



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores  
"CUAUTITLÁN"

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES - CUAUTITLÁN



Departamento de  
Investigaciones

DESARROLLO EXPERIMENTAL, EN LA SELECCIÓN  
DE UN MATERIAL DE ENVASE PARA PRODUCTOS  
DERIVADOS DEL CACAO

## TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ALIMENTOS  
P R E S E N T A N  
SONIA ROCIO ACOSTA SAMANO  
AURELIO ARTURO CORTES NIETO

Directora de la Tesis: Sara Esther Valdes Martínez

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

1987



## **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.

# I N D I C E

INTRODUCCION .....	1
I ANTECEDENTES TECNICOS SOBRE EL PRODUCTO ....	5
1.1 Materia prima necesaria para elaborar tablillas de chocolate con leche.....	5
1.2 Composición.....	11
1.3 Proceso de elaboración .....	16
II ANTECEDENTES TECNICOS SOBRE ENVASES FLEXIBLES.....	23
2.1 Características de un material de envase para tablillas de chocolate con leche.....	24
2.2 Materiales actuales factibles a ser utilizados como envase de tablillas de chocolate con leche.....	27
2.3 Análisis económico de los materiales seleccionados.....	33
III DISEÑO Y METODOLOGIA EXPERIMENTAL .....	37
3.1 Justificación del proyecto.....	37
3.2 Objetivo General.....	37
3.3 Diseño Experimental.....	37
3.4 Objetivos específicos de la primera etapa experimental.....	38
3.5 Objetivos específicos de la segunda etapa experimental.....	38
3.6 Hipótesis.....	39
3.7 Metodología de la primera etapa experimental	40
3.8 Metodología de la segunda etapa experimental	43
3.9 Interpretación estadística de resultados ...	46

IV	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS EXPERI MENTALES .....	48
4.1	Resultados de la primera etapa experimen- tal y su análisis estadístico.....	48
4.2	Resultados de la segunda etapa experimen- tal y su análisis estadístico.....	57
4.3	Discusión general de resultados.....	72
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
5.1	Conclusiones.....	84
5.2	Recomendaciones.....	88
	BIBLIOGRAFIA.....	89
	APENDICE I.....	93
	APENDICE II .....	102

## INTRODUCCION.

En la actualidad, la industria chocolatera en México es una de las más favorecidas por el consumidor, pues el consumo global per cápita aumentó en el período comprendido entre 1975 a 1980 de 80 a 341 g y su producción de 8,300 a 24,300 toneladas, trabajando a un 48% de su capacidad instalada ( 18).

No obstante, el incremento de los precios en el producto final demanda un análisis apoyado por la investigación, la cual tenga como objetivo abatirlos, con lo cual quedará aún más favorecida dicha industria.

El objetivo que promovió la elaboración del presente trabajo fue precisamente abatir el costo de tablillas de chocolate con leche de 23 g de peso, elaboradas por una empresa chocolatera mexicana, tratando de substituir el material de envase tradicional, que consiste de una laminilla de aluminio ( más comúnmente conocida como "foil" de aluminio), por un material menos costoso, que por un lado, esté más apegado a la realidad económica mexicana ( las materias primas necesarias para elaborar el "foil" de aluminio, bauxita, alúmina y lingotes de aluminio, son productos de importación) <sup>1</sup>, y por otro lado, sea capaz de cumplir con los requisitos necesarios para funcionar correctamente como envase de dicho producto.

1) La bauxita, alúmina y lingotes de aluminio representaron en el año de 1980 una fuga de divisas por cerca de 575 millones de pesos, por concepto de 154 ton de las cuales, el 7.4 % fue utilizado para envoltura de dulces y chocolates ( 5). (Dato actualizado en 1987 ).

En el presente trabajo se estudiaron cinco diferentes materiales de envase ( incluyendo el material de envase tradicional, el cual se utilizó como referencia), los cuales son :

1. Película de celulosa regenerada recubierta con polietileno de baja densidad por una sola cara.
2. Papel glassine recubierto con polietileno de baja densidad por ambas caras.
3. Película de polipropileno uni-axialmente orientada.
4. Película de polipropileno bi-axialmente orientado.
5. Laminilla o "foil" de aluminio.

El estudio de dichos materiales se subdividió en dos etapas experimentales. Durante la primera etapa experimental los materiales fueron sometidos a pruebas de resistencia mecánica ( como fuerza de tensión, elongación y resistencia al doblado ), de opacidad, permeabilidad al oxígeno, vapor de agua, grasas y aceites, y se evaluaron sus características generales como rendimiento, espesor y sello térmico.

Como antecedente a la segunda etapa experimental se solicitaron a la empresa fabricante, las tablillas de chocolate con leche, con el fin de envasarlas con los diferentes materiales propuestos y mantener otras con el envase comercial, el cual consiste en una envoltura interna de "foil" de aluminio y otra envoltura externa o sobreenvoltura tipo manga de papel bond impreso, en forma de banda que deja al descubierto los extremos de la tablilla envueltos en el "foil", sirviendo simplemente como una etiqueta descriptiva.

