vista legal, requiere que el empaque no contenga toxinas ni establezca interacciones con el chile en polvo, proporcione protección sanitaria, sellado hermético para evitar intercambio de gases, vapor de agua y materiales extraños. Debe ser fácil de abrir y manipular, así como de desechar.

La FDA en su apartado 'F' denominado *Food Additives Resulting from Contact with Containers of Equipment and Food Additives Otherwise Affecting Food*, toca con mayor relevancia el tema de materiales de empaque. En general, se establece que no debe existir migración alguna entre el empaque y el alimento en condiciones de almacenamiento y comercialización (Lewis, 1989).

## **2.1) COMPATIBILIDAD PRODUCTO/ENVASE.**

Cada constituyente del sistema representa un papel específico que determina los cambios que se llevarán a cabo en el polvo durante su comercialización. Pero su control como parte de una unidad posibilita el aumento en la vida de anaquel. Para ello se definen a continuación cada una de sus funciones como: protección atmosférica, protección mecánica, protección biológica, estabilidad, conformación estructural, operatividad, comercialización, economía, y comodidad.

### 2.1.1) INFLUENCIA DE GASES, VAPORES ORGANICOS Y VAPOR DE AGUA.

Existen varios factores que contribuyen al deterioro del chile en polvo, influenciados en gran medida por el modo de almacenamiento, transportación y empaçado.

El chile envasado y almacenado en locales con humedad relativa elevada, pierde calidad debido al paso de agua a través del empaque, tal circunstancia ambiental favorece la multiplicación de microorganismos, y el deterioro de sus características sensoriales. Por lo que se seleccionó la humedad relativa baja (aproximadamente 50%), manteniéndola constante en la medida de las posibilidades.

Con el paso del tiempo se alcanza un equilibrio entre la humedad del ambiente y la propia del producto almacenado. La capacidad de retención de agua es tanto mayor, cuanto más pequeñas son las partículas del chile en polvo y más elevada la temperatura; desde un punto de vista de calidad y seguridad, pueden reconocerse niveles críticos de Aw arriba de los cuales se presenta un deterioro indeseable del producto, como ya se pudo observar en el cuadro 1.5.

Asimismo, este límite crítico de Aw también se basa principalmente en consideraciones de regulación gubernamental y económicas, ya que por ejemplo la pérdida de humedad más allá de un nivel razonable, es ilegal debido a la influencia en su peso neto reportado. Otro límite crítico de Aw se presenta en el efecto pronunciado que ejerce sobre las reacciones químicas, ya que la capacidad del agua para actuar como un disolvente, medio de reacción y como reactante por sí mismo, se incrementa al aumentar el Aw (Ross, 1975; Labuza, 1982; Taoukis et al., 1988).

En lo que se refiere a los vapores orgánicos, el riesgo de que el polvo los absorba o los deje escapar es considerable ya que contiene muy pequeñas cantidades de componentes volátiles. Los aromas distintivos de varios vegetales pueden penetrar en él y el riesgo de absorción de olores circundantes (otras especies, flores, perfumes, cafés, pescado, queroseno, sopas, etc.) es especialmente marcado en

alimentos con un alto contenido en grasa como en este caso (Stépek, et.al., 1987).

La naturaleza higroscópica de esta especie le confiere una capacidad de retención de agua, que provoca una mejor fijación del aroma, dado que la rápida difusión al medio ambiente de las sustancias portadoras de sabores queda interrumpida.

Por lo tanto, su conservación conlleva a la proposición de contenedores sellados herméticamente, almacenados en la obscuridad, a temperaturas de 20° C o menores, con humedad relativa máxima del 50%; y debido a que son especias rojas se recomienda un almacenamiento refrigerado o desplazamiento del oxígeno (reemplazándolo por gas inerte o mejor a través de un vacío), para preservar su color óptimo y reducir la oxidación no enzimática de los carotenoides (Farrell, 1990; Heath, 1981).

Para la selección del material del que este constituido el envase, se consideró la resistencia que oponga al paso de los factores ambientales mencionados. Para ello, se han desarrollado tres conceptos fundamentales: Velocidad de transmisión de gas (GTR), Permeancia y Permeabilidad (ASTM D 1434-82).

1) Velocidad de transmisión de gas (GTR). Referido a la cantidad de un gas dado pasando a través de una unidad de superficies paralelas de una película plástica, por unidad de tiempo, bajo condiciones establecidas.

2) Permeancia. Es la relación de la velocidad de transmisión de gas a la diferencia en presión parcial del gas en los dos lados de la película.

3) Permeabilidad. Es el producto de la permeancia y el espesor de la película cuyo valor es significativo únicamente para materiales homogéneos (ASTM D 1434 - 82). Este término incluye la cantidad de gas pasando a través de la película, el tiempo en que se lleva a cabo en función de la diferencia en concentraciones de dicho gas.

Caracteriza la eficiencia del material de empaque contra la penetración de vapores de agua, orgánicos y gases.

La representación más común de esta propiedad está dada por la separación de dos fases con diferentes concentraciones de gas, a través de una membrana que impide su mezcla y el flujo hidrodinámico común. Sin embargo, es posible un movimiento a través, debido a la difusión de ciertos componentes, la rapidez con la cual se rige este movimiento depende de su coeficiente de transferencia de masa y del coeficiente de permeabilidad, o del grado de desviación con respecto al equilibrio. Esto es, la fuerza activa es la propia diferencia de concentraciones entre el interior y la atmósfera circundante.

Los coeficientes mencionados son característicos de cada componente y por medio de ellos es posible regular la rapidez con la que se llega a un equilibrio, controlando el tiempo en el que logran atravesar la membrana, en función de la naturaleza y espesor del material, y el equipo de envasado.

En el caso de materiales laminados, la permeabilidad depende del valor de permeabilidad de cada constituyente, y a veces también de la disposición, por lo que es aconsejable colocar en contacto con el gas el componente más impermeable a él. (Brandrup e Immergut, 1989; Naylor, 1989; Avila, 1990)

Para la evaluación de la permeabilidad en el material de envase, diversos autores han propuesto técnicas generalmente referidas al permeante principal, el oxígeno (Karel, et. al, 1958; Dietrich et al., 1972; Seymour, 1976; Khanna y Peppas, 1982; Naylor, 1989; Rooney, 1989; Paine y Paine, 1992; ASTM D 3985-81; ASTM D 3073-72; ASTM E 96-80).

Generalmente, el alimento no está en equilibrio con la atmósfera cuando se expone por primera vez, y la diferencia en presiones de vapor constituye una fuerza potencial para lograr este equilibrio debido a la transferencia de agua al alimento. El empaque se opone a esta tendencia constituyendo una resistencia entre el alimento y el

gradiente potencial.

### 2.1.1.1) Deducción de la ecuación de permeabilidad

Cuando el gradiente de concentración entre el medio ambiente y el medio interno permanece más o menos constante al paso del tiempo, la rapidez de difusión ( $N_A$ ) es constante, por lo que se puede aplicar la ley de Fick, cuando la difusividad es independiente de la concentración y en donde no hay flujo por convección. La rapidez de transferencia puede describirse en función del flujo molar, o moles/(tiempo)(área), ya que el área se mide en dirección normal a la difusión. (Geankoplis, 1986; Treybal, 1990)

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz} = -C D_{AB} \frac{\delta X_A}{\delta z} \quad (2.1)$$

Donde  $N_A$  [mol kg/ seg  $m^2$ ] describe el movimiento de un componente, relacionado a un lugar fijo en el espacio. La difusividad o coeficiente de difusión,  $D_{AB}$  [ $m^2$ / seg], del componente A en una solución B, es la medida de la movilidad de difusión.  $C$  [mol kg/  $m^3$  sólido] es la concentración,  $X$  es la fracción molar y  $z$  [m] es el espesor del empaque.

Si  $D_{AB}$  es constante, la integración para la difusión a través de una membrana de espesor  $z$ , es:

$$N_A = \frac{D_{AB} (C_{A1} - C_{A2})}{z} \quad (2.2)$$

Donde  $C_{A1}$  y  $C_{A2}$  son las concentraciones del gas a ambos lados de la membrana.

La difusión de los solutos a través del material polimérico, es parecido a la difusión a través de soluciones líquidas, al menos cuando se trata de gases incondensables como solutos. El gas se disuelve en el sólido en las caras expuestas en una extensión que se puede describir a través de la ley de Henry, en donde la concentración es directamente proporcional a la presión.

$$C = S p^*$$

(2.3)

Donde  $p^*$  [atm] es la presión parcial del soluto gaseoso A en la superficie del polímero, y  $S$  [cm<sup>3</sup> soluto/ atm m<sup>3</sup> sólido a 0°C y 1 atm] es el coeficiente de solubilidad del gas dentro del polímero.

Lo que significa que la cantidad de gas dentro de una solución es directamente proporcional a la presión de ese gas en contacto con la solución.

$$N_A = D_{AB} S \frac{(p_1 - p_2)}{z} \quad (2.4)$$

Entonces el gas se difunde desde el lado de presión elevada al de baja presión en una forma que se describe como 'activada', en donde las cadenas poliméricas están en un estado de movimiento térmico constante y las moléculas en difusión brincan de una posición a otra. Un 'brinco' efectivo requiere que exista un hueco o paso del tamaño suficiente.

Para describir generalmente las características de difusión en función a una cantidad, se usa el término de permeabilidad; la cual se define como

$$P_M = D_{AB} S_A \quad (2.5)$$

y se encuentra en unidades de presión a temperatura y presión standard / cm<sup>2</sup> s. En algunas referencias se define como cm<sup>3</sup>(TPE)/ seg cm<sup>2</sup> cm Hg/ mm espesor (Geankoplis, 1986).

Puesto que en las dos caras de la membrana la solubilidad en el equilibrio del gas en el polímero es directamente proporcional a la presión

$$N_A = \frac{D_A S_A (p_{A1} - p_{A2})}{z} = \frac{P_M (p_{A1} - p_{A2})}{z} \quad (2.6)$$

En términos de concentración

$$CA_1 = \frac{S \cdot PA_1}{22.414} \quad (2.7)$$

y

$$CA_2 = \frac{S \cdot PA_2}{22.414} \quad (2.8)$$

$22.414 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mol de gas ideal (TPE)}$

$$\therefore N_A = \frac{P_M (PA_1 - PA_2)}{22.414 (z_2 - z_1)} \quad (2.9)$$

En el caso de un multilaminado

$$N_A = \frac{PA_1 - PA_2}{22.414} \frac{1}{L_1/P_{M1} + L_2/P_{M2} + L_3/P_{M3} + \dots N} \quad (2.10)$$

Donde L es el espesor de cada película, y  $(PA_1 - PA_2)$  la diferencia total de presiones.

Un caso particular se encuentra bajo condiciones en estado estable para vapor de agua, la velocidad del transporte a través de una membrana.

$$(dm / dt) = (k/x) A (PA_2 - PA_1) \quad (2.11)$$

donde el término de la izquierda es igual a la cantidad de humedad pasando a través de la membrana por unidad de tiempo,  $k$ , es igual a la permeabilidad de la película, (cantidad \* espesor)/(unidad de área \* tiempo \* fuerza impulsora);  $x$  es igual al espesor de la película;  $k/x$  es igual a la permeabilidad  $P_m$  de la película usada con películas compuestas.  $A$  es igual al área a través de la cual pasa el vapor (Geankoplis, 1986; Perry y Chilton, 1987; Treybal, 1990).

El método estándar para determinar  $k/x$  es fijar las presiones en ambos lados de la película para un área dada, y medir el cambio de peso o humedad que toma lugar en función del tiempo. Una gráfica de la cantidad transportada contra el tiempo resulta en una línea recta, cuya pendiente esta representada por  $(k/x) A (PA_1 - PA_2)$  (Labuza y Contreras-Medellin, 1981; Labuza, 1982; Jian, 1985; Naylor, 1989).

Sin embargo, muchos especialistas de empaques, utilizan la

nomenclatura WVTR (velocidad de transferencia de vapor de agua, por sus siglas en inglés), más que k/x (Labuza y Contreras-Medellin, 1981; Labuza, 1982; Potter, 1978).

$$\text{WVTR} = \text{pendiente} / \text{área} = \text{g H}_2\text{O} / \text{día m}^2 \quad (2.12)$$

Así, los valores de WVTR deberán ser divididos por la fuerza impulsora de diferencia de presiones para ser convertidos en k/x. En los cuadros 2.1. A y B, se muestran algunos valores de WVTR y GT para algunos materiales de empaque, evaluados experimentalmente.

Como se puede apreciar de dichos cuadros, existen materiales en los cuales se tiene una resistencia importante al oxígeno y alta permeabilidad al vapor de agua y viceversa. Esta característica depende de su composición, proceso de fabricación y conformación estructural del polímero principalmente. Por ello, es recomendable el uso de materiales multilaminados o coextruidos que proporcionen en conjunto la barrera requerida a los elementos externos.

Para la determinación experimental de humedad, es necesario considerar los siguientes factores:

- a) Cuando una película se expone al gas, absorbe una fracción definida, en proporción a su propio volumen.
- b) La cantidad absorbida por el material es proporcional a la presión parcial del gas.
- c) Si un lado de la membrana se expone al gas, y el otro a un vacío, cualquier fracción de la película inmediatamente adyacente al gas absorberá la misma concentración que toda la película entera; mientras que la adyacente al vacío no absorberá nada.
- d) En el interior del material, los fenómenos de transferencia se rigen por la ley de Fick.

La justificación del uso de cada uno de ellos se expone más adelante.

PELICULA	WVTR ( $\text{cm}^3 / \text{m}^2 \text{ día}$ )	GT	REF
CELOFAN			
NITROCELULOSA, CUBIERTA	7.776	0.044	1
	7.750		2
SARAN, AMBOS LADOS CUBIERTOS	6.998	0.001	1
	6.975		2
CELULOSA ACETATO	77.500		2
FLUOROCARBONO	0.389 - 0.778	0.155 - 0.332	1
	0.385 - 0.775		2
IONOMERO	20.218 -32.659	4.977 -10.700	1
	20.150 -32.550		2
NITRILOS	77.500		2
ACRILONITRILO	77.760	0.018	1
NYLON			
SIN CUBIERTA (TRANSLUCIDO)	373.248-404.352	0.058	1
	372.000-403.000		2
SARAN CUBIERTO POR 1 LADO	3.110	0.011	1
	3.100		2
METALIZADO ORIENTADO	3.100		2
POLIBUTILENO	18.600		2
POLICARBONATO	150.854	5.695	1
	150.350		2
POLIESTER, PET			
SIN CUBIERTA	20.218	0.111	1
	20.150		2
SARAN CUBIERTO POR 1 LADO	9.331	0.009	1
	9.330 <sup>1</sup>		2
METALIZADO	0.466 - 2.177	0.008	1
	0.456 - 2.170		2

TABLA 2.1 A. VELOCIDADES DE TRANSMISION DE VAPOR ( WVTR )  
Y OXIGENO ( GT ) DE MATERIALES DE EMPAQUE  
REFERENCIAS.