La segunda etapa experimental consistió en evaluar la aptitud de uso de los diferentes materiales, incluyendo el comercial, mediante la introducción de las tablillas así envueltas en una cámara ambiental durante períodos de 15, 30, 45 y 60 días a condiciones constantes de temperatura ( 30° C, bulbo seco ) y de humedad relativa ( 80% ). Dicha aptitud de uso se evaluó analizando en las tablillas, el por ciento de ganancia en peso, la diferencia total de color y el índice de peróxidos. Así como también, a través de una observación visual del producto y envase, lo cual juega un papel muy importante para el fabricante de chocolates, pues es la evaluación de la presentación del producto ante el consumidor.

Analizando la importancia que implica cada una de las pruebas realizadas durante la primera etapa experimental en relación a la conservación de la calidad de las tablillas de chocolate se comprobó la importancia de la influencia de la permeabilidad al vapor de agua de los materiales de envase, por lo que esta prueba determinó la selección de los mismos en la primera etapa experimental, la cual se muestra en el siguiente orden decreciente:

1. Polipropileno biaxialmente orientado.
2. Polipropileno uniaxialmente orientado.
3. Celulosa regenerada recubierta con PEBD.
4. Papel glassine recubierto con PEBD.

En base a los resultados de la segunda etapa experimental, la cual implica el análisis de la relación producto-envase; se obtuvo una selección determinada principalmente por la prueba de inspección superficial, la cual en orden decreciente es la siguiente:

1. Papel glassine recubierto con PEDEB.
2. Celulosa regenerada recubierta con PEDEB.
3. Polipropileno uniaxialmente orientado.
4. Polipropileno biaxialmente orientado.

Como puede observarse, no coinciden ambas selecciones, por lo que la segunda etapa experimental pone en relieve la importancia de analizar el producto y su envase como una unidad. Pero al encontrar un material de envase más económico que el "foil" de aluminio y que a la vez, sea capaz de sustituirlo por sus propiedades intrínsecas para envasar las tablas de chocolate con leche, se promueve la industria chocolatera, pues se debe tomar en cuenta que este es solo un caso entre muchos que son semejantes.

Con este cambio de envase se favorece la no dependencia con el mercado exterior, así como el abatimiento del costo del producto final, logrando como consecuencia, una extensión favorable para los límites de su mercado.

## I. ANTECEDENTES TECNICOS SOBRE PRODUCTO.

Con el propósito de concluir acertadamente sobre la selección del material de envase más adecuado, es necesario conocer las propiedades intrínsecas del producto a envasar, que en este caso particular se trata de tablillas de chocolate con leche, las cuales demandan ciertas propiedades específicas en el material de envase, las mismas que serán evaluadas al analizar los materiales solicitados a los fabricantes.

Resaltando los aspectos técnicos del chocolate con leche como son el análisis bromatológico y de su materia prima, así como el proceso utilizado para su elaboración, se logra conocerlo integralmente desde el punto de vista físico, químico e incluso fisicoquímico, lo cual facilitará en gran medida la selección de dicho material de envase.

Por otro lado, es importante analizar las propiedades de cada uno de los materiales seleccionados para posteriormente contrastarlos con los resultados de la etapa experimental y así llegar a una conclusión más objetiva.

### 1.1 Materia prima necesaria para elaborar tablillas de chocolate con leche.

Las formulaciones que rigen la elaboración de las tablillas de chocolate con leche representan un secreto profesional para el fabricante, por lo que es imposible mostrar la formulación exacta de las tablillas con las cuales se realizó el presente estudio. No obstante, a continuación se presenta

una tabla general que muestra un intervalo porcentual del peso con el que participan los ingredientes en la formulación, con el propósito de analizar el papel que cada uno de ellos desempeña dentro de la elaboración de las tablillas de chocolate con leche. También, esta formulación servirá para analizar la relación que los ingredientes guardan con la conservación de la calidad del producto final, dicho de otra manera, la relación que guardan con un almacenamiento de condiciones aceleradas como el del presente estudio.

INGREDIENTES	%
Azúcar refinada	54.6 - 45.0
Manteca de cacao	21.0 - 22.6
Leche entera en polvo	13.0 - 20.0
Licor de cacao	11.0 - 12.0
Emulsificante	0.3
Saborizante	0.1

Tabla 1.1 "Formulación del chocolate con leche" (36).

Para lograr un chocolate de alta calidad se requieren ciertas propiedades en las materias primas, las cuales se describen a continuación.

1.1.1 Azúcar refinada. En la formulación es el componente que participa con mayor porcentaje en peso.

Para la elaboración del chocolate debe estar prácticamente libre de humedad, pues no debe contener más de 1 % ( 6 ), ya que la humedad disuelve el azúcar provocando florecimiento de cristales que se depositan sobre la superficie

del chocolate al evaporarse el agua por un cambio en las condiciones del ambiente (46), como sería el caso de un aumento de temperatura a presión constante o una disminución del por ciento de saturación relativa del ambiente a temperatura constante.

Las condiciones óptimas para el almacenamiento de chocolate son 17-20°C de temperatura y 40-50 % de humedad relativa (46). El chocolate estará durante el experimento a 30°C y 80 % de H.R., por períodos mayores a 15 días, lo que favorecerá la aparición de cristales de azúcar.