1. Mark, et. al., 1985.

2. PACKAGING ENCYCLOPEDIA. Suplemento especial de revista PACKAGING,  
editado en 1986. VALORES EVALUADOS A 100°F ( 37.8 °C ) Y 90% DE HR

PELICULA	WVTR (cm <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> d.a)	GT	REF.
<b>POLIETILENO</b>			
LDPE <sup>B</sup>	18.662 <sup>A</sup>	5.530 -18.524	1
	18.600		2
MDPE <sup>C</sup>	7.776 -15.552	3.594 - 7.465	1
	7.750 -15.500		2
HDPE <sup>D</sup>	4.666 -10.109	0.719 - 5.523	1
	4.650 -10.080		2
LLDPE <sup>E</sup>	18.624	5.530 -18.524	1
	18.600		2
COPOLIMERO LDPE / 12% EVA	60.653	11.336 -14.377	1
	60.450		2
<b>POLIPROPILENO</b>			
NO ORIENTADO	7.776 -10.109	1.852 - 9.124	1
	7.750 -10.075		2
ORIENTADO (BALANCEADO)	4.666 - 6.221	2.433	1
	4.650 - 6.200		2
ORIENTADO Y METALIZADO	1.555	0.066 - 0.221	1
	1.550		2
POLIVINILCLORURO	>62.280	0.111 -33.178	1
	>62.000		2
POLIVINILIDENO CLORURO (SARAN)	0.778 - 4.666	0.002 - 0.039	1
	0.775 - 4.650		2

CUADRO 2.1 B. VELOCIDADES DE TRANSMISION DE VAPOR ( WVTR ) Y OXIGENO ( GT ) DE MATERIALES DE EMPAQUE

REFERENCIAS.

1. Mark, et. al., 1987.
2. PACKAGING ENCYCLOPEDIA. Suplemento especial de revista PACKAGING, editado en 1986.

VALORES EVALUADOS A 100°F ( 37.8 °C ) Y 90% DE HUMEDAD RELATIVA.

<sup>A</sup> ESPESOR DE 0.0005 IN ( .00127 CM )

<sup>B</sup> POLIETILENO BAJA DENSIDAD

<sup>C</sup> POLIETILENO MEDIA DENSIDAD

<sup>D</sup> POLIETILENO ALTA DENSIDAD

<sup>E</sup> POLIETILENO LINEAR DE BAJA DENSIDAD

También es necesario tener en cuenta los siguientes datos:

- 1) El peso propuesto del producto por unidad de empaque.
- 2) La densidad a granel del producto, lo que permite el cálculo de las dimensiones requeridas del empaque.
- 3) El contenido de humedad del producto en el momento del empaque.
- 4) El contenido de humedad crítico del producto.
- 5) El número de empaques en cada caso.
- 6) Detalles del método de distribución.
- 7) El tiempo de vida de anaquel requerido.
- 8) La estimación de las condiciones precisas (temperatura, humedad relativa) en el área de venta.
- 9) La relación humedad relativa/contenido de humedad del producto.
- 10) El tipo de empaque deseado para el producto.

No es práctico determinar la permeabilidad a temperaturas y humedades relativas extremas, ya que muchos sistemas alimento/empaque nunca se verán sometidos a esas condiciones, de otro modo se sobreprotegería al alimento, con la consiguiente elevación de costos por concepto de empaque.

La permeabilidad de la película puede cambiar con la temperatura y la humedad relativa, esto se debe a que el agua puede disolverse en la película, hincharlo e influenciar esta evaluación. Sin embargo, se consideró aceptable utilizar el valor de permeabilidad a condiciones standard, para cálculos aproximados.

En el cuadro 2.2 se presentan algunos de estos valores evaluados a condiciones standar de temperatura y 100% de humedad relativa. Los gases reportados son el vapor de agua y el oxígeno, debido a que estos son los que inciden sobre la calidad del chile en polvo de modo más significativo.

PELICULA	PERMEANTES		T(°C) <sup>T</sup>
	VAPOR DE AGUA (cm <sup>3</sup> cm/ m <sup>2</sup> día atm)	OXIGENO	
<b>POLIETILENO</b>			
LDPE ( 91.4 kg/m <sup>3</sup> )	596.49	19.30	25
HDPE ( 96.4 kg/m <sup>3</sup> )	78.95	2.63	25
<b>POLIPROPILENO</b>			
90.7 kg/m <sup>3</sup> .50% CRISTALINIDAD		14.91	30
88.7. 43	138.60	14.74	23 Y 33
89.3. 50		12.98	33
89.9. 58		11.23	33
90.1. 60		15.61	33
<b>POLIESTIRENO</b>			
	11 842.10	16.67	25
<b>BIAXIALMENTE ORIENTADO</b>			
	7 368.42	17.54	25
	6 289.47		23
<b>POLIVINILIDENO CLORURO (SARAN)</b>			
	61.40	0.03	25 Y 30
<b>CELULOSA HIDRATADA (CELOFAN)</b>			
	165 789.47	0.01 <sup>1</sup>	25
		0.05 <sup>2</sup>	25
		0.06 <sup>3</sup>	25
		0.08 <sup>4</sup>	25
<b>CELULOSA ACETATO</b>			
	36 228.07	5.13	25 Y 30
	48 245.61		25

CUADRO 2.2 VALORES DE PERMEABILIDAD DE LOS PRINCIPALES

MATERIALES DE ENVASE.

REFERENCIAS

Bandrup e Immergut, 1989.

T TEMPERATURA A LA CUAL SE EVALUO LA PERMEABILIDAD.

- 1 EVALUADO A 0% DE HUMEDAD RELATIVA
- 2 EVALUADO A 43% DE HUMEDAD RELATIVA
- 3 EVALUADO A 76% DE HUMEDAD RELATIVA
- 4 EVALUADO A 100% DE HUMEDAD RELATIVA

### 2.1.1.2) Atmosferas Modificadas

En general, en la tecnología de atmósferas modificadas, el factor más importante es la calidad del producto por sí mismo. (Anon, 1987; Holmgren, 1988). Son consideradas como parte de una tecnología multidisciplinaria utilizada comúnmente para conservar la frescura y la calidad de los alimentos; la cual utiliza principios básicos de ciencias tales como química, física, microbiología, ciencia de alimentos, ingeniería, y química de polímeros; y cuyo objetivo principal es proporcionar al consumidor alimentos que durante un período considerable se encuentren en condiciones óptimas para su consumo, con la seguridad y características organolépticas deseadas dentro de un precio razonable (Brody, 1987; Lioutas, 1988; Brody, 1989).

La diferencia entre la atmósfera controlada con una modificada radica principalmente en que la controlada es donde se puede 'controlar' más o menos continuamente, la concentración de gases durante la distribución y transportación, creando los cambios o modificaciones que sean necesarias en el momento en que así lo requiera, lo cual es una acción difícil de realizar en un alimento empacado.

La atmósfera modificada es una 'modificación' a un tiempo, después no se puede hacer más cambios, y el empaque es el único responsable de los cambios que se pudieran presentar hasta su consumo (Holmgren, 1988; Fassi, 1990). Esta tecnología abarca desde la adición de gases o mezcla de ellos, hasta un empackado al vacío (Brody, 1985).

Una tecnología alterna utilizada recientemente en Japón, son los llamados *absorbedores de oxígeno o CO<sub>2</sub>* los cuales se encuentran en pequeños recipientes, con los que se modifica la atmósfera en su interior. Estos absorbedores están basados en reacciones orgánicas o inorgánicas en las cuales los residuos de O<sub>2</sub> pueden reducirse a menos de 1 ó 1.5%. Este nivel se encuentra en una concentración muy por debajo de la proporcionada por el equipo de vacío solo (Abe y Kondoh,

1989; Rice, 1989).

Una de las principales ventajas del uso de atmósferas modificadas es su efecto antimicótico, el cual es unido a una esterilización anterior al consumo, lo que proporciona un resultado final sabores mucho mejores y textura aceptable (Label, 1988; Brody, 1989; Weiner, 1990).

Para ello, debe controlarse desde el mismo chile en polvo: su manejo, preparación, y el modo en el que se lleva a cabo su sanitización y control de temperatura. El constante control de este equilibrio con la atmósfera es un punto crítico necesario para lograr una extensión de vida de anaquel efectiva (Bell, 1987; Morris, 1987; Holmgren, 1988).

Por otro lado, este tipo de tecnología protege al empaque de picaduras hechas por el producto (Eustace, 1989; Larson, 1990); estabiliza el sabor y la textura debido a la prevención de la oxidación (Weiner, 1990); e induce una reducción considerable del uso de ciertos aditivos químicos reemplazándolos por películas barrera y/o absorbedores (Rice, 1989).

En el momento en el que se lleva a cabo un empaque bajo atmósfera modificada, es necesario insistir sobre el sellado del empaque, ya que posteriormente no hay control de la concentración de gas o gases, por lo que puede existir reacciones de estos gases con el alimento, con los componentes del material o propiciar el crecimiento de microorganismos.

Adicionalmente, otro de los beneficios del Empaque en Atmósfera Modificada, es mantener la humedad relativa adecuada en el empaque. Es peligroso que sea muy alta, ya que puede causar condensación y propiciar condiciones favorables para crecimiento microbiano. Mantener la temperatura apropiada a través de la comercialización es el paso central para prevenir este problema, y su fluctuación posee la mayor influencia entre el empaque y el medio. En combinación con el ambiente no estéril del interior del mismo, guarda un estado

dinámico con el crecimiento microbiano y la degradación de la calidad, directamente proporcional con la desviación de la temperatura óptima (15 °C) (Lioutas, 1988).

Esto implica que una película que es apropiada a una temperatura puede no ser apropiada a otra, aunque las películas más comunes son buenas barreras al vapor de agua, con lo que mantienen la humedad interna constante. (Zagory y Kader, 1988)

Para evitar estos defectos, se diseña un sistema que contemple el análisis de la permeabilidad del material de empaque a estos gases y se hace una evaluación de su difusión a través del tiempo, así como un análisis de las reacciones químicas posibles (Rice, 1989).

Particularmente, en lo que se refiere a los elementos que constituyen la atmósfera modificada, generada para el chile en polvo, son los siguientes (Avila, 1990):

a) Naturaleza del producto: El pH del chile, la Aw y el cambio de su valor al paso del tiempo, la presencia de otro aditivo ( $\text{SiO}_2$ ), la cantidad y tipo de microorganismos patógenos y no patógenos. La actividad de agua es la ruta recomendada para el seguimiento de los efectos de un empaque en atmósfera modificada, controlada o al vacío (Brody, 1985).

b) Atmósfera interna: La concentración de oxígeno y vapor de agua residual; y las mezclas,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , N, como combinaciones bacterioestáticas.

c) Temperatura de almacenamiento: La efectividad de la atmósfera generada disminuye en proporción directa con el aumento de la temperatura debido a que la solubilidad del gas en el producto también aumenta.

d) El envase: Se refiere al espacio de cabeza, forma, permeabilidad, integridad material y su estructura. Tanto el espacio cabeza como permeabilidad tienen influencia sobre la cantidad de gas

en su interior, y el tiempo en que estas concentraciones logran la inhibición microbiana. En la relación espacio-cabeza/alimento debe existir siempre un equilibrio entre la mezcla gaseosa, vapor de agua y el alimento, dicho equilibrio depende sobre todo de la tolerancia a los gases y temperatura del almacén.

Los principales parámetros y puntos críticos para su optimización, en cuanto al producto y al empaque, son (Prattley, et. al., 1987; Rice, 1987; Holmgren, 1988; Lioutas, 1988; Eustace, 1989; Rice, 1989; Weiner, 1990) :

**A: Parámetros del producto:**

- Calidad organoléptica y microbiológica del material en crudo.
- Control de la temperatura a través de toda su cadena de comercialización.
- Material de empaque.
- Equipo de empaçado.
- Mezcla apropiada de gases.
- Tipo de sanitización.

**B: Factores que determinan la velocidad de transmisión de oxígeno en el empaque:**

- Composición del film.
- Espesor.
- Temperatura.
- HR.

**C: Puntos críticos:**

- Seguridad microbiológica y vida de anaquel del producto.
- Cadena de distribución del alimento.
- Sistema de monitoreo en el producto en todos los puntos hasta su venta.
- Control de temperatura hasta su consumo.
- Manejo del consumidor entre su compra y su consumo.

Otro punto crítico es la integridad del empaque, el equipo que se use es muy importante desde el momento de llenado con un buen vacío, y un volumen uniforme de gas. Además debe proporcionar un buen sellado, de lo que dependen principalmente las propiedades

organolépticas (Weiner, 1990).

Los principales métodos para crear las condiciones de atmósferas modificadas en un empaque, se dividen en dos categorías principales: la pasiva y la activa.

**Modificación pasiva.**- Se crea durante la respiración principalmente de todas las frutas y hortalizas. En donde la velocidad del cambio y la composición dependen del producto y la permeabilidad de la película.

**Modificación activa.**- Se establece la atmósfera deseada controlando los niveles de oxígeno, bióxido de carbono, nitrógeno y/o etileno, de diferentes maneras. El método más utilizado es a través de un inyección de gas, creando un vacío seguido de la inyección de gas o mezcla de gases. Aquí, la atmósfera es modificada instantáneamente al inicio del almacenamiento. (Zagory y Kader, 1988; Floros, 1990; Bush, 1991).

La esquematización de este tipo de modificación se ejemplifica en la figura 2.1 A y B, en donde se puede observar el procedimiento en dos fases con la adición de un gas carbónico sólido. En el interior del empaque sellado se crea una atmósfera especial y el alimento es capaz de absorber el gas hasta llegar a un equilibrio.

En la actualidad, se han publicado un número considerable de artículos y libros especializados en la tecnología de empaque con atmósferas modificadas y controladas, con especial atención en lo que se refiere a la extensión de la vida de anaquel de los productos alimenticios y farmacéuticos. Sin embargo, hay muy pocas publicaciones que hablan de la seguridad microbiológica o del control total de calidad necesario para su implementación tecnológica.

Para asegurar que el polvo llegará al consumidor en buena condición microbiológica, debe asegurarse la implementación de una atmósfera que impida el desarrollo de los mismos.

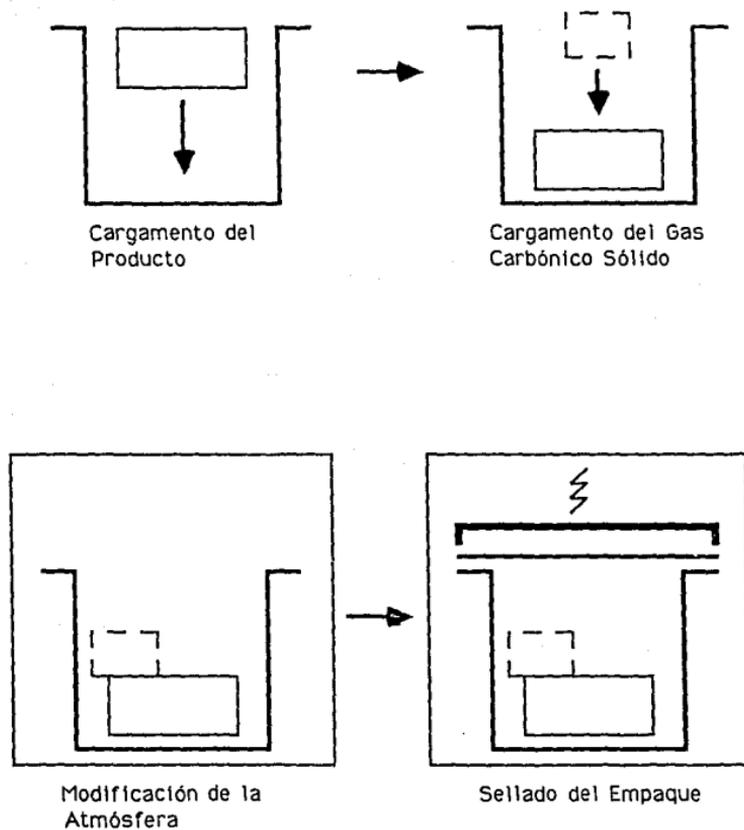
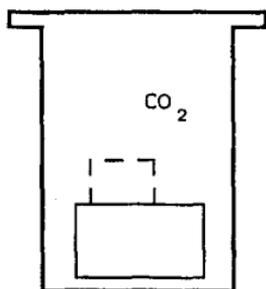
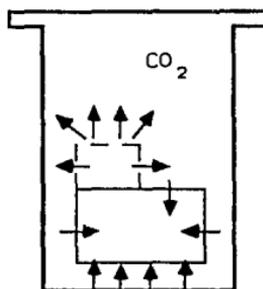


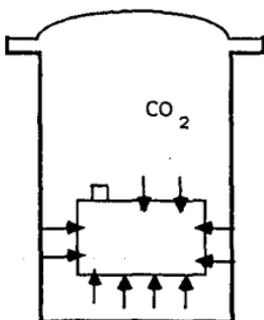
FIGURA 2.1 A. EMPAQUE CON ATMÓSFERA MODIFICADA. PROCEDIMIENTO (Bush, 1991).