Cabe mencionar que la sacarosa es altamente higroscópica por encima de un 86% de H.R. (46), la cual es muy cercana a la existente en la cámara ambiental.

1.1.2 Manteca de cacao. Entre las propiedades que presenta la manteca de cacao está su marcado polimorfismo, pues se sabe que tiene por lo menos 4 fases definidas que son : gama, alfa, beta prima y beta, cada una con características independientes, entre ellas su punto de fusión que se muestra en la siguiente tabla :

FASE	P.F. (°C)
Gama	18
Alfa	23.5
Beta prima	28
Beta	34.7

Tabla 1.2 "Puntos de fusión de las formas cristalinas de la manteca de cacao" (46).

La fase con más alto nivel es la gama, siguiendo las demás en el orden de su punto de fusión, lo que quiere decir que

la más pobre en energía es la beta y por lo mismo, la estabilidad va en orden inverso, siendo consecuentemente la fase beta la más estable. Se trata de una variedad monotrópica, es decir, los cambios proceden sólo en una dirección y precisamente :

gama → alfa → beta prima → beta

Estos cambios se deben en cada caso como sigue:

FASE GAMA. Producida por un enfriamiento rápido de la grasa líquida. Es muy inestable y se transforma rápidamente a la forma alfa.

FASE ALFA. Es una forma polimórfica que se mantiene constante a bajas temperaturas. Cambia a la forma cristalina beta prima a temperatura ambiente.

FASE BETA PRIMA. Es un cristal muy inestable y se transforma casi espontáneamente a la forma beta.

BETA. Es la forma más estable de la manteca de cacao. Proporciona una adecuada contracción al chocolate y elimina la posibilidad del florecimiento de grasa en condiciones adecuadas de almacenamiento. En el proceso de fabricación se consigue alcanzar esta forma cristalina mediante el templeado y aun cuando este ha sido bien realizado, el chocolate aun sigue cristalizando durante las etapas de moldeo y de enfriamiento.

La forma beta, en relación a las anteriores, es la que presenta mayor densidad y por ello al ser templeado el chocolate, éste va aumentando paulatinamente su densidad, es decir, se contrae. La manteca de cacao varía su densidad de 0.91 a 0.99 cuando cambia del estado líquido al sólido respectivamente, lo que facilita la etapa de desmolde durante la fabricación del chocolate ( 46 ).

En la sección 1.2.1.2 del presente trabajo ( pp 12 ), se explica la estabilidad de la manteca de cacao hacia la rancidez debida a su composición.

1.1.3 Leche entera en polvo. La leche es un ingrediente opcional para la elaboración de chocolate, ya que de su adición depende del que se obtenga chocolate amargo, semiamargo o de leche. Para el caso del chocolate con leche, debe añadirse en un porcentaje de 13 a 20 %. Proporciona proteínas, grasas, minerales y vitaminas que elevan la calidad nutricional del chocolate, además de conferirle un agradable sabor.

Es conveniente almacenarla bajo atmósferas inertes de nitrógeno hasta el momento de ser utilizada para evitar la oxidación y enranciamiento de la fracción lipídica con la consiguiente aportación de malos olores al producto, así para evitar que la lactosa, carbohidrato altamente higroscópico, absorba humedad.

1.1.4 Licor de cacao. Conocido también como pasta de cacao o licor de chocolate. Se obtiene de las pepitas tostadas a bajas temperaturas que han sido separadas por roturas de los granos de cacao, fermentados y secados. Es de consistencia semiplástica y participa dando color y sabor a la pasta de chocolate.

1.1.5 Emulsificante. El emulsificante utilizado para la elaboración de chocolate es la lecitina de soya que químicamente es una mezcla de fosfolípidos que poseen propiedades hidrofílicas y lipofílicas. Los grupos hidrofílicos se ligan al agua, azúcar y sólidos de cacao presentes en el chocolate, mientras que los lipofílicos se ligan a la manteca de cacao y a la grasa de la leche, en caso de que se haya

añadido leche entera en polvo, influyendo así directamente sobre la viscosidad del chocolate haciendo caer las tensiones interfaciales mediante la unión de los productos de distinta naturaleza hasta hacerlos homogéneos por medio de fenómenos fisicoquímicos que se traducen en una mayor fluidez. Otra de las funciones de la lecitina son, por un lado, ayudar a prevenir el florecimiento de grasa mediante la formación de una capa monomolecular sobre la superficie de las fibras de cocoa. Esta monocapa previene la migración de la grasa líquida a la superficie de la pieza donde se solidificaría en forma de cristales, y por otro, propiciar un mayor brillo inicial en el chocolate, ya que los surfactantes ayudan a crear cristales de grasa pequeños que generan un mayor brillo inicial.

1.1.6 Saborizante. Este ingrediente siempre deberá ser añadido durante los últimos minutos del conchado final con el propósito de que la intensidad de sabor no se vea disminuida por el procesamiento al que es sometido el chocolate. A pesar de la gran variedad de saborizantes específicos para el chocolate, el que más se utiliza es el de la vainilla. Cabe mencionar que la caramelización de los azúcares de la leche junto con los sabores desarrollados durante las etapas de fermentación y tostado del cacao, así como durante el conchado, aportan ya de por sí los sabores considerados naturales del chocolate.