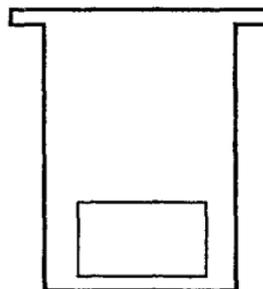
El empaque es seleccionado



El gas carbónico sólido sublima en pocos minutos  
El alimento absorbe el gas carbónico



Cuando el gas se encuentra totalmente sublimado, el empaque se presuriza muy ligeramente.



Después de cierto tiempo, llega al equilibrio, mediante la absorción total del gas. El empaque vuelve a su forma normal,

FIGURA 2.1 B. EMPAQUE CON ATMOSFERA MODIFICADA. INTERIOR DEL EMPAQUE (Bush, 1991).

### 2.1.1.3) Implementación de la Atmósfera Bacterioestática.

La implementación de la atmósfera bacterioestática tiene como objetivo reducir la actividad del remanente de microorganismos en fase lag; después de que el polvo fue sometido al proceso de esterilización; a través del control del microambiente que rodea al producto empacado.

Para evitar la proliferación de microorganismos, es de primordial importancia la protección que brinda el empaque al chile, lo cual está en función del formado de barreras a factores externos; o también por otro lado, el producto empacado puede contener sustancias con efectos microbioestáticos o microbicidas que contribuyen a la eliminación de la microflora de la superficie.

El material de empaque debe ser completamente inerte a la acción de microorganismos, y no debe ser la fuente de contaminación del alimento.

Materiales tales como algodón, papel y textiles presentan problemas desde un punto de vista microbiológico, ya que éstos sirven como sustrato a los microorganismos.

En lo que respecta a los plásticos, el peligro de contaminación microbiana depende de su tipo y composición, se considera al polietileno como un material con buena resistencia al ataque microbiano. Además este material es susceptible de esterilizarse, sólo los resistentes a 100°C (polietileno de alta densidad) pueden esterilizarse con calor; el polietileno cubierto con cartón, usado para el método Tetrapack, se esteriliza con solución de peróxido de hidrógeno (Stépek, 1987; Hotchkiss, 1988).

El crecimiento y la proliferación de los microorganismos en un alimento están influenciados por los siguientes factores: la  $A_w$ , la temperatura, el pH y la composición del ambiente gaseoso.

El pH ejerce un marcado control en la actividad enzimática de los microorganismos, asimismo puede afectar la permeabilidad de su célula y otras actividades fisiológicas. En este caso el chile en polvo posee un pH de 4.5, por lo que los mohos y las levaduras pueden desarrollarse, aunque para su crecimiento necesitan un Aw mayor a 0.5 (Nickerson y Sinskey, 1974; Müller, 1981; Frazier y Westhoff, 1985; Paine y Paine, 1992)

La Aw al cual el chile en polvo envasado se almacena influenciará la viabilidad de los microorganismos cuando son transferidos a condiciones ambientales favorables para su crecimiento.

El chile deshidratado posee una actividad de agua menor a 0.3 a aproximadamente 5% de humedad, por lo que, mientras conserve su contenido de humedad inicial (al ser envasado) no sufrirá deterioro por microorganismos, ya que ninguno de éstos es capaz de crecer a tan bajos valores de Aw.

Aunque la destrucción de estos alimentos por los mesófilos es importante, son más preocupantes los organismos patógenos como ciertas especies de *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Clostridium*, *Shigella*, y *Bacillus*. La velocidad de desarrollo y actividad enzimática son mayores cuanto mayor es la temperatura; y ya que pocas veces se mantiene el polvo a elevadas temperaturas, su deterioro ocurre más frecuentemente en el intervalo mesófilo.

Los microorganismos que pueden estar presentes en el chile son esporas de las bacterias de los géneros *Bacillus* y *Clostridium*, bacterias no esporuladas, entre las que se encuentran especies de los géneros *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*; rara vez se encuentran levaduras; en cambio contienen numerosas especies de *Penicillium*, *Aspergillus glaucus* y *A. restrictus*, también se encuentran con frecuencia *A. flavus* y *A. ochraceus*. Asimismo pueden estar presentes patógenos tales como *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* y

*Salmonella* (Nickerson y Sinskey, 1974; Müller, 1981; Frazier y Westhoff, 1985; Kaduya, 1990).

Una carga microbiológica alta antes del envasado, condiciones pobres de higiene durante su proceso, y temperaturas muy altas reducen de 5 a 70% de la vida útil del producto, ya que el metabolismo de los microorganismos puede degradar los carbohidratos, grasas y/o proteínas presentes en el chile, dando como resultado cambios determinantes en la textura, olor, sabor, y valor nutritivo. Además cambian su apariencia por enmohecimiento y alteran el color de un pigmento.

La resistencia de los microorganismos a la irradiación varía ampliamente: los más resistentes a la radiación son las esporas bacterianas y los virus, las levaduras y los hongos filamentosos tienden a ser menos resistentes. En ausencia de oxígeno y agua, las células aumentan su resistencia a la irradiación (Urbain, 1986; Urbain, 1989).

En este estudio se propone una atmósfera libre de oxígeno cuya finalidad es la de inhibir el crecimiento de aerobios y disminuir de igual manera la población de mohos. Asimismo, en esta atmósfera la baja presión parcial de oxígeno creada por el medio 'modificado' en el envase, provoca una reducción en la velocidad de síntesis de volátiles.

### 2.1.2) INFLUENCIA DE LA LUZ

Los componentes de sabor del chile en polvo oscurecen si el alimento es expuesto a luz intensa o luz solar cambiando su color, aroma y olor característicos, por lo que se recomienda su almacenamiento en vidrio ámbar, botellas de aluminio o laminados con papel, lo que efectivamente excluye la luz. Es inadecuado permitir que este material permanezca en un área expuesta a la luz directa del sol; idealmente el almacén en que sea conservado deberá ser oscuro o iluminado indirectamente, pero si esto no es factible, entonces el producto deberá estar contenido en envases que no dejen pasar la luz. (Gerhardt, 1975; Heath, 1981; Minor, 1983)

### 2.1.3) INFLUENCIA DE LA IRRADIACION.

En lo que se refiere al material de envase, el coeficiente de absorción de la irradiación depende de la densidad del material, ya que a baja densidad y espesor mínimo se tiene una máxima penetración.

La importancia de su selección cuidadosa radica en evitar migraciones de sustancias químicas que puedan reaccionar con el alimento, reduciendo su calidad organoléptica o provocando toxicidad; así como asegurar su estabilidad física.

El envase debe estar sellado no solamente para prevenir contaminaciones de producto, también para restringir la entrada de oxígeno reduciendo la oxidación lo cual es un proceso muy rápido dentro de la etapa de radiación ionizante. (Stépek, 1987; Chuaqui-Offermans, 1989)

### 2.1.4) INFLUENCIA DE LOS ESFUERZOS MECANICOS.

Los esfuerzos mecánicos se presentan durante el transporte y almacenamiento, sobre todo al existir un gradiente de presión importante entre la parte interna y externa del envase.

Durante el transporte se debe poner especial cuidado en la

estabilidad y distribución de fuerzas alrededor del producto empacado. Asimismo, en el almacenamiento se ve expuesto a impactos y vibraciones, por lo cual se debe colocar de manera adecuada ya que debe resistir estas fuerzas externas, y absorber la suficiente energía cinética de impacto.

Para el acomodo del producto empacado se recomienda una colocación rígida la cual consiste en la formación de una unidad sólida del envase y el producto, en éste caso, no ve afectada su estructura con cualquier movimiento o impacto.

En general, se recomiendan los plásticos debido a que soportan impactos y vibraciones con mayor eficiencia que los demás materiales (Stépek, 1987; Griffin et al., 1985).

Existen normas especializadas para evaluar la resistencia de los materiales a esfuerzos mecánicos, establecidas en diferentes códigos internacionales como: ASTM D 523, ASTM D 1003, ASTM D 1894, ASTM E 96, ASTM D 828, ASTM D 644, ASTM D 646, ASTM D 645, ASTM D 726, ASTM D 722, ASTM D 2045, ASTM D 687, ASTM D 744, ASTM D 643, ASTM D 985, TAPPI 404, TAPPI 457, TAPPI 451, TAPPI 489, TAPPI 402, TAPPI 455, TAPPI 409, TAPPI T 402, TAPPI 410, TAPPI 411, TAPPI 460, TAPPI 424, TAPPI 441, TAPPI 414, TAPPI 403, TAPPI 423, TAPPI 511, TAPPI 452, TAPPI 425, TAPPI 479 (Griffin et al., 1985).

#### 2.1.5) INFLUENCIA DE LOS AGENTES BIOLÓGICOS.

Los factores biológicos más importantes que pueden causar daños en el Chile envasado incluyen microorganismos, insectos y roedores.

En cuanto a la protección contra microorganismos, como ya se estableció anteriormente el envase juega un papel muy importante formando una barrera de separación con la atmósfera, aunque también puede contener sustancias o microatmósferas internas con efectos microbicidas o microbiostáticos, contribuyendo a la eliminación de la microflora superficial. Un proceso no higiénico, el manejo descuidado y aplicado sin la debida seguridad, pueden ser una fuente de

contaminación determinante.

La protección contra insectos se refiere principalmente a su ataque en el período de almacenamiento a temperatura ambiente, sobre todo si este es muy largo, por ejemplo en la exportación del chile.

Los insectos prefieren productos sueltos y desprotegidos, pero los envasados no son invulnerables, ya que son atacados por las especies más peligrosas, como la termita o la lepisma.

Su ataque depende de factores fisiológicos y morfológicos, el grado de resistencia del material se encuentra en función de una gran cantidad de condiciones externas e intrínsecas. La facilidad de la penetración está condicionada por la calidad del material, su espesor y las propiedades de superficie. Es obvio, que el envase no debe tener pequeños orificios a través de los cuales el insecto pueda tener acceso directo.

En situaciones más rigurosas, se puede impregnar la superficie con insecticida, siempre y cuando no represente un peligro para el producto.

Los roedores causan alteraciones al ingerir el producto, dañar los envases y en ocasiones actuar como acarreadores de infecciones. Aunque prefieren los alimentos a granel, los factores fisiológicos y la construcción del envase determinan la facilidad del ataque; los más importantes son su fuerza mecánica y su permeabilidad a olores. Un tipo de protección efectiva es la impregnación de agentes químicos con repelentes o tóxicos, aunque es más recomendable el uso de medidas de prevención (Stépek, 1987)

## 2.2) SELECCION DEL MATERIAL DE ENVASE

La selección de un sistema de empaque para un alimento determinado es una operación compleja, debido a que involucra propiedades del producto mismo, material de envase, compatibilidad alimento/empaque, el proceso y costos finales. Por lo que para ello

es recomendable seguir las siguientes etapas (Desrosier y Desrosier, 1977; Avila, 1990):

1) Análisis de requisitos en el material: Es importante señalar exactamente las condiciones de operación a las que es expuesto el Chile. En este caso, el material se somete a irradiación con rayos  $\gamma$  de 10 kGy, y debe conservar sus características físicas y químicas sin interactuar con el alimento. Además debe mantener un medio interno libre de oxígeno y vapor de agua.

2) Análisis del modo de protección del producto alimenticio: De los principales tipos de materiales se debe elegir el que cumpla más adecuadamente con los requisitos anteriormente planteados, estableciendo además todas las condiciones del proceso a las que será sometido (Temperatura, Humedad Relativa, Presión).

3) Selección de materiales: Se realiza en función de los costos, la facilidad de formado, la variación de sus principales propiedades en diferentes condiciones, y la disponibilidad.

Las variables que afectan al sistema de empaque en el intercambio de gas dentro y fuera son principalmente:

- Estructura del material de envase.
- Espesor.
- Área.
- Temperatura.
- Concentración de gases.

4) Desarrollo de datos del diseño: Se establecen las condiciones de fabricación del envase, su costo real y su optimización. Esta última etapa requiere datos actuales de demanda, oferta y costo de energía, todo lo cual se somete a un análisis de costos y optimización que no forman parte de los objetivos de este proyecto, pero se recomiendan para estudios posteriores.

En función a las características mencionadas anteriormente, para este producto en polvo, se propone el uso de los materiales plásticos

sobre materiales tales como el vidrio, la cerámica y los metales. Debido a que los dos primeros son demasiado frágiles en su manipulación, y los últimos ocupan demasiado espacio, reduciendo considerablemente el peso neto del producto para su comercialización y transporte.

Los materiales plásticos también poseen ventajas sobre materiales tales como el papel, cartón y madera, ya que no absorben la humedad tan fácilmente, ni presentan el grado de riesgo por descomposición del material mismo. Asimismo, las películas de plástico, laminados metálicos y de capas múltiples con papel, se prestan con facilidad a operaciones de formación, llenado y sellado a altas velocidades (Potter, 1978; Stépek, 1987; Hotchkiss, 1988; Kaduya, 1990).

La selección del material se determinó primero en función de su costo total, comparándolo con todos los materiales disponibles para cada condición requerida. Los factores tales como la relación precio/peso del polímero, y demás propiedades intrínsecas específicas se consideraron posteriormente.

Simultáneamente, no se debe pasar por alto la capacidad unitaria requerida de producto terminado, ya que determina la forma y tamaño del envase, esta capacidad se fija en función a las necesidades de las industrias elaboradoras de alimentos. En el caso del Chile en polvo recomendamos para su exportación utilizar capacidades de más de 25 lb (12 kg), y para ello los sacos representan el tipo de manipulación más adecuada del producto debido a su resistencia mecánica, proporcionando además facilidad en su transporte (Packaging, 1986). En este tipo de envase se puede manejar una capacidad de hasta 110 lb (50 kg).

Los materiales más utilizados para la formación de estos sacos incluyen papel kraft, y papel kraft extensible, laminados con polímeros tales como polietileno, polipropileno, Polivinil cloruro (PVDC), aluminio y políesteres metalizados. (Ashton, 1989; Griffin et.al., 1985; Avila, 1990)

Con algunos de estos materiales, se propone una laminación, la cual consiste en la adhesión de dos o más materiales para la obtención de las características requeridas de cada uno, y la disminución de cualquier defecto o deficiencia indeseables. Es importante controlar la manera en que se lleva a cabo esta laminación, ya que los agentes laminantes como los adhesivos y la temperatura, influyen determinadamente en el valor de la permeabilidad. (Stépek et.al., 1987).

Por otro lado, el método seleccionado para la esterilización del chile en polvo, repercute directamente sobre la naturaleza del material de envase a seleccionar, por ello en el cuadro 2.3 se muestran los materiales de envase aprobados por la FDA para su utilización en alimentos irradiados. De estos materiales, recomendamos el uso de los siguientes en función a su facilidad de manejo, permeabilidades, resistencia y costos mínimos.

#### 2.2.1) PAPEL

En el empleo del papel como envase primario, regularmente se recubre o lamina con materiales como lacas, ceras, plásticos y laminados de aluminio, con lo cual disminuye considerablemente su permeabilidad a vapor de agua, gases y grasa, mejorando paralelamente su flexibilidad, resistencia mecánica, facilidad a la impresión y sellado.

En lo referente a los materiales más adecuados para obstaculizar el paso de la luz solar a un menor precio de adquisición, se consideran al vidrio ámbar y el cartón, pero debido a la gran fragilidad del vidrio, se seleccionó el uso de papel Kraft acompañado con el plástico en un multilaminado funcional.

MATERIAL DEL ENVASE	DOSIS MAXIMA (kGy)
Papel Kraft	5
Papel glassine	10
Cartón revestido con cera	10
Nitrocelulosa cubierta de celofán	10
Vinilidene cloruro copolímero (Saran) cubierto de celofán	10
Papel pergamino vegetal	60
Película de vinilidene cloruro-vinil cloruro copolímero (Saran)	--
Película de vinil cloruro-vinil acetato copolímero	60
Películas de caucho hidrociorado	10
Etilen-alqueno-1 copolímero	10
Películas de polietileno	60
Películas de nylon 6	60
Películas de poliestireno	10
Películas de polietilen tereftalato	60

CUADRO 2.3 MATERIAL DE ENVASE APROBADO POR LA FDA PARA USO EN IRRADIACION EN ALIMENTOS. Fuente: *Code of Federal Regulations 21, parts 170 to 199 (1987)*. (Chuaqui-Offermans, 1989)

El papel Kraft se obtiene a través de mezclas de sulfato y pulpa con sulfito, lo cual permite optimizar la fuerza y facilidad de impresión; este es el tipo de papel que conforma la laminación propuesta: papel Kraft y polietileno, en este caso el polietileno se aplica para cubrir el material de envase en productos secos en polvo. Es importante señalar que existen grados específicos de laminación del papel con relación a su uso final. (Griffin, et. al., 1985; Ashton, 1989; Chuaqui-Offermans, 1989; Paine y Paine, 1992)

#### 2.2.2) POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD

La mayor parte de los materiales que sellan con calor usados en

envases flexibles pertenecen al tipo de polietileno de baja densidad y los copolímeros de polietileno, los cuales pueden incorporarse fácilmente en estructuras multilaminadas. Por otro lado, el polietileno de alta densidad ofrece una mayor resistencia mecánica para su uso en sacos de altas capacidades, así como una mayor resistencia a la penetración, facilitando su manejo.

El polietileno es un material con una maleabilidad importante para su laminación con otros como el papel, aunado a ello se encuentra su resistencia a radiaciones y su sellabilidad, por lo que se considera el más adecuado y es el seleccionado para su uso con el chile en polvo.

Por otro lado Fanelli, A.J., et.al. (1985), comprobaron que este material ofrece una barrera aceptable a ondas ultravioleta y visibles para la conservación de vitamina A y riboflavina en leche en polvo; y por su parte Sadler, G.D. y Braddock, J. (1991) probaron que la absorción de volátiles que son comunes en alimentos hacia este polímero depende solamente de su solubilidad en el mismo, aunque esta absorción es considerada no significativa. Así por ejemplo, la combinación de PEAD y PEBD, se ha utilizado como control de aromas para productos con alto contenido en compuestos volátiles como ajos. (Rice, 1987; Holmgren, 1988; Larson, 1990)

Además debido a que uno de los mayores problemas en productos empacados es la adquisición de los materiales de envase con la mayor disponibilidad posible que cubra las necesidades del proceso, es necesario que exista una gran oferta del material en el país. Los materiales que representan mayores ventajas, a un costo menor de adquisición, es el polietileno y el papel, los cuales cuentan con la suficiente disponibilidad en el mercado nacional, y existe una gran diversidad en maquinaria para su manejo (Ashton, 1989).

Aunque el polietileno no posee las características de barrera óptimas contra vapor de agua, en construcciones de capas multilaminadas con papel proporciona las barreras adecuadas contra oxígeno, vapor de agua y luz requeridas para el incremento de la

vida de anaquel del chile en polvo. Por lo que recomendamos un multilaminado papel/PEBD/PEAD, que además posee una gran estabilidad al contacto con radiaciones gamma, y resistencia al empaçado a vacío.

Asimismo, es necesario resaltar la importancia de las condiciones de unión y puntos de cierre. Un envase hermético no permite el paso de gases y vapores; y mientras se encuentre intacto es impenetrable para las bacterias, mohos, levaduras y contaminación de otro tipo. Regularmente se sella con calor para materiales como polietileno. La fuerza de este sellado es solo parte del problema, ya que la gran mayoría de las ocasiones donde se presentan fugas o contaminaciones, es debido a las imperfecciones como resultado del método mal aplicado.

Su comercialización a nivel nacional se llevará a cabo a través de camiones donde los sacos serán acomodados de forma entrecruzada. Para su exportación se utilizarán estibas para su transportación marítima y terrestre.

### CAPITULO III

### DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 3.1) METODOLOGIA EXPERIMENTAL

El objetivo principal del presente estudio, es la modelación matemática del tiempo requerido para alcanzar el valor crítico de cualquiera de los principales factores de calidad (textura, color, contenido de humedad), del chile en polvo envasado en una atmósfera bacteriostática. Dicho período representa la vida útil del alimento desde su envasado y esterilización, hasta el momento en que pierda su calidad sensorial y ya no sea considerado adecuado para su consumo.

Para determinar este tiempo para cualquier condición de temperatura y humedad relativa de almacenamiento, es necesario establecer cuál es el factor de calidad determinante y evaluar su cambio en función del agua absorbida por el polvo en condiciones aceleradas; mediante el análisis del fenómeno de difusión del vapor de agua a través del material de envase se puede elaborar un modelo con el que se prediga el tiempo de vida de anaquel.

Con el propósito de cubrir el objetivo general planteado se propone la realización de los siguientes experimentos:

I) Evaluación de las propiedades iniciales del chile en polvo: humedad, color, y textura.

II) Elaboración de las isotermas de sorción de humedad del polvo.

III) Evaluación del cambio en sus características sensoriales en condiciones aceleradas, a través del tiempo, para la determinación del factor crítico que incida con mayor importancia sobre la vida de anaquel del producto.

El desarrollo de la metodología se divide en tres etapas.

Primera Etapa.- Se construyeron cámaras de humedad relativa constante, donde se introdujeron las muestras de 5 g de chile en cajas de Petri, las cuales se pesaron en balanza analítica con una

precisión de 0.050 g, hasta alcanzar su humedad relativa de equilibrio para cada condición de temperatura y humedad relativa.

Las temperaturas seleccionadas fueron de 10, 30, y 45 °C; se escogieron con base en que representan la temperatura adecuada de almacenamiento (10 °C), la temperatura de un almacén techado, con mínima aereación y sin control de humedad relativa, en climas secos (45°C); y una temperatura intermedia capaz de controlarse en laboratorio (30°C).

Para obtener las humedades relativas seleccionadas, se eligieron 6 tipos de sales que proporcionan humedades diferentes entre el rango de 0-100 %; sin embargo, no se pudo conseguir una humedad menor a 30% debido a la falta de disponibilidad del reactivo necesario.

Segunda Etapa.- En la realización de esta etapa, es indispensable establecer cuales son las principales características del polvo que pueden verse afectadas por la luz, oxígeno, temperatura y humedad; como la carga microblana, textura, sabor, color, y aroma.

En este caso el producto se envasó al vacío, con una película opaca, por lo que no existe el riesgo de verse afectado por la luz y el oxígeno. Asimismo, su carga microblana se controla a través de su esterilización con radiaciones y con dosis de 10 kGy.

Por lo que los únicos factores externos que afectan su calidad son la temperatura y la humedad relativa, cuya influencia se refleja directamente en sus características de textura, sabor, color, aroma y Aw.

En lo que se refiere a las características sensoriales del polvo, la mejor forma de evaluarlas es a través de jueces debidamente entrenados y calificados, de lo contrario, los resultados son poco creíbles e inútiles.

En nuestro caso, no se contó con un panel confiable por lo que se decidió utilizar pruebas analíticas para la evaluación sensorial.

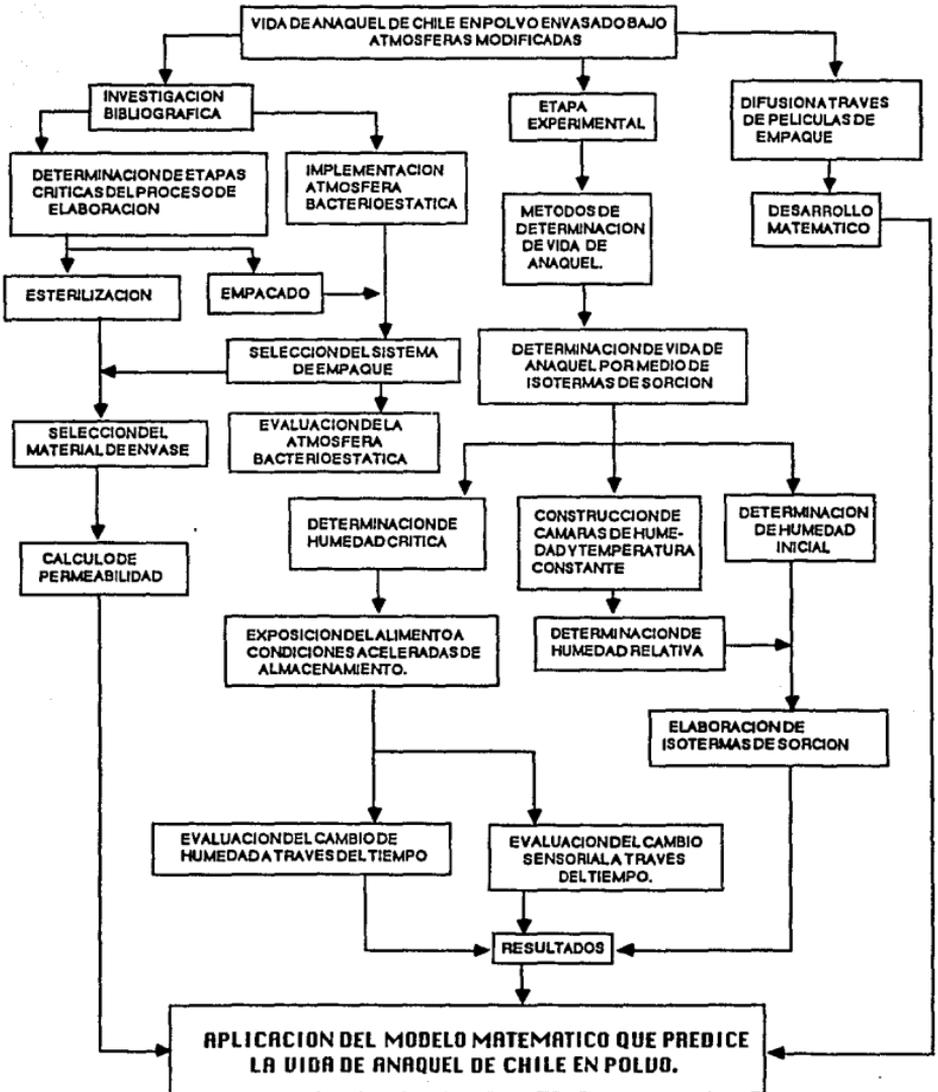
En lo que se refiere a su textura y color, fueron evaluados por un método empírico de porosidad y por espectrofotometría, respectivamente. El sabor y el aroma se pueden evaluar a través de cromatografía de líquidos, cuyo estudio debe ser muy profundo y extenso, lo cual no es el objetivo del presente estudio por lo que no se realizó, sin embargo, se recomienda este análisis detallado en trabajos posteriores.

Tercera etapa.- Se desarrolló un modelo matemático que toma en cuenta la difusión de vapor de agua a través de un envase y la ecuación característica de la isoterma de sorción. Con base en la integración de estas relaciones, cuyos límite inferior es el contenido inicial de humedad en base seca del polvo, y el límite superior es el contenido de humedad crítico; se puede predecir el tiempo en el cual el polvo se considera adecuado para su consumo.

Por otro lado, se enviaron muestras de chile de árbol y guajillo a sanitizar al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), a dosis de 1 y 2 Mrad (10 y 20 kGy). Se les determinó en el laboratorio de control de calidad de la Empacadora La Potosina S.A. de C.V., coliformes totales a través de un recuento de colonias en medio sólido en placas de agar rojo violeta bilis incubada 24 hrs a 35°C. Hongos y levaduras en placas agar papa dextrosa acidificada incubadas 48 hrs a 35°C.

Asimismo, se evaluó atmósfera bacterioestática a través de una Cuenta Total para muestras envasadas con el multilaminado seleccionado, después de año y medio sin control de temperatura y humedad.

## CUADRO METODOLOGICO



### 3.2) MATERIALES Y METODOS

#### 3.2.1) MATERIA PRIMA

Para la realización del presente estudio se utilizaron dos variedades de chile en polvo: chile de Árbol y chile guajillo, los cuales fueron procesados en las instalaciones de la *Empacadora La Potosina S.A. de C.V.* hasta su empacado, con su posterior esterilización con radiaciones  $\gamma$  (10 kGy) en *Laboratorios Griffith*.

Estas muestras cubren los principales requerimientos de calidad especificados por la *Empacadora*, para su comercialización como especias finamente molidas:

CARACTERÍSTICA		% MÁXIMO PERMITIDO	
		GUAJILLO	ARBOL
Humedad		10	7
Sal		0	0
Malla	30	1	1
	80	60	50
	100	30 mínimo	40 mínimo

CUADRO 3.1 . PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL CHILE EN POLVO PARA SU COMERCIALIZACION.

En lo que se refiere a sus propiedades sensoriales se especifica que su olor y sabor deben ser característicos sin percepción alguna a rancio, y su color debe ser rojo.

Estas especificaciones las proporcionan las principales industrias de botanas a las que va dirigido como condimento principalmente. Asimismo, este producto tiene un contenido máximo de 1 % de antiapelmazante ( $\text{SiO}_2$ ) para facilitar su fluidez.

Durante la experimentación se almacenó en envases herméticos a una temperatura máxima de 20 °C, evitando el contacto con la luz, esto con el propósito de minimizar reacciones de deterioro que pudieran incidir directamente sobre los resultados de la

experimentación. Como prueba de su estabilidad durante el almacenamiento, se determinó el contenido de humedad inicial a muestras aleatorias de cada Chile, a lo largo de toda la etapa de experimentación.

### 3.2.2) DETERMINACION DEL CONTENIDO INICIAL DE HUMEDAD

Se pesaron 5 g de Chile en polvo (AOAC 930.04), colocándose en la estufa (105°C) el tiempo necesario para que la diferencia entre dos pesadas sucesivas con un intervalo de tiempo de una hora entre ellas, no exceda de 1 mg.

El contenido inicial de humedad (CIH), determinado en base seca, se calculó de la pérdida de peso de la muestra. Se realizaron tres réplicas para cada Chile, con 10 repeticiones.

### 3.2.3) CONSTRUCCION Y VALIDACION DEL APARATO DE SORCION

Para llevar a cabo la medición práctica de las isotermas de sorción se requirió de los siguientes materiales y equipo:

- 1) Cámara de sorción.
- 2) Cajas Petri (4.8 X 1.6 cm) para exposición de la muestra a las condiciones ambientales establecidas.
- 3) 6 soluciones de sales saturadas para regular la humedad relativa en las cámaras de sorción.
- 4) Balanza analítica marca Mettler H80 con precisión de 0.005 gramos.
- 5) Cabinas de temperatura constante; necesarias para el control de la temperatura en los contenedores de sorción.

**Cámara de sorción.** Es un contenedor de vidrio rectangular, en cuyo interior se encuentra una estructura de plástico, sobre la que se colocan cajas de Petri en las que el polvo se expone a la atmósfera húmeda del contenedor. En el fondo del contenedor se vierte la solución de sal saturada que mantiene la humedad relativa deseada.