Habiendo descrito el papel que tiene cada uno de los ingredientes de la formulación para la elaboración del chocolate con leche, es oportuno resaltar el valor nutritivo del mismo, por lo que en el siguiente inciso se analiza su composición bromatológica.

## 1.2 Composición.

Para elaborar un producto se requiere de una formulación, la cual aporta a través de sus diferentes ingredientes, ciertos componentes químicos que deben estar constantemente en una determinada proporción. No obstante, la Dirección General de Normas ha establecido en la Norma Oficial Mexicana F 60-1982 ( 28 ) las especificaciones químicas del chocolate con leche dando a conocer los valores máximos y mínimos permitidos para dichos componentes.

A manera de ejemplo se describe a continuación un análisis bromatológico típico para el caso de chocolate con leche, así como también las especificaciones químicas establecidas en México por dicha norma.

1.2.1 Análisis bromatológico típico para chocolate con leche ( 28 ), ( 48 ). El chocolate con leche es considerado como una golosina que tiene gran importancia como fuente concentrada de energía, ya que aporta cerca de 588 cal/100 g, debido a que contiene un alto porcentaje de grasas y carbohidratos como puede observarse en la tabla 1.3 .

COMPONENTES	% EN PESO
Carbohidratos	54.5 *
Grasa	37.6
Proteínas ( N x 6.25 )	8.7
Humedad	trazas

\* Calculados como monosacáridos.

Tabla 1.3 "Composición del chocolate con leche" (28).

A continuación se describe el valor nutritivo de cada uno de los componentes del chocolate con leche, así como la relación que tiene cada uno de ellos con el desarrollo del experimento realizado dentro de la cámara ambiental.

1.2.1.1 Carbohidratos. Los carbohidratos del chocolate con leche están constituidos principalmente por la sacarosa; la lactosa, proporcionada por la leche en polvo añadida; y una pequeña proporción de almidón proveniente del cacao. La higroscopicidad y solubilidad de la lactosa y sacarosa presentes en el chocolate, hacen de este un producto que tiende a absorber humedad del medio ambiente, creando el florecimiento de cristales de azúcar, discutido en la sección 1.1.1 ( pp. 6 ), por lo que suponemos que durante la etapa experimental dicho fenómeno estará presente.

1.2.1.2 Grasa. La grasa presente en el chocolate con leche está compuesta por, aproximadamente, 75 % de manteca de cacao y el resto por grasa láctea ( 28 ).

El hecho de que la manteca de cacao tenga un punto de fusión de 29.5 °C y la grasa butírica o láctea de 36.1 °C ( 9 ), implica que al elevar paulatinamente la temperatura del ambiente en el que se encuentren las tablillas de chocolate con leche, la primera materia grasa que saldría a la superficie sería la manteca de cacao.

En el caso particular del presente trabajo se puede considerar que en base a lo anterior, la única grasa que se depositó en la superficie de las tablillas de chocolate es la manteca de cacao, pues la temperatura de la cámara ambiental fue de 30°C .

En base a que la autoxidación de las grasas se presenta comúnmente en lípidos con un alto contenido de ácidos grasos

insaturados ( 9 ), la estabilidad de la manteca de cacao se puede explicar principalmente a su composición, debido a que la relación de sus ácidos saturados ( palmítico y esteárico ) a no saturados ( oleico y linoleico ) es de 60 a 40 % ( 46 ).

Por otro lado, la grasa butírica que se encuentra en el chocolate con leche tiene una relación de ácidos saturados ( palmítico y mirístico, principalmente ) a ácidos grasos monoinsaturados ( oleico ) y poliinsaturados ( linoleico, linolénico y araquidónico ) de 61 a 37.8 % ( 1 ) .

En conclusión, la materia grasa total presente en las tablillas de chocolate es estable debido a que la mayor parte de sus ácidos grasos son saturados y aunque en la grasa butírica existan ácidos grasos poliinsaturados en un porcentaje de 2.8 %, ésta se encuentra tan sólo en un 25 % del total de la materia grasa presente en la formulación del chocolate con leche.

Uno de los factores que aceleran la autoxidación de las grasas es la elevación de la temperatura, la cual, para almacenar chocolate se recomienda que sea entre 17 y 20° C ( 46 ). Durante la etapa experimental, se almacenó el chocolate en la cámara ambiental a 30°C, por lo que a pesar de la estabilidad de la materia grasa del chocolate con leche, supusimos que se presentaría una oxidación de la misma, lo cual se comprobó por medio de la determinación del índice de peróxidos durante la segunda etapa experimental, para los diferentes períodos de 15 días, en cada una de las tablillas envueltas con los diferentes tipos de materiales de envase.

1.2.1.3 Proteínas. En la tabla 1.3 ( pp. 11 ), se observa que el chocolate con leche proporciona alrededor de 8.7 g de pro-

teínas, lo cual es una cantidad favorable si se considera como golosina. Además su calidad nutritiva es buena, pues el 80 % de las proteínas totales de la formulación procede de la leche entera en polvo y el resto es aportado por el cacao ( 28 ).