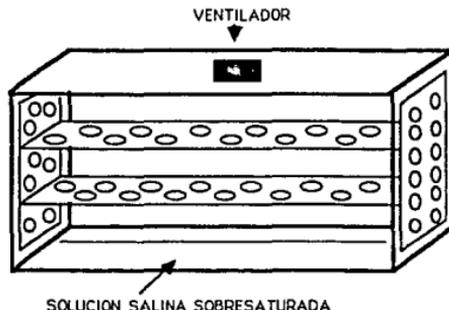


FIGURA 3.1 ESQUEMATIZACION DEL APARATO DE SORCION.

La estructura interior consta de dos pisos, en la que las paredes se encuentran perforadas para permitir el libre paso del aire; en la parte superior se colocan las tapas de las cajas Petri, y en la inferior, la base de éstas conteniendo a la muestra.

En la cubierta de vidrio del contenedor se adaptó un motor con ventilador, el que hace circular el aire en el interior con el propósito de homogenizar la humedad en el ambiente y reducir el tiempo en que se alcanza el equilibrio entre la humedad del alimento y la ambiental. El motor se acciona al introducir las muestras y después cada 12 horas, por un período de 5 min.

La validación del aparato de sorción se realizó al establecer el porcentaje de humedad relativa que proporciona la solución de sal saturada, a cada temperatura ensayada. Para ello se determinó experimentalmente las presiones de vapor de las soluciones saturadas, a través del Método Dinámico reportado por Wellingham, et al., en 1945 (Crockford, 1971), lo cual permitió calcular las humedades relativas al dividir estos valores por la presión de vapor del agua a la temperatura deseada.

$$\% HR = ( p / p_o ) 100 \quad (3.1)$$

donde: p= presión de vapor de la solución saturada; p<sub>o</sub>= presión de vapor del agua a la misma temperatura.

Se comprobó la homogeneidad de la temperatura y la humedad relativa en el interior de la cámara al colocar simultáneamente termómetros en diferentes puntos, encontrándose que no existe diferencia alguna entre los valores que registraban cada uno de estos dispositivos. Su hermeticidad se probó a través de una prueba de vacío en el interior de la misma.

Por otro lado, se aseguró que las cabinas de control de temperatura (refrigerador y estufa) mantuvieran la temperatura deseada constante dentro de la cámara de sorción, registrándose la temperatura mostrada a lo largo de todas las experimentaciones.

Asimismo, se estableció el perfil de distribución del aire dentro de la cámara de sorción cuando se ponía en funcionamiento el ventilador, al colocar polvo de gis de color en la parte superior de la estructura de plástico y observar cómo lo movía la corriente de aire generada al accionar el motor del ventilador. Este movimiento es centrífugo en forma de remolino con lo cual el aire circula por toda la cámara, como se muestra en la siguiente figura:

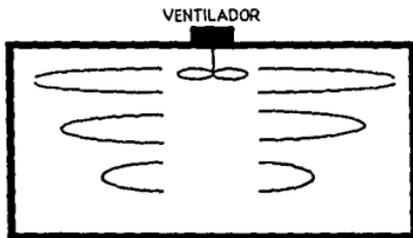


FIGURA 3.2. PERFIL DE MOVIMIENTO DE AIRE EN EL INTERIOR DE LA CÁMARA.

### 3.2.4) ELABORACION DE LA ISOTERMA DE SORCION DE HUMEDAD DEL CHILE EN POLVO

El Método utilizado fue el gravimétrico, con registro discontinuo de peso en un sistema estático (Duckworth, 1975; Labuza et al., 1976; Rockland y Stewart, 1981).

Se pesaron tres muestras en las cajas de petri 5 g de cada chile en polvo y se colocaron junto con los controles (recipientes de pesado solo tarados), en el aparato de sorción respectivo, el cual está constituido por cámaras a humedad relativa constante, selladas herméticamente por medio de un sello de goma y cubierta de vidrio; y una cabina a temperatura constante.

A intervalos determinados de tiempo (2 horas) se abre el aparato, se tapan los recipientes, se permite su equilibrio con temperatura ambiente (30 minutos), entonces se pesan. El procedimiento se repite hasta obtener un peso constante entre dos pesadas consecutivas; indicativo de que el equilibrio ha sido alcanzado.

Unidad experimental: Unidades de 5 g de chile en polvo colocados aparatos de sorción.

#### Variables

Independientes:

Humedad relativa (HR), temperatura (T), tipo de chile (Ch).

Dependientes:

Incremento de peso.

De respuesta:

Contenido de humedad de equilibrio, actividad de agua.

Nivel de variables		Intervalo
HR	6.	30, 43, 50, 60, 75, 90 %
T	3	10, 30, 45 °C
Ch	2	Chile guajillo y chile de árbol.

En cada experimento se varía la humedad relativa, manteniendo constante temperatura y tipo de chile.

Control de temperatura.

10 °C - Refrigerador comercial marca American.

30 °C - Estufa con control de temperatura ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ), marca Blue M.

45 °C - Estufa.

Control de humedad relativa a través de soluciones saturadas de sales.

90 %	BaCl <sub>2</sub>
75 %	NaCl
60 %	NaNO <sub>2</sub>
50 %	KNO <sub>3</sub>
43 %	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
30 %	MgCl

Referencia: Labuza et al., 1976; Spiess, Wolf, 1987; Technical Bulletin No. 5 Hydrodynamics, en Rockland y Beuchat, 1987.

Preparación de la soluciones:

Se recomienda el uso de sales grado analítico y agua destilada desionizada. La sal se adiciona a un contenedor apropiado y el agua se vierte en pequeños incrementos, seguido por agitación, hasta que se observa un líquido libre. El volumen de sales no disueltas (lechada) debe ser por lo menos el 10% del volumen total en el contenedor.

Debe permitirse el equilibrio de las lechadas a la temperatura de experimentación antes de usarlas, y deben almacenarse en la cabina a temperatura constante. Los contenedores de las lechadas deben estar sellados herméticamente.

El hecho de que algunas lechadas puedan solidificar gradualmente, por coalescencia de cristales, no tiene efecto sobre la humedad relativa.

### 3.2.5) DETERMINACION DEL FACTOR CRITICO QUE INCIDE SOBRE LA VIDA DE ANAQUEL

Para la determinación del factor crítico, se realizó la evaluación del cambio en las principales características del chile (color, textura, humedad) en condiciones aceleradas de almacenamiento (30 °C, 60 % humedad relativa).

Se pesaron aproximadamente 5 g de chile en cada caso, y se colocaron en el aparato de sorción en cajas de Petri. Se extrajo una muestra para su análisis cada dos horas durante un día (24 horas). Este análisis consistió en una evaluación del cambio de color del producto, a través de un espectrofotómetro, cambio de textura a través de la evaluación de su porosidad y grado de compactación.

Se realizó este experimento por triplicado, con un control para humedad.

#### DETERMINACION DEL COLOR.

##### METODO ESPECTROFOTOMETRICO. (AOAC 971.26)

Se pasó el chile a través de un tamiz número 18. Se colocó una muestra de 70 a 100 mg del chile en un matraz de 100 ml, diluyendo a volumen con acetona, y se tapó herméticamente. Se agitó el matraz y se dejó reposar 16 horas a temperatura ambiente en la obscuridad. Se agitó nuevamente y se permitió que las partículas se decantaran por dos minutos.

Se transfirió una porción del extracto a la celda del espectrofotómetro Spectronic 20 marca Bausch and Lomb, con una pipeta de 10 ml. Se determinó la absorbancia de la muestra a 460 nm usando acetona como blanco.

Para las muestras de chile en polvo no se determinó el valor del color ASTA debido a que para ello es necesario obtener el valor de absorbancia para un vidrio de referencia estándar especificado por

*National Institute of Standards and Technology (NIST)*, el cual es de difícil adquisición.

Sin embargo, los valores reportados directamente del aparato son indispensables para evaluar el grado de deterioro del color con cada incremento de humedad a través del tiempo de experimentación. Con lo que se pudo señalar la humedad crítica de cada tipo de chile, lo cual es el objetivo específico de esta etapa.

#### EVALUACION DE TEXTURA DETERMINACION DEL VOLUMEN COMPACTADO.

Para la evaluación de la textura de un polvo se usan diferentes técnicas empíricas, entre las más utilizadas se encuentran la evaluación de velocidad de flujo, porosidad del polvo y compresibilidad del polvo. (Parrot, 1970; Cooper, 1973; Lachman et al., 1986)

La velocidad de flujo es la más importante debido a que proporciona un parámetro de la facilidad de fluidez del polvo al pasar a través de una tolva de alimentación con vibración constante. Sin embargo, el polvo posee un tamaño de partícula muy reducido para el aparato con el que se cuenta en laboratorio, y la muestra no fluyó a través de la tolva.

Por lo tanto, se decidió evaluar la porosidad y compresibilidad del polvo por medio de una técnica totalmente empírica.

Para ello, se colocaron 3 g de la muestra en la probeta, registrándose el valor del volumen ocupado ( $V_b$ ). A una altura de 2 cm se dejó caer la probeta las veces que fueran necesarias hasta conseguir que el volumen fuera constante ( $V_c$ ).

Se registraron las lecturas del volumen alcanzado por el polvo cada 10 golpes y el número de golpes en los que se alcanzaron los volúmenes mínimos finales.

$$\text{Porosidad} = 1 - \frac{V_b}{V_c} \times 100 \quad (3.2)$$

$$\text{Compresibilidad} = \frac{V_b - V_c}{V_b} \times 100 \quad (3.3)$$

### 3.2.6) EVALUACION DE LA ATMOSFERA BACTERIOESTATICA.

Para la evaluación de la atmósfera bacteriostática, se almacenaron muestras de chile en polvo envasadas en el material de envase seleccionado, por año y medio sin control de temperatura y humedad. Se realizó una Cuenta Total de microorganismos en el laboratorio de control de calidad de la Empacadora La Potosina S.A. de C.V., a través de un medio sólido a 35°C.

CAPITULO IV  
RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1) CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL

Como ya se expuso en el desarrollo metodológico, se llevaron a cabo una serie de determinaciones a través de toda la etapa experimental para asegurar que el producto en almacenamiento no estaba captando humedad, lo que pudiera afectar de manera importante los resultados obtenidos.

Los resultados se muestran en el cuadro 4.1, donde el contenido de humedad inicial se expresa en porcentaje (g H<sub>2</sub>O/ 100 g polvo en base seca). Como método de análisis de datos se realizó un análisis de varianza con un intervalo de confianza de 0.95, comparando la  $F_{exp} > F_{tablas}$  se concluye que el efecto del tiempo de experimentación sobre el contenido de humedad inicial, no es significativo. Sin embargo, existe una diferencia significativa en el contenido de humedad inicial para cada tipo de chile.

	$\bar{x}$	$\sigma$	F
Chile de árbol	5.04 %	0.7887	2.2082
Chile guajillo	5.79 %	1.2212	1.9721

CUADRO 4.1. RESULTADOS DE HUMEDAD INICIAL ( $\bar{x}$ = promedio,  $\sigma$ = desviación estandar y F= valor de F experimental) DE CHILE EN POLVO

Estos valores fueron usados como referencia en las evaluaciones posteriores, para la construcción de isotermas y para la determinación de humedad crítica. La precisión a la que se llevó a cabo esta evaluación es de  $\pm 0.005$  g H<sub>2</sub>O g s.s.

#### 4.2) VALIDACION DEL APARATO DE SORCION.

En la validación del aparato de presión de vapor se obtuvo un error del dispositivo de 12% con respecto a los datos proporcionados por las tablas de vapor.

Sin embargo, se consideró que posee una repetibilidad y reproducibilidad muy aceptables, debido a que el valor obtenido de

presión de vapor varía en menos de 5% entre cada operador y entre cada repetición. Por lo que si se evalúa la presión de vapor de agua y de las soluciones experimentalmente, la relación entre ellas proporciona un resultado de humedad relativa aceptable.

En lo que se refiere a su exactitud, no se pudo evaluar debido a que no se tiene otro dispositivo capaz de proporcionar valores más exactos de presión de vapor.

Con lo anterior, se demostró que la cámara de sorción se considera un aparato aceptable para la experimentación, siempre y cuando se asegure la perfecta hermeticidad, de tal manera que no exista intercambio atmosférico entre el interior y el exterior.

Los resultados de la validación se muestran a través de una gráfica representativa en la figura 4.1. En esta gráfica se puede observar que el agua posee la menor temperatura de ebullición a una misma presión de vapor en comparación con las soluciones salinas. En lo referente a éstas, la de mayor punto de ebullición fué el cloruro de magnesio, con el cual se puede obtener la mínima humedad relativa.

Las humedades relativas establecidas por cada una de las soluciones ensayadas, son las siguientes:

SOLUCION	% HUMEDAD RELATIVA		
	10°C	30°C	45°C
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	29.0	29.0	29.5
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	48.5	47.6	47.0
NaCl	77.8	71.5	67.5
NaNO <sub>2</sub>	66.5	60.2	52.0
BaCl·2H <sub>2</sub> O	92.0	92.0	92.0
KNO <sub>3</sub>	99.0	99.0	99.0

CUADRO 4.2. HUMEDADES RELATIVAS PROPORCIONADAS POR SOLUCIONES DE SALES SATURADAS A 10°C, 30°C Y 45°C.

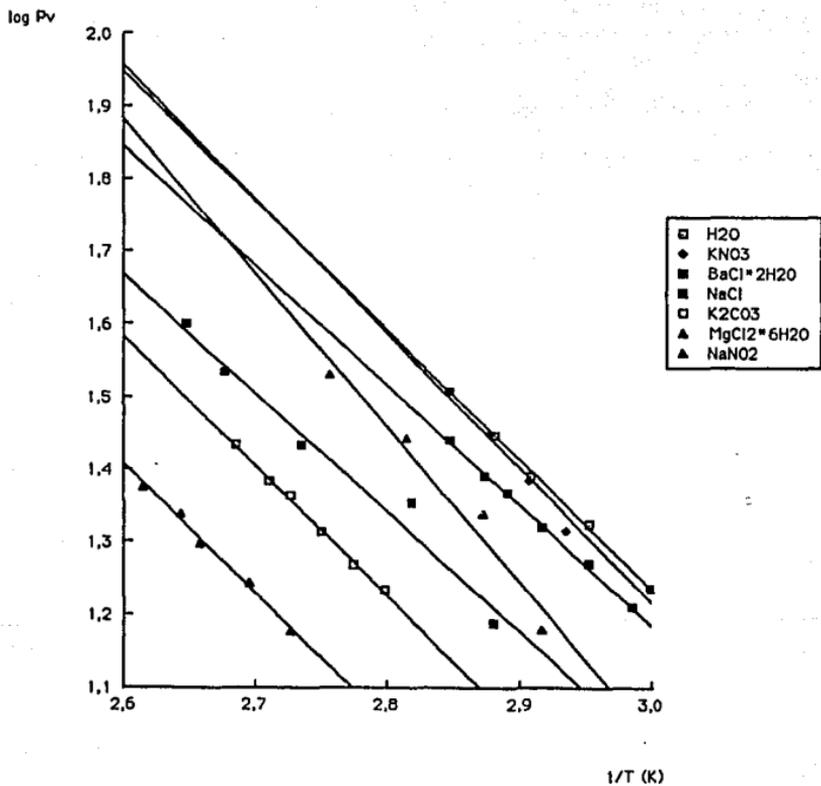


FIGURA 4.1. CURVAS DE PRESION DE VAPOR PARA SOLUCIONES DE SALES SATURADAS

Los valores obtenidos son muy parecidos a los reportados en la bibliografía, lo cual concuerda con lo esperado. La diferencia entre el experimento y los valores reportados por otros autores se debe principalmente a que los reactivos utilizados en este trabajo no son grado analítico debido a su alto costo de adquisición.

Sin embargo, las soluciones salinas utilizadas proporcionan un intervalo de humedad relativa útil para la construcción de las isotermas de sorción.

#### 4.3) CONSTRUCCION DE ISOTERMAS DE SORCION

En los cuadros 4.3, 4.4 y 4.5 se presentan los datos obtenidos para la construcción de las isotermas de sorción (Contenido de Humedad en Equilibrio (CHE) vs % Humedad Relativa (% HR)), donde el promedio de contenido de humedad se encuentra como una función de la humedad relativa para cada temperatura.

Se llevó a cabo un análisis de varianza y un análisis multifactorial para analizar el efecto de la temperatura, humedad relativa y variedad de chile sobre el cambio en humedad de equilibrio en cada condición experimental.

Los resultados de estos análisis indican que es posible hacer un promedio de las 6 repeticiones realizadas (3 para cada chile) debido a que no hay diferencia significativa en las variedades del chile utilizadas.

Asimismo, los únicos dos factores que influyen sobre la sorción de humedad son la temperatura y la humedad relativa, presentándose además una interacción importante entre ellas.

HUMEDAD RELATIVA (%)	Contenido de Humedad en equilibrio (g H <sub>2</sub> O/g s. s.)
29	6.233
48.5	8.103
66.5	12.883
77.8	14.261
92.0	21.600
99.0	25.053

CUADRO 4.3. CONTENIDO DE HUMEDAD EN EQUILIBRIO A 10 °C.

HUMEDAD RELATIVA (%)	Contenido de Humedad en equilibrio (g H <sub>2</sub> O/g s. s.)
29	6.586
47.6	8.472
60.2	13.436
71.5	18.624
92.0	34.364
99.0	32.539

CUADRO 4.4. CONTENIDO DE HUMEDAD EN EQUILIBRIO A 30 °C

HUMEDAD RELATIVA (%)	Contenido de Humedad en equilibrio (g H <sub>2</sub> O/g s. s.)
29.5	6.930
47	9.292
52	13.152
67.5	25.278
92.0	43.362
99.0	43.365

CUADRO 4.5. CONTENIDO DE HUMEDAD EN EQUILIBRIO A 45 °C.

La curva sigmoide (figura 4.2) puede dividirse en tres diferentes regiones. La distinción entre éstas no es estricta, pero proporciona una indicación acerca de la naturaleza del agua presente en una zona en particular.

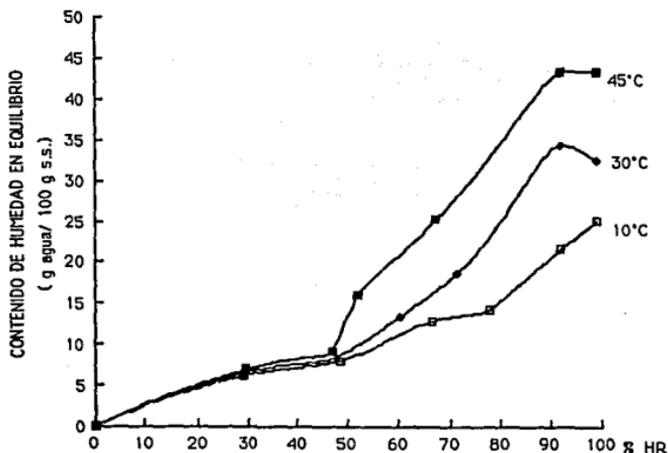


FIGURA 4.2. ISOTERMA DE SORCION DE CHILE DE ARBOL Y CHILE GUAJILLO.

Como se puede observar a través de las gráficas presentadas, en la zona I ( 0-30 % HR ) se encuentra el agua fuertemente ligada, esta agua posee una entalpía de vaporización mucho mayor que la del agua pura y en varios aspectos se comporta esencialmente como parte del sólido. Estas primeras moléculas de agua forman enlaces de hidrógeno con los grupos polares activos de las macromoléculas.

La recolección de agua en esta zona de baja Aw se lleva a cabo a través de los materiales macromoleculares hidrofílicos, tales como

proteínas y carbohidratos. A estas bajas Aw, el agua no promueve los procesos de solución de sólidos orgánicos; de modo que en este intervalo el polvo actúa como adsorbente físico rígido que sorbe agua en sitios de sorción activos (adsorción localizada).

Es en este intervalo de Aw donde está localizada la llamada capa monomolecular BET que se desarrolla cuando una fracción de agua interacciona directamente con la superficie polar del alimento, cubriéndola con una capa de moléculas de agua alrededor.

La zona II abarca desde 31 a 50 % de HR y representa una fracción de agua menos firmemente ligada que la primera. La entalpía de vaporización es poco mayor que la del agua pura. Estas moléculas de agua sorben cerca o en la superficie de las primeras moléculas, o penetran formando diferentes capas de agua distribuidas en capilares y en estructuras moleculares más organizadas. Existe la posibilidad que se lleven a cabo algunos procesos de solución y reacciones químicas a partir de esta cantidad de agua, dependiendo de la naturaleza de las macromoléculas presentes, aunque no es propicio para el crecimiento microbiano (Badui, 1987).

En la zona III que comprende desde 51 a 100 % HR, se encuentra el agua 'libre' contenida en macrocapilares y forma parte de las soluciones que disuelven las sales, los azúcares y las sustancias de bajo peso molecular. Esta agua adsorbida está levemente incorporada en el sistema de alguna forma análoga, pero distinta al agua líquida.

Es la primera en eliminarse durante la deshidratación, tiene un Aw prácticamente como el del agua pura y está disponible para diferentes reacciones que pueden deteriorar el chile, y para el crecimiento de microorganismos. La recolección elevada de agua a estos elevados Aw indica disolución de los principales componentes del sistema.

En lo que respecta al comportamiento en función de la temperatura, su dependencia es evidente en las zonas II y III.

La independencia de la temperatura del fenómeno de sorción en la zona I es debido a que las moléculas de agua absorbidas se encuentran en interacción directa con el antiapelmazante ( $\text{SiO}_2$ ), y éste exhibe un comportamiento similar bajo cualquiera de las tres temperaturas ensayadas. El dióxido de silicio absorbe agua hasta aproximadamente un 30% de humedad relativa, después de lo cual el agua empieza a interaccionar con el chile, lo cual se ve reflejado en el hecho de que en esta zona no existe un cambio aparente en el contenido de humedad del polvo, con respecto a la temperatura.

En las zonas II y III se puede observar que conforme aumenta la temperatura, el Aw aumenta. Esto es debido a la forma en que interactúa el agua adsorbida con el alimento. Generalmente, al aumentar la temperatura el Aw disminuye, y en el caso del chile en polvo éste fenómeno se presentó de manera inversa, o sea, a mayor temperatura mayor Aw.

Esto es debido a que se encuentran macromoléculas que presentan efectos de solución, por lo que el agua absorbida a nivel macromolecular se comporta de manera similar al agua libre, y al aumentar la temperatura aumenta la solubilidad de los componentes. De modo que aumentan tanto la presión de vapor del agua pura como la de la que esta absorbida superficialmente por el alimento.

Para desarrollar el modelo de predicción de vida de anaquel es necesario expresar los datos de la isoterma experimental por medio de una ecuación matemática; la incorporación de estas ecuaciones dentro del modelo se utiliza para predecir el tiempo de vida de anaquel en función al cambio en el contenido de humedad del chile envasado.

Para ello, se probaron los modelos: exponencial, logarítmico, lineal y polinomial, para observar cuál de todos correspondía con mayor exactitud a los valores experimentales. En este caso el comportamiento de sorción puede ser expresado a través de expresiones polinomiales:

Temperatura 10 °C.

$$y = -45.4257 + 16.7743x - 0.8338x^2 + 0.0199x^3 - 1.645 \cdot 10^{-4} x^4 \quad (4.1)$$

Temperatura 30 °C.

$$y = -48.6563 + 20.2037x - 1.5015x^2 + 0.0541x^3 - 6.989 \cdot 10^{-4} x^4 \quad (4.2)$$

Temperatura 45°C

$$y = -61.1041 + 23.1563x - 1.7416x^2 + 0.0558x^3 - 5.996 \cdot 10^{-4} x^4 \quad (4.3)$$

Donde  $x$  es el contenido de humedad en equilibrio en g H<sub>2</sub>O/g s.s.,  $y$  es % de humedad relativa en equilibrio; el valor de la correlación para todas las ecuaciones fue de 1.0. Se compararon los resultados experimentales con las ecuaciones matemáticas, de donde se evaluó su precisión, siendo de  $\pm 1$  % para las tres expresiones. Estas ecuaciones fueron obtenidas a través de un programa en computadora denominado CRICKET de Macintosh.

Sin embargo, al introducir estas funciones en la ecuación de vida de anaquel para su integración, la diferencia entre la humedad inicial y la humedad crítica no es significativa, lo cual no concuerda con la realidad ni cumple con el objetivo de evaluar el tiempo en el que el producto no es aceptable. Por lo que se probaron otros modelos de isothermas de sorción reportados en la bibliografía, de los que se encontró que el más cercano el propuesto por Caurie, M. en 1970 para alimentos deshidratados.

$$\text{Ln} \left( \frac{100 - x''}{x''} \right) = k_1 - k_2 A_w \quad (4.4)$$

en donde  $x''$  se define como

$$x'' = \frac{x}{100 + x} \quad (4.5)$$

Donde  $x$  es el contenido de humedad en equilibrio,  $k_1$  y  $k_2$  son constantes de la gráfica, y  $A_w$  la actividad de agua. La precisión mostrada por estas expresiones para cada temperatura fué un máximo de 8% de diferencia con los datos experimentales.

La figura 4.3 muestra la comparación entre la isoterma experimental y los datos calculados con la expresión de Caurie para 10, 30 y 45 °C. En esta última existe una desviación de hasta 8% con respecto a la experimental, por lo que esta desviación se considera aceptable.

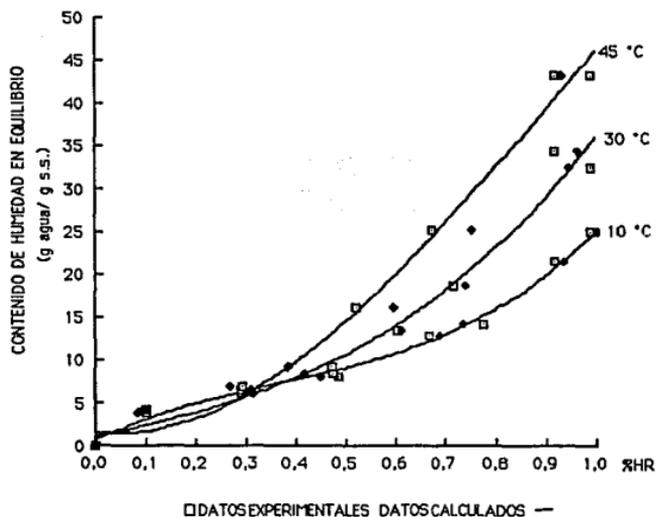


FIGURA 4.3. COMPARACION ENTRE LOS DATOS EXPERIMENTALES Y LOS CALCULADOS A TRAVES DE LA ECUACION DE CAURIE.

#### 4.4) DETERMINACION DE HUMEDAD CRITICA

Para la determinación del factor crítico se evaluó el cambio del color y textura en función del contenido de humedad, a través del tiempo, en condiciones aceleradas de almacenamiento (30 °C, 60 % humedad relativa).

En la experimentación del cambio de color se realizó un análisis

de varianza de donde se concluye que existe diferencia significativa entre las variedades y en el valor del color con el cambio de humedad. Los resultados del cambio de color con respecto al aumento en la humedad del polvo de chile a través del tiempo de experimentación, se encuentran graficados en las figuras 4.4 y 4.5.

La figura 4.4 se presenta el cambio en el chile de árbol, la flecha indica el punto en donde se considera que existió el cambio importante en el color. A partir de éste, la absorbancia comenzó a disminuir y por lo tanto, la degradación del color comenzó a aumentar. Sin embargo, a las 24 horas se presenta un punto elevado en la absorbancia; este dato se considera un error experimental debido posiblemente a una concentración de la muestra diluida.

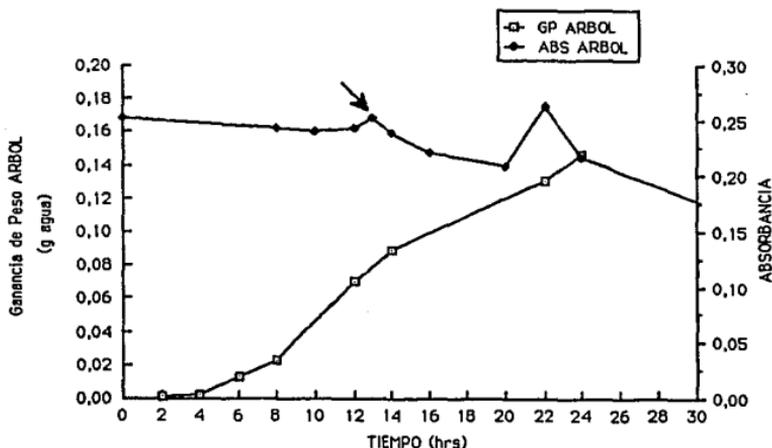


FIGURA 4.4. DETERMINACION DE HUMEDAD CRITICA POR PERDIDA DE COLOR (Chile de Árbol) (GP= Ganancia de peso, ABS= Absorbancia)

En lo que se refiere al chile guajillo, en la figura 4.5 se señala el punto en donde se considera que comienza la degradación del color. En este caso, en las primeras 4 horas se presenta el primer cambio importante en el valor de la absorbancia, esto indica que el pigmento es menos estable que en el caso del chile de árbol aunque se debe señalar que su absorbancia inicial es mayor que la de éste último.

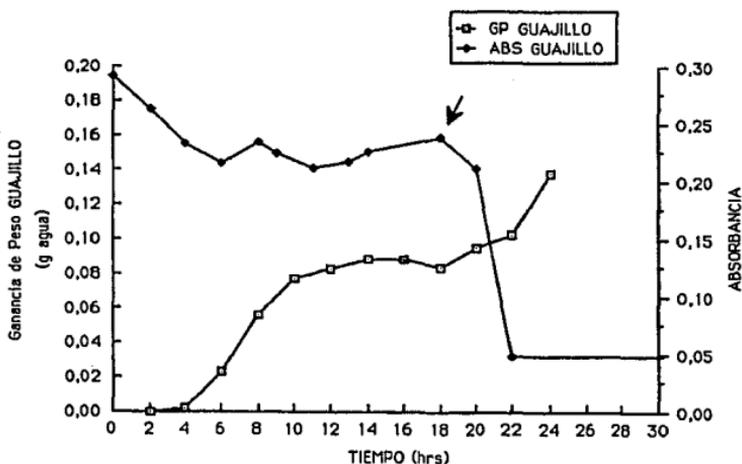


FIGURA 4.5. DETERMINACION DE HUMEDAD CRITICA POR PERDIDA DE COLOR (Chile Guajillo) (GP= Ganancia de peso, ABS= Absorbancia)

Sin embargo, desde las 4 horas hasta las 18 horas se obtuvo un valor de absorbanza más o menos estable hasta que comenzó a disminuir ostensiblemente. Es en este punto donde se consideró que la degradación del color comenzó a ser importante.

Los resultados de humedad crítica se muestran en el cuadro 4.6.

VARIEDAD	HUMEDAD CRITICA (g H <sub>2</sub> O/ 100 g s.s.)
Chile de Árbol	7.97
Chile guajillo	8.72

CUADRO 4.6. VALOR DE HUMEDAD CRITICA PARA CHILE DE ARBOL Y CHILE GUAJILLO.

En lo que respecta a la contrastación del cambio de textura en función del cambio de humedad al paso del tiempo para cada variedad, se calculó el valor de porosidad a través de la fórmula 3.2 en donde se toman en cuenta los valores de volumen compactado y volumen final. Los resultados se enlistan en el cuadro 4.7.