1.2.1.4 Humedad. La humedad reportada en la tabla 1.3 ( pp. 11 ) como trañas, procede de los mismos ingredientes de la formulación, pues ésta no incluye adición de agua, ya que su presencia es indeseable en el chocolate de cualquier tipo, por los daños que a éste le ocasiona.

Hay que tomar en cuenta que durante la determinación de la humedad, pueden arrastrarse aldehídos y cetonas junto con la humedad presente en el chocolate, la cual reporta generalmente valores que oscilan entre 0.5 y 1.5 %, para el caso del chocolate con leche ( 6 ). En la sección 1.2.2 ( pp. 15 ) se menciona el valor máximo permitido por la Dirección General de Normas.

1.2.1.5 Minerales. En el caso del chocolate con leche es importante la aportación de minerales como el calcio, sodio, potasio y fósforo, lo cual hace resaltar su valor nutritivo.

1.2.1.6 Vitaminas. Representadas principalmente por la vitamina A y las del complejo B, mismas que provienen principalmente de la leche añadida.

1.2.2 Especificaciones químicas del chocolate con leche.

En la Norma Oficial Mexicana F 60-1982 de la Dirección General de Normas ( 38 ), se establecen los valores mínimos

permitidos para ingredientes de la formulación seguida para la elaboración de chocolate con leche, así como los valores máximos y mínimos para los componentes químicos determinados por análisis bromatológicos que permitan asegurar la calidad y buen estado del chocolate con leche. Dicha norma (38) define al chocolate con leche como: "Producto de consistencia dura, textura fina y suave, cuyo color varía del castaño claro al más oscuro; elaborados con no menos de :

- 12 % de pasta de cacao
- 12 % leche entera en polvo
- 20 % grasa de cacao total, azúcares, adicionados o no de cacao parcialmente desgrasado en polvo ( cocoa ), grasa butírica, aditivos para alimentos e ingredientes opcionales permitidos por la S.S.A."

Así mismo, se mencionan las especificaciones químicas del chocolate con leche, las cuales se describen a continuación :

	% Mín.	% Máx.
Humedad		2.00
Grasa total	23.00	
Grasa butírica	3.00	
Proteínas	4.68	
Cenizas		1.24
Fibra cruda		0.42
Almidón		0.96
Reductores totales en glucosa		64.00
Reductores totales en sacarosa		57.63

Nota : los reductores totales en sacarosa se obtienen multiplicando el valor de los reductores totales en glucosa por el factor 0.9005 .

En cuanto a los aditivos utilizados para la elaboración del chocolate, dicha norma (38) establece que :

" Se permite el empleo de lecitina en un valor no mayor de 1.0 % en peso, base chocolate ".

Es obvio que la calidad de los ingredientes no es suficiente para lograr un producto de óptima calidad, sino que es necesario cumplir con ciertas condiciones de operación implícitas en el proceso de elaboración , del cual dependen en gran manera calidades como el aspecto, sabor, textura y sanidad y que son tan importantes para el fabricante como para el consumidor.

A continuación se describe una optimización del proceso tradicional de elaboración del chocolate, con el propósito de ahorrar tiempo y energía, así como cantidad de manteca de cacao utilizada, sin menoscabar la calidad del producto final.

### 1.3 Proceso de elaboración.

La fabricación de las tablillas de chocolate con leche consta de siete operaciones que tienen por objeto conformar y obtener la tablilla y otras cuatro posteriores que pretenden mantenerla en óptimas condiciones hasta hacerla llegar al consumidor. El presente trabajo, en su etapa experimental, estudia la operación de envasado analizando varios tipos de material de envase. El diagrama de flujo de la figura 1.3, muestra las operaciones del proceso de elaboración del chocolate con leche, las cuales se describen a continuación:

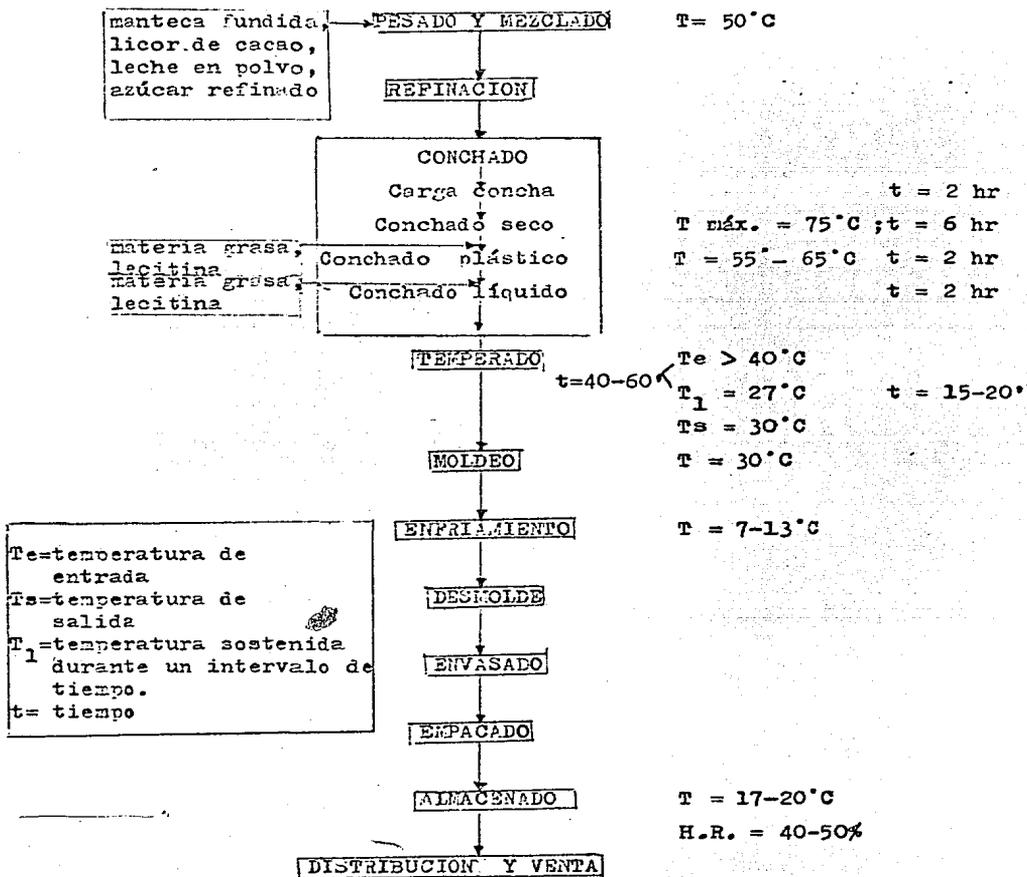


Figura I.3 "Diagrama de flujo para fabricación de las tablillas de chocolate con leche".

1.3.1 Pesado y Mezclado. Ambas operaciones se realizan en el mismo equipo, conocido familiarmente en la industria chocolatera como "petrín", el cual consiste en un tambor que descansa sobre una báscula.

En esta operación simultánea es necesario seguir un orden en la adición de los ingredientes para lograr una mayor homogenización en un menor tiempo, de esta forma se mezclan primeramente los ingredientes líquidos, es decir, la mantequilla fundida y el licor de cacao. Posteriormente se añaden los ingredientes sólidos como la leche en polvo y el azúcar refinado. Habiendo añadido todos los ingredientes al petrín, éste los mezcla a una temperatura de 50°C. El petrín homogeniza la pasta por la fundición de la grasa presente y favorece la eliminación de pequeñas cantidades de agua presntes en las materias primas, con el fin de elevar la eficiencia de las siguientes etapas, pues de la consistencia de la pasta lograda en el petrín, depende en gran medida la velocidad del refinado, así como la correcta realización del conchado. La pasta que se descarga del petrín es transportada a las refinadoras por medio de bandas que la depositan en la tolva de las refinadoras para continuar con la operación de refinar.

1.3.2 Refinación. Las máquinas más adecuadas para conseguir este fin son las refinadoras de cilindros conectados, o de regulación independiente entre las parejas de contacto. Esta etapa del proceso tiene por objeto mejorar la consistencia de la pasta disminuyendo el tamaño de partícula el cual no debe exceder de 30 micras ( 28 ).

La pasta que sale de las refinadoras es recogida por una banda transportadora que la deposita en las conchas.

1.3.3 Conchado. En esta operación se desarrollan el sabor y la viscosidad final de la pasta. Se realiza en equipos donde se bate lentamente a una temperatura promedio de 45 - 55°C durante 12 horas.

El conchado se realiza en tres fases distintas:

1. Conchado en seco: Es la etapa inicial durante la cual la eliminación de la humedad y de los compuestos desagradables debidos a la fermentación tropical de las habas ( ácidos volátiles, aldehídos, cetonas ) es tan equilibrada que no compromete los aromas de capital importancia para el sabor final del chocolate. Tiene una duración de 6 horas y se realiza a una temperatura máxima de 75°C ( 14 ).

2. Conchado plástico: En esta etapa se eliminan los aglomerados de la pasta y reproduce de manera continua el efecto longitudinal que consiste en transformar la consistencia de la pasta en semi-líquida o plástica. Dura 2 horas y se realiza a temperaturas que van entre 55 y 65°C ( 14 ).

3. Conchado final: Durante el cual, aprovechando las ventajas fisicoquímicas de las fases anteriores, se fija el desarrollo de los aromas y se determina la obtención de la viscosidad óptima. Su duración es de 2 horas aproximadamente y su temperatura oscila entre los 50 y 55°C ( 14 ).

La lecitina, los saborizantes y la manteca de cacao se van adicionando escalonadamente en esta etapa del proceso para ajustar la viscosidad a la necesaria para las siguientes operaciones ( 28 ).

1.3.4 Temperado. Conocido también como templado. Se realiza en máquinas controladas manual o automáticamente. Esta operación es crítica para la estabilidad del chocolate ya que facilita el paso de la manteca en estado líquido a una for-

ma sólida estable conformada por cristales "Beta".