Como se puede observar en los datos mostrados, no existe tendencia alguna en el valor de porosidad a diferentes humedades, independientemente de la variedad. Lo anterior, se puede explicar debido a la influencia de la presencia del antiapelmazante (SiO<sub>2</sub>) presente en los polvos; lo cual evita que se pueda obtener un valor de porosidad o compresibilidad propios de cada chile al paso del tiempo.

Por lo anterior, el valor de humedad crítica dependerá solamente del cambio de color del chile en polvo, cuyos resultados se analizaron anteriormente.

TIEMPO (HRS)	POROSIDAD	
	ARBOL	GUAJILLO
0	0.4545	0.3859
2	0.3944	0.3778
4	0.4149	0.3333
6	0.4545	0.3571
8	0.3977	0.3750
10	0.4091	0.3708
12	0.4176	0.3789
14	0.4111	0.4105
16	0.3494	0.3171
18	0.3647	0.4105
20	0.4388	0.4231
22	0.4086	0.3494
24	0.3837	0.3563

CUADRO 4.7 POROSIDAD DEL CHILE DE ARBOL Y GUAJILLO EN CONDICIONES ACCELERADAS DE ALMACENAMIENTO (30°C, 60.2% HR)

#### 4.5) RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

A partir de estos datos se observa la diferencia importante entre las muestras iniciales y el conteo microbiológico después de la exposición con radiaciones  $\gamma$ . Como se puede observar con una dosis mayor, se obtienen cuentas negativas; sin embargo, con una dosis de 1 MRad los resultados se consideran aceptables para el consumidor.

Los resultados se muestran en el cuadro 4.8.

PRODUCTO	DOSIS	C. T. (col/g)	H y L (col/g)
Arbol	1 MRad	2 000	Negativo
Arbol	2 MRad	Negativo	Negativo
Guaquillo	1 MRad	20 000	Negativo
Guaquillo	2 MRad	Negativo	Negativo
Inicial			
Arbol	-	17,500,000	38 000
Inicial			
Guaquillo	-	14,500,000	28 000

CUADRO 4.8. CUENTAS MICROBIOLÓGICAS DEL CHILE EN POLVO ANTES Y DESPUÉS DE SU ESTERILIZACIÓN CON RAYOS  $\gamma$ .

Asimismo, se evaluó Cuenta Total para muestras envasadas con el multilaminado HDPE/LDPE/Papel Kraft, en forma de sacos con una capacidad de 22 kg; almacenadas después de año y medio sin control de temperatura y humedad, obteniéndose como resultado, un máximo de 120 000 col/g.

Lo anterior, confirma el uso de este tipo de envase, y del medio de sanitización como excelentes integrantes de un sistema de empaque bajo atmósfera bacteriostática.

## CAPITULO V

### MODELO DE PREDICCIÓN DE LA VIDA DE ANAQUEL

### 5.1) DEDUCCION DEL MODELO MATEMATICO

Para predecir el cambio de humedad en un producto empacado se requiere conocer la velocidad de transferencia de vapor de agua y las características de sorción de agua del producto.

La velocidad de transferencia de vapor de agua se obtiene a través de la primera ley de Fick (2.1), la ley de Henry (2.3), la definición de permeabilidad (2.5) y la definición de actividad de agua:

$$\frac{dQ}{dt} = P_M (A/L) p^* (a_0 - a_1) \quad (5.1)$$

donde Q = Cantidad de agua permeada a través del empaque (g).

$a_0$  = Actividad de agua externa en el ambiente.

$a_1$  = Actividad de agua interna en el empaque.

$P_M$  = Constante de permeabilidad del empaque. (g H<sub>2</sub>O m / día·atm·m<sup>2</sup>)

L = Espesor del empaque (m).

A = Area expuesta del empaque (m<sup>2</sup>)

t = Tiempo (días).

$p^*$  = Presión de vapor saturado de agua a la temperatura de prueba. (atm)

Debido a que el valor de permeabilidad para los materiales de empaque reportados en la bibliografía, están referidos a condiciones de espesor y área experimentales, es necesario multiplicar el valor de permeabilidad obtenido a través de tablas para el multilaminado, por la razón de área y espesor del mismo (A/L).

Asimismo, para evaluar experimentalmente la cantidad de agua permeada por el empaque a través del tiempo, se determina el cambio de peso de la muestra en relación con su peso total. Por lo cual se sustituye el cambio del contenido de humedad instantáneo (dm), como la variación de la cantidad de agua permeada (dQ) con respecto al peso en base seca del producto empacado (W).

$$\text{donde } dm = \frac{dQ}{W} \quad (5.2)$$

sustituyendo (5.2) en (5.1):

$$dt = \frac{W dm}{P_K (A/L) p (a_e - a_1)} \quad (5.3)$$

Resolviendo en función del tiempo, se tiene la ecuación 5.3 en los siguientes límites:

$m_0$  contenido de humedad inicial y,

$m_c$  es el contenido de humedad crítico a un tiempo  $t$ .

Puesto que la actividad de agua del polvo puede ser expresada como una función del contenido de humedad:

$$a_1 = f(m) \quad (5.4)$$

Conociendo la función que describe la isoterma de sorción (ecuación 4.4 y 4.5) y sustituyendo como función de  $m$ , el modelo de simulación del cambio de humedad se obtiene de la siguiente relación:

$$t = \frac{W L}{P_K A p} \cdot \int_{m_0}^{m_c} \frac{dm}{[a_e - f(m)]} \quad (5.5)$$

Para el desarrollo de dicho modelo, se integró la ecuación (5.5) en función de la isoterma de sorción, de donde se obtuvo:

$$t = \frac{W L}{P_K A p} \left[ \frac{(m_c - m_0) - 1}{a_e - k_1 + k_2 \ln \left( \frac{100^2 + 99(m_c - m_0)}{m_c - m_0} \right)} \right] \quad (5.6)$$

En esta ecuación se introdujeron los valores de permeabilidad de el envase seleccionado (HDPE, LDPE, Papel Kraft); estos fueron obtenidos mediante el uso de las ecuaciones de transferencia de masa (sección 2.1.1.1.) y tabla de permeabilidad (2.2) al vapor de agua a través de películas plásticas y la permeabilidad del papel reportada en Taoukis, et. al., 1988.

Como resultado de esta ecuación, se observó que el tiempo de vida para los dos productos no varía debido a que la diferencia entre humedad inicial y humedad crítica es la misma.

Los valores obtenidos de tiempo de vida de anaquel a partir de la ecuación 5.6, son graficados en función de la actividad de agua externa al empaque ( $A_w$ ) a cada temperatura estudiada, en la figura 5.1, para chile de árbol y chile guajillo.

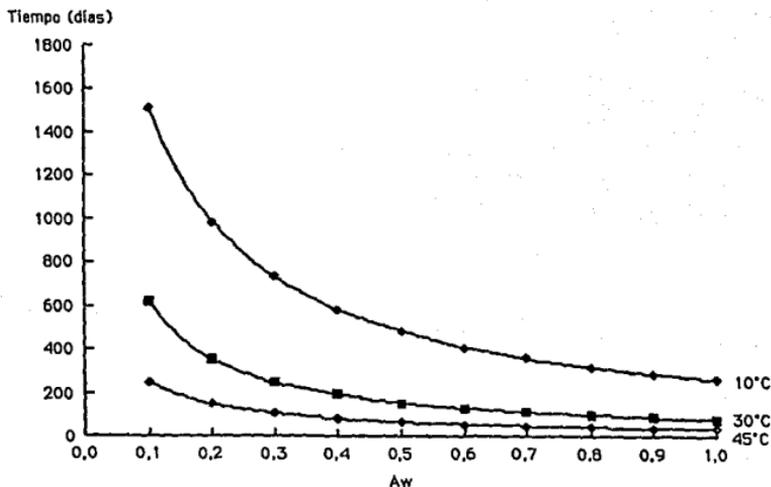


FIGURA 5.1. PREDICCIÓN DE VIDA DE ANAQUEL DEL CHILE DE ARBOL Y CHILE GUAJILLO.

Como era de esperarse, a medida que el  $A_w$  externo es mayor, la vida de anaquel disminuye considerablemente, ya que se alcanza rápidamente la humedad crítica. Asimismo, en lo que se refiere al efecto de la temperatura, al aumentar de 10 a 45°C, se

disminuye el tiempo de vida hasta en un 90%, por lo que se comprueba que las condiciones ideales para su almacenamiento consisten en mantener temperaturas y humedades relativas bajas.

Es muy importante señalar que el tiempo calculado se refiere al período en el cual la transferencia de vapor de agua a través del empaque, aumenta la humedad en equilibrio del alimento hasta llegar a un valor de humedad crítica. Sin embargo, estos resultados dependen de la resistencia del empaque a otro tipo de factores físicos, químicos, y mecánicos; ya que si el empaque se rompe o se producen pequeños orificios en su superficie, la transferencia de masa se acelera y el tiempo de vida de anaquel se reduce considerablemente.

## 5.2) COMPARACION DE LOS RESULTADOS CON OTROS ALIMENTOS

Para comprobar el uso de este modelo con otros alimentos en polvo diferentes al chile estudiado, se utilizaron datos de las isotermas de sorción y tiempos de vida de anaquel reportados para 8 productos, entre los que se encuentran: leche entera en polvo, leche descremada en polvo, cereal expandido en presentación de burbujas, pasta hueca para sopa, pastas instantáneas, polvo para preparar refrescos sabor fresa, concentrado de pollo en cubo (consomé) y concentrado de pollo en polvo (consomé); todos ellos con un contenido inicial de humedad menor a 10% (Paredes, 1984)

De esta información se obtuvieron los valores de las constantes del modelo de Caurie y se introdujeron los datos experimentales reportados de permeabilidad de los respectivos materiales de envase utilizados. De este modo se evaluó el tiempo de vida de anaquel y se compararon con el obtenido experimentalmente.

Sin embargo, el modelo es limitado cuando la diferencia entre los contenidos de humedad crítica y humedad inicial es menor a 1 g H<sub>2</sub>O/100 g polvo seco. Por el contrario, cuando la diferencia entre dichos valores sobrepasa la unidad, el modelo proporciona datos muy confiables para diferentes tipos de materiales de empaque.

En el cuadro 5.1 se muestran los resultados obtenidos experimentalmente y su comparación con los calculados a través de la ecuación. Los productos reportados son los únicos que tienen una diferencia mayor a la unidad entre humedad inicial y la humedad crítica.

MATERIAL DE EMPAQUE	Leche entera	Leche descremada	Sopas instantáneas
PPBO doble	42 (40)	35 (45)	26 (23)
PPBO simple	24 (26)	19 (25)	15 (13)
PP	10 (12)	10 (11)	7 ( 6)
PE 1	9 (11)	9 (10)	6 ( 5)
PE 2	8 ( 9)	7 ( 9)	5 ( 4)
HDPE/LDPE	19 (20)	18 (20)	12 (10)

CUADRO 5.1. RESULTADOS DE TIEMPO DE VIDA DE ANAQUEL (días) DE TRES DIFERENTES ALIMENTOS (Paredes, 1984). Los valores entre paréntesis son los valores predichos a través del modelo.

De lo anterior se observa que no existe diferencia importante entre los valores experimentales y los calculados, con lo cual se comprueba la validez del uso de los resultados matemáticos para la predicción de vida de anaquel en alimentos secos.

Es importante remarcar que el uso del modelo de simulación propuesto evita la larga experimentación de pruebas de vida de anaquel para alimentos secos sometidos a condiciones constantes, cuya duración llega a ser hasta de más de un año; sólo con la obtención de la isoterma de sorción del producto.

Una vez demostrada la validez del modelo y dada la necesidad de evaluar la vida de anaquel en otras condiciones de almacenamiento diferentes a las de experimentación, se proponen la siguiente relación matemática, obtenida por la regresión múltiple de las variables estudiadas ( $1/T$  absoluta,  $\ln HR$ ).

$$\text{tiempo}_{VA} = e^{[-12.18 + 5027.32 (1/T) - 0.849 \ln Aw]} \quad (5.7)$$

$$R_{\text{multiple}} = 0.99$$

Donde T es la temperatura absoluta y tiempo<sub>VA</sub> es el tiempo de vida de anaquel.

Así, es posible predecir la vida de anaquel que tendría el chile en polvo en la Cd. de México (50% HR, 22°C), cuyo resultado sería de 217 días aproximadamente, a través de la interpolación de estas condiciones en la ecuación propuesta (5.7).

Debido a que son expresiones completamente empíricas y que en ambientes superiores a 45 °C no se debe almacenar, la extrapolación de estas relaciones no es recomendable.

## CONCLUSIONES

A través del presente trabajo se ha desarrollado un modelo matemático que predice el tiempo de vida de anaquel de alimentos secos con una precisión aceptable, dentro de cualquier condición de temperatura y humedad relativa externa.

De las isotermas de sorción, se concluye que el comportamiento de absorción de humedad es independiente del tipo de chile, y cambia de modo importante con la temperatura empleada. Aunque su forma gráfica es similar para cada condición térmica, sobre todo y de manera muy significativa, en el intervalo de humedad relativa comprendido entre 0 y 30%, esto debido a la existencia del antiapelmazante ( $SiO_2$ ) lo que provoca un mismo comportamiento de sorción a cualquier temperatura en estas condiciones.

Para la modelación del comportamiento de sorción se comprobó que el modelo de Caurie describe el comportamiento con mayor precisión, en donde la mayor diferencia entre el  $A_w$  calculado y el experimental tienen una diferencia de 8 % como máximo.

En lo que se refiere a la determinación del valor de humedad crítica, se utilizaron valores altos de temperatura y humedad relativa (30 °C, 60% HR), con el fin de evaluar analíticamente el cambio de textura y color.

Sin embargo, al estimar la porosidad como medida de textura, no se presentó diferencia entre los datos; esto es debido a la presencia de antiapelmazante, lo que impide un cambio evidente en esta propiedad. Por lo que la humedad crítica se determinó sólo en función al cambio de color medido por absorbancia, de lo cual se observó que para cada tipo de chile existe su propio valor de humedad crítica.

En la deducción del modelo de vida de anaquel, se introdujo la ecuación de Caurie, la ecuación derivada de la primera ley de Fick en estado inestable y la ley de Henry. La relación matemática obtenida se integró con límite inferior como el valor de humedad

inicial y el límite superior como el valor de humedad crítica.

Este modelo se probó con los resultados de vida útil obtenidos experimentalmente para alimentos deshidratados, de lo cual se concluye que su uso es recomendable en alimentos secos, los cuales deben poseer una diferencia entre su contenido de humedad inicial y el contenido de humedad crítica, mayor a 1 g H<sub>2</sub>O/ 100 g polvo seco.

Se llevó a cabo una regresión lineal múltiple entre las temperaturas, humedades relativas y tiempo de vida de anaquel, con lo cual se obtuvieron relaciones matemáticas precisas con respecto a los datos experimentales, capaces de proporcionar el período en el que el alimento seco conserva su calidad sensorial en condiciones de almacenamiento con temperatura y humedad relativa diferentes a las utilizadas en la experimentación.

Para el uso de estas relaciones se debe señalar que el tiempo preestimado de vida de anaquel del alimento seco, supone total integridad del envase, por lo que se debe llevar un control estricto en su manejo y forma de distribución.

Asimismo, cabe señalar que para el uso del modelo es indispensable obtener los datos de la isoterma de sorción del alimento seco en cuestión, su humedad crítica y la permeabilidad del material de envase utilizado.

Es muy importante resaltar que a través de este tipo de evaluaciones, se reduce considerablemente el tiempo de experimentación, en comparación a las experimentaciones que se llevan a cabo con el producto envasado, al cual se le somete a condiciones aceleradas de almacenamiento durante meses. Obteniéndose resultados más generales para un intervalo amplio de temperatura y humedad relativa de almacenamiento.

## RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones, es absolutamente necesario considerar la resistencia mecánica del material de envase, su tamaño, forma, capacidad y modo de transporte; debido a que debe asegurarse su completa inviolabilidad, de lo contrario la transferencia de elementos que dañen al producto desde el exterior acelerará considerablemente su deterioro.

Para un mejor manejo de los resultados obtenidos en este trabajo, y en general para obtener un mayor tiempo de vida de anaquel, es recomendable el control de temperatura y humedad relativa a las que se exponga el producto, de modo que permanezcan constantes durante el mayor tiempo posible en su comercialización.

## BIBLIOGRAFIA

- Abe, Y., Kondoh, Y. 1989. Oxygen Absorbers in Controlled/Modified Atmosphere/ Vacuum Packaging of Foods. Food and Nutrition Press Inc. U.S.A.
- Anon. 1981. Open shelf-life dating of Foods. Food Tech. Vol 35(2):89-96.
- Anon. 1986. Packaging Encyclopedia. Suplemento especial de revista Packaging editado en 1986.
- Anon. 1987. The conditions surrounding CAP are critical. Food Eng. Vol. 59(12):54.
- Association of Official Analytical Chemists, 1990. Official Methods of Analysis. 14a. edición.
- ASTM, 1988. Annual Book of ASTM Standards.
- Avila, A. 1990. MEMORIAS DEL CURSO: DISEÑO DE ENVASE Y EMBALAJE PARA ALIMENTOS. Tecnológico Regional de Celaya, Gto.
- Badui, S. 1987. La Química de los Alimentos. Editorial Alhambra. 4a ed. México, D.F.
- Bandrup, J., Immergut, E.H. 1989. Polymer Handbook. Wiley Interscience. John Wiley and Sons. 1a. ed. U.S.A.
- Banerjee, K., Cheremisinoff, P. 1985. Sterilization Systems. Technomic Publishing Co. Inc. 1a. ed. U.S.A.
- Banwart, G.J. 1982. Microbiología Básica de los Alimentos. Ediciones Bellaterra, S.A. 1a. ed. Barcelona, España.
- Bell, L. 1987. Spotlight on packaging. Food Processing. Vol. 48 (6): 66-72.

Brody, A.L. 1985. Controlled atmosphere bakery product packaging. *Cereal Foods World*. Vol 30(5):352.

Brody, A.L. 1987. CAP'87. *Food Eng.* Vol. 59(12): 48-52.

Brody, A.L. 1989. The modification of modified atmosphere packaging. *Cereal Food World*. Vol. 34(7):571 - 572.

Bush. 1991. Nuevas ideas en empaque. Frescura y vida prolongada. *Alimentos Procesados*. Vol. 10(4):30 - 32

x Brunauer, S., Emmett, P.H., Teller, E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Chem. Soc.* 60: 309.

Carleton, F.J.; Agalloco, J.P. 1986. *Validation of Aseptic Pharmaceutical Processes*. Marcel Dekker Inc. 1a. ed. U.S.A.

Caurie, M. 1970. A new model equation for predicting safe storage moisture levels for optimum stability of dehydrated foods. *J. Food Tech.* Vol. 5:301 - 307.

Considine, D.M. 1982. *Foods and Food Production Encyclopedia*. Van Nostrand Reinhold Co. 1a. ed. New York, U.S.A.

Cooper, M.S. 1973. *Quality Control in the Pharmaceutical Industry*. Vol. II. Academic Press. 1a. ed. U.S.A.

Crockford, H.P. 1971. *Laboratory Manual of Physical Chemistry*. CECSA. 2a. edición. México.

Chuaqui-Offermanns, N. 1989. Packaging for use in irradiation. *Food Eng.* Vol 61(4):73-74.

Desrosier, N., Desrosier, J. 1977. *The Technology of Food Preservation*. AVI Pub. Co. Westport, Connecticut.

Dietrich, G., Quast, Karel, M. 1972. Technique for determining oxygen concentration inside package. *J. Food Sci.* Vol. 37:490 - 491.

Duckworth, R.B., editor. 1975. *Water Relations of Foods.* Academic Press. New York, U.S.A.

Eustace, J.J. 1989. Food packaging - selection of materials and systems. *Food Australia.* Vol. 41(8):884 - 885

Fanelli, A.J., Burlew, J.V., Gabriel, M.K. 1985. Protection of milk in high density polyethylene against photodegradation by fluorescent light. *J. Food Protection.* Vol. 48 (2): 112 - 117.

Farrell, T. K. 1990. *Spices, Condiments and Seasonings.* Edit. AVI Publishing. 1a. ed. New York, U.S.A.

Fassi, J. 1990. Products protections is in the bag. *Food Eng.* Vol. 62(3):79 - 82.

Fisher, H.J., Hart, F.L. 1984. *Análisis Moderno de los Alimentos* Ed. Acribia. España.

Floros. 1990. Controlled and modified atmospheres in food packaging and storage. *Chem. Eng. Prog.* Vol. 86(6):25 - 32

Frankel, E.N. 1984. Lipid Oxidation: Mechanisms, products and biological significance. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* Vol. 61:1908.

Frazier, W.C.; Westhoff, D.C. 1985. *Microbiología de los Alimentos.* Edit. Acribia, S.A. 3a. ed. Zaragoza, España.

Furla, T. 1975. *Handbook of Food Additives.* CRC Press. 2a. ed. U.S.A.

Geankoplis, C.J. 1986. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias.* Ed. Continental. 1a. edición. México.

Gennaro, R.A. 1987. *Remington Farmacia*. Edit. Medica Panamericana. 17a. edición. Buenos Aires, Arg.

Gerdhart, U. 1975. *Espicias y Condimentos*. Edit. Acribia. 1a. ed. Zaragoza, España.

Griffin, R.C., Sacharow, S., Brody, A.L. 1985. *Principles of package development*. AVI Publ. Co. Inc. U.S.A.

Haralampo, S.G., Karel, M. 1983. Kinetic models for moisture dependende of ascorbic acid and  $\beta$ -carotene degradation in dehydrated sweet potato. *J. Food Sci.* Vol. 48:1872.

Heath. 1981. *Book Source of Food Flavors*. AVI Publ. Co. Inc. 1a. ed. U.S.A.

Heath. 1988. *Food Flavors*. AVI Publ. Co. Inc. 1a. ed. U.S.A.

Held, J.L., Joslyn, M.A. 1967. *Fundamentals of Food Processing*. Vol I. AVI, Westport, Connecticut, U.S.A.

Heiss, R. 1958. Shelf life determinations. *Modern Packaging*. Vol. 31 (8): 119.

Hill, G., Grieger-Block, R. 1980. Kinetic Data: Generation, Interpretation and Use. *Food Tech.* Vol. 34(2):56-66.

Holmgren, 1988. CAP improves shelf life...but be careful. *Packaging*. No. 4.

Hotchkiss, J. editor. 1988. *Food Packaging Interactions*. ACS Books Washington.

Jian, Min W. 1985. Predictions of the moisture uptake by a packaged moisture sensitive pharmaceutical products stored under fluctuating temperature and humidity enviroments. Thesis M.D. Michigan State University.

Kaduya, T. editor. 1990. *Food Packaging*. Academic Press Inc. 1a. ed. USA.

Karel, M., Proctor, B.E., Wiseman, G. 1958. Factors affecting water vapor transfer through food packaging films. *Food Tech.* Vol. 17:91.

Kapsalis, J.G. 1987. Moisture sorption hysteresis. In *Properties of Water Related to Food Quality and Stability*. editor L. B. Rockland and G. Stewart. Academic Press. Sn. Francisco.

Khanna, R., Peppas, A.N. 1982. Mathematical analysis of transport properties of polymer films for food packaging: moisture and oxygen diffusion. *Food Process Eng.* Vol. 78(218):185-191.

Labell, F. 1988. New CAP system triples fresh produce shelf life. *Food Processing.* Vol. 49(13):150-153.

Labor de Concino, J.A. 1984. *Presente y Pasado del Chile en México*. SARH. México.

Labuza, T.P. 1968. Sorption phenomena in foods. *Food Tech.* 22: 263.

Labuza, T.P. 1980. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. *Food Tech.* Vol 34(4):36-41.

Labuza, T.P. 1982. Moisture gain and loss in packaged foods. *Food Tech.* Vol 36(4):92-97.

Labuza T.P., Acott, K., Tatino, S.R. 1976. Water activity determination: a collaborative study of different methods. *J. Food Sci.* Vol 41:910-917.

Labuza, T.P., Contreras- Medellín, R. 1981. Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal Foods World.* Vol

26(7):335-348.

Labuza, T.P., Riboh, D. 1982. Theory and application of Arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses in foods. *Food Tech.* Vol 36(10):68-73.

Labuza, T.P., Schmidl, M.K. 1985. Accelerated shelf life testing of foods. *Food Tech.* Vol 39(9):57-65.

Lachman, L.; Lheberman, A.; Kanig, L. 1986. *Theory and Practice of Industrial Pharmacy*. Edit. LEA and Febiger. 3 th. ed. Philadelphia.

Larson, M., 1990. MAP/CAP satisfies craving for freshness. *Packaging*. Num. 7.

Lego C.M., 1984. HPLC in the flavor /spice industry. *Food Tech.* Vol 38(4): 84-87.

Lenz, M.K., Lund, D. B. 1980. Experimental procedures for determining destruction kinetics of food components. *Food Tech.* Vol. 34(1):51-55.

Lewis, R.J. 1989. *Food Additives Handbook*. Van Nostrand Reinhold. U.S.A.

Long, S.J. 1986. *Capsicum y Cultura: Historia del Chile en México*. Fondo de Cultura Económica. 1a. edición. México.

Lindsay, C.R., 1984. Flavor ingredient technology. *Food Tech.* Vol 38(1): 37, 76-81.

Lioutas, T.S., 1988. Challenges of controlled and modified atmosphere packaging: a food company's perspective. *Food Tech.* Vol. 42(9):78-86.

Loaharanu, P. 1989. *International Trade in Irradated Foods*:

Regional Status and Outlook. Food Tech. Vol 43 (7): 77-80.

Llorente, S.; Giménez, J. L.; Martínez, F.; Romajaro, F. 1986. Effectiveness of ethylene oxide and Gamma irradiation on the microbiological population of three types of paprika. J. of Food Sci. Vol 51 (6): 1571-1574.

Mark, H., Bikales, N., Overberger, C., Menges, G. 1985. *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*. ed. John Wiley and Sons. 2nd. edition. Canada.

Minor, L. J. 1983. *Nutritional Standards*. V 1. AVI Pub. Co. USA.

Mizrahi S., Karell, M., 1977a. Accelerated stability tests of moisture-sensitive products in permeable packages by programming rate of moisture content increase. J. Food Sci. Vol 42:958-963.

Mizrahi S., Karel, M. 1977b. Accelerated stability tests of moisture sensitive products in permeable packages at high rates of moisture gain and elevated temperatures. J. Food Sci. Vol 42:1575.

Mizrahi, S., Karel, M. 1978. Evaluation of kinetic model for reactions in moisture-sensitive products using dynamic storage conditions. J. Food Sci. 43:750

Morris, C. E. 1987. Extended shelf life trough... customized CAP. Food Eng. Vol 59 (10): 62-63.

Müller, G. 1981. *Microbiología de los Alimentos Vegetales*. Edit. Acribia, S.A. 1a. edición. Zaragoza, España.

Multon, J.L. 1988. *Aditivos y Auxiliares de Fabricación en las Industrias Agroalimentarias*. Ed. Acribia, S.A., 1a. ed., Zaragoza, España.

Naylor, T. 1989. Permeation Properties in: *Comprehensive Polymer Science*. Vol II. Rewington, J.C. Editor. Pergamon Press. U.K.

Nickerson, J.T., Sinskey, A.J. 1974. *Microbiology of Foods and Food Processing*. American Elsevier Pub. Co. 1a. ed. USA.

Oswin, C.R. 1945. The kinetics of package life. *Package Life*. J. Soc. Chem. Ind. Vol. 64:224

Palne, F.A., Palne, H.Y. 1992. *Handbook of Food Packaging*. 2a. ed. Blackie Academic ad Professional. USA.

Paredes, L. 1984. Diseño de envases para alimentos deshidratados. Tesis. Fac. de Química. UNAM.

Parrot, E.L. 1970. *Pharmaceutical Technology Fundamental Pharmaceutics*. Burgess Pub. Co., U.S.A.

Perkins, J. J. 1969. *Principles and Methods of Sterilization in Health Sciences*. Charles C. Thomas Pub. USA

Perry, R.H., Chilton, C.H. 1986. *Biblioteca del Ingeniero Químico*. Mc Graw Hill. 5a. edición. México.

Potter, N.N. 1978. *La Ciencia de los Alimentos*. EDUTEX, S.A. 3a. edición. México.

Prattley, C., Sumner, J., Warne, D., Garwood, A. 1987. An integrated thermoform packaging system for controlled atmosphere (CA) packaged foods. *Food Tech. in Australia*. Vol. 39(10):492-494.

Rice, J. 1987. Gas-pack technology requires close attention to tricky variables. *Food Proc*. Vol 48(6):68-72.

Rice, J. 1989. Modifies atmosphere packaging. *Food Proc*. Vol 50(3):60-75.

Richardson, T., Finley, J. W. 1984. Chemical changes in food during processing. AVI, Pub. New York.

Rockland, L.B., Beuchat, L.R. edit. 1987. *Water Activity: Influences of Food Quality: Theory and Applications to Food*. Marcel Decker Inc. New York, U.S.A.

Rockland, L.B., Nishi, S.R., 1980. Influence of water activity on food product quality and stability. *Food Tech.* Vol 34(1): 42.

Rockland, L.B., Stewart, F. edit. 1981. *Water Activity: Influences of Food Quality*. Academic Press, New York, U.S.A.

Rooney, M.L. 1989. Measuring packaging film attributes. *Food Australia*. Vol 41(8):880-881.

Ross, K.D. 1975. Estimation of water activity in intermediate moisture foods. *Food Tech.* Vol 29(3):25-34.

Sadler, G. D., Braddock, J. 1991. Absorption of citrus flavor volatiles by low density polyethylene. *J. Food Sci.* Vol. 56(1):35-39

Saguy, I., Karel, M. 1980. Modeling of quality deterioration during food processing and storage. *Food Tech.* Vol 34(2):78-85.

Salzer, V.J. 1975. *Intt. Flavours and Food Additives*. pp: 151-155.

SECOFI, 1984. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Sistema Nacional para el Abasto Normas de Calidad. México.

Seymour, G. 1976. Migration minor constituents from food packaging materials. *Food Tech.* Vol 41:955-958.

Stépek, M. 1987. *Polymers as materials for packaging*. Ellis Horwood Limited. England.

Taoukis, P. S., El Mezquine, A., Labuza, T. P. 1988. Moisture transfer and shelf life of packaged foods. In *Food and Packaging*

*Interactions*. Hotchkiss, J. editor. ACS Books. Washington.

Treybal, R.E. 1990. *Operaciones de Transferencia de Masa*. Mc Graw-Hill. 2a. edición. México.

Trowbridge, T. D. 1988. Will Food Irradiation Help Fight World Hunger. *Chem. Eng. Prog.* Vol. 84 (5): 30-32.

Urbain, M. W. 1986. *Food Irradiation*. Academic Press. New York, U.S.A.

Urbain, M. W. 1989. *Food Irradiation: The Past Fifty Years as Prologue to Tomorrow*. *Food Tech.* Vol. 43 (7):76, 92-95.

Waletzko, P. 1976. Accelerated shelf-life testing of an intermediate moisture food in air and in an oxygen-free atmosphere. *J. Food Sci.* Vol 41:1338-1343.

Weiner, P. 1990. Controlled atmosphere packaging: many benefits; not a panacea. *nv/Export* 89/90.

Zagory, D., Kader, A.A. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Tech.* Vol 42(9):70-77.