La temperatura de fundido así como la de enfriamiento para temperar el chocolate dependen de la relación de la manteca con los sólidos presentes en la pasta del chocolate, pero un método general podría consistir en fundir el chocolate lentamente a una temperatura que no exceda los 60°C. Enfriar agitando continuamente hasta llegar a la temperatura de 27°C, manteniéndola durante 15 ó 20 minutos. Recalentar a 30°C. Esta temperatura es muy crítica ( en el rango de 1°C ) ( 17 ). Para controlar el aumento de viscosidad debido al enfriamiento de la pasta, se sugiere bombearla inmediatamente a una tolva reguladora de temperatura ( 28 ).

1.3.5 Moldeo. La pasta se deposita de la tolva a los moldes de tablilla por medio de válvulas múltiples de cantidades fijas de chocolate. Los moldes pueden ser de plástico o de metal, los cuales son transportados por bandas sin fin a través de un túnel donde la temperatura es aproximadamente igual a la de temperado ( 27°C ) ( 28 ), con el fin de que la pasta no sufra un choque térmico en el momento que se deposita sobre ellos ( 6 ).

Estando llenos los moldes es necesario someterlos a una agitación violenta y continua con el doble fin de remover las posibles burbujas de aire, que de otra manera distorcionarían la superficie de la tablilla al solidificar el chocolate y de distribuir la pasta homogéneamente en el molde ( 28 ).

1.3.6 Enfriamiento. Los moldes pasan a un túnel de enfriamiento en el cual, la temperatura de entrada y de salida es más alta que la del centro. En este túnel se enfría el chocolate con una corriente de aire seco con temperatura de

7-13°C (17). La formación de cristales "Beta" continua aún en esta etapa de enfriamiento, aún cuando el temperado se halla realizado correctamente. Lo anterior es muy favorable para la etapa de desmolde debido a la contracción que experimenta el chocolate, pues su densidad varía de 0.91 a 0.99 aproximadamente (46).

Las tablillas salen del túnel a una temperatura entre 10 y 15°C (28).

1.3.7 Desmolde. Al final del equipo de enfriamiento, los moldes son totalmente volteados y golpeados contra la banda transportadora, que los llevará finalmente hasta la máquina envolvedora (28).

1.3.8 Envasado y Empacado. Ambas operaciones dependen del gusto, diseño y necesidades del fabricante, pues existe una gran variedad de envolturas y empaques. En el caso de las tablillas estudiadas en el presente trabajo, el envasado se hace con dos envolturas, una primaria, constituida por el "foil" de aluminio y la secundaria constituida por papel bond.

1.3.9 Almacenado. Las condiciones para almacenar el chocolate son de 17-20°C y una humedad relativa de 40-50 % (46), con el fin de evitar florecimiento de cristales de azúcar y grasa, los cuales deslustran la superficie e inclusive, llegan a ocasionar decoloración.

El preservar la calidad del producto por largos períodos de tiempo durante su almacenado, puede lograrse haciendo una adecuada selección de un nuevo material de envase y diseño del mismo, con el fin de evitar daños como contaminación por hongos o gusanos; captación de humedad; absorción de olores y

sabores desagradables , todo lo cual demerita drásticamente la calidad del producto.

## II. ANTECEDENTES TECNICOS SOBRE ENVASES FLEXIBLES.

Entre los años de 1900 y 1930 se inició el uso del papel glassine, papel kraft, celulosa regenerada y hojas de aluminio creando las bases para una nueva área conocida como envases flexibles (52). Esta revolución en el envase cobra mayor importancia a partir de 1940 cuando el polietileno, polipropileno, poliestireno, papeles flexibles, hojas o "foils" metálicos, ionómeros y otra multitud de materiales para envase como los recubrimientos o laminados fueron introducidos al mercado (42).

El desarrollo tecnológico del siglo XX no se limitó a la creación de los polímeros sino que también se lograron combinaciones de materiales de otra naturaleza, como son el papel y el aluminio, mediante laminaciones, recubrimientos, metalizados además de que se desarrollaron procesos mediante los cuales se lograron obtener polímeros flexibles o rígidos; con cadenas de moléculas ramificadas, no ramificadas o enlazadas mediante las cuales se pueden modular propiedades como son el punto de fusión, la densidad y la resistencia mecánica del polímero; por otro lado se logró obtener polímeros de moléculas alineadas o no, con lo que se puede regular la densidad, la rigidez y el punto de fusión.

El factor que propició principalmente el desarrollo en el área de materiales flexibles, fue la abundancia de nuevos productos alimenticios en el mercado durante el mismo período, favoreciéndose así la creación de envases para cada tipo de alimento. Además, con el desarrollo simultáneo de procesos de impresión a color y otras operaciones de arte gráfico que contribuyeron a dar una mejor presentación visual

a los productos se logró captar con mayor facilidad la atención del consumidor, con el consecuente incremento en las ventas.

Con las combinaciones y modalidades logradas en los materiales de envase se puede asegurar que, en la actualidad, existe para cada tipo de alimento, por lo menos, un envase que cumpla con todos los requisitos necesarios para favorecer su conservación.

A continuación se muestran las características que debe reunir un material de envase adecuado para tablillas de chocolate con leche.

## 2.1 Características de un material de envase para tablillas de chocolate con leche.

Es necesario conocer previamente las propiedades físicas y químicas del alimento que se desea envasar, que en este caso se trata de las tablillas de chocolate con leche, con el propósito de seleccionar el material de envase más adecuado de los existentes en el mercado.

A continuación se muestran las necesidades propias del producto por envasar, con lo cual se deducen las características que debe poseer el material de envase por seleccionar.

### 2.1.1 Necesidades del producto por envasar.

Para conocer las necesidades del producto a envasar se debe determinar :

2.1.1.1 Naturaleza del producto. El chocolate es un producto de naturaleza grasosa, aunque estable al enranciamiento oxidativo y al ataque por microorganismos, pero de estructura física lábil frente a temperaturas mayores a los 20°C y a

una humedad relativa superior a 50%. Por otro lado, tie ne la tendencia a absorber sabores y olores del medio ambiente.

2.1.1.2 Presentación final del producto. Las tablillas de chocolate con leche son un producto destinado a consumidores de todas edades, principalmente niños, por lo que el envase deberá abrirse fácilmente con los dedos.

2.1.1.3 Forma comercial o distribución. Se empaqueta en cajillas de cartón, las cuales son protegidas, a la vez, por cajas de cartón corrugado.

2.1.1.3 Cantidad unitaria envasada. Consiste en tablillas de chocolate individuales con el fin de evitar el roce entre las tablillas, lo que daña a su superficie restándole brillo y presentación.

2.1.1.4 Forma física. En este caso se trata de una tablilla sólida, frágil, de estructura paralelepípeda, combada en la parte superior.

2.1.2 Determinación del tipo de material. Por las características arriba mencionadas del producto a envasar, se dedu ce que es necesario un material de envase que cumpla con los siguientes requisitos:

2.1.2.1 Proteger al chocolate contra la humedad del medio am biente, por lo que debe tener baja permeabilidad al vapor de agua.

2.1.2.2 Ser resistente a grasas, con el fin de evitar apari ciones de manchas grasosas en el material de envase.

2.1.2.3 Tener baja permeabilidad a gases para evitar la trans mición de aromas y sabores indeseables, así como de oxígeno para evitar posibles enranciamientos a pesar de la estabili dad química de la manteca de cacao.

2.1.2.4 Ser fácilmente termosellable. Ya que a menor temperatura para realizar el sellado se logra por un lado, un ahorro de energía y por otro, implica un menor riesgo para la estabilidad física del chocolate, ya que éste se puede fundir por la transmisión de calor en el momento de realizar el termosellado.

2.1.2.5 Ser de fácil impresión, ya que envolverá tablillas individuales que requieren de una determinada imagen comercial.

2.1.2.6 Tener suficiente fuerza de tensión, elongación y resistencia al doblado como para resistir las tensiones proporcionadas por la máquina durante la operación de envasado, así como también durante la transportación y distribución pero que a la vez, sea de fácil manejo para el consumidor en el momento de abrirlo con los dedos.

2.1.3 El material debe cumplir además, con otros requisitos generales como :

2.1.3.1 Ser inocuo, pues estará en contacto con un alimento. La norma oficial mexicana F60-1982 ( 38 ) establece que el chocolate con leche debe envasarse en un material resistente e inocuo, que garantice la estabilidad del mismo, que evite su contaminación, no altere su calidad, ni sus especificaciones sensoriales como son aspecto, color, olor y sabor.

Por otro lado, los materiales solicitados a los fabricantes para el presente estudio fueron aquellos que proporcionaran las características adecuadas para envasar confitería.

2.1.3.2 Estar disponible en el mercado mexicano, lo cual implica que el país tenga la infraestructura necesaria como para abastecer la demanda actual y futura del material.

2.1.3.3 Costo. Para que el presente trabajo llegara a cumplir con su objetivo general se considerará el costo de los materiales de envase, pues estos deben ser menos costosos en relación al "foil" de aluminio.

2.1.3.4 Es necesario que la nitidez de su impresión y colorido sea capaz de resistir un almacenamiento drástico, como el del presente trabajo en el que los materiales estuvieron durante 60 días dentro de las cámaras ambientales, las cuales permanecieron a 30°C y 80 % de humedad relativa.

Después de haber analizado tanto al producto como al material de envase requerido, se presenta a continuación los materiales que actualmente son susceptibles a ser utilizados como envase de tablillas de chocolate con leche.

2.2 Materiales actuales susceptibles a ser utilizados como envase de tablillas de chocolate con leche.

Para el caso de las tablillas de chocolate con leche se pueden utilizar materiales de distinta naturaleza como son:

- Materiales de la familia de los plásticos, como son el polietileno de baja densidad y el polipropileno.
- Papeles y derivados celulósicos como son : papel glassine, celulosa regenerada.
- Materiales pertenecientes a la familia de los laminados como son : "foil" de aluminio solo o con combinaciones con plásticos o papel.

Además de poder usar combinaciones de materiales en forma de laminaciones compuestas y recubrimientos como:

- Plástico con metal
- plástico con papel
- plástico como recubrimiento

papel con metal  
películas metalizadas  
más de dos materiales

A través de la combinación de materiales de envase se obtiene que el efecto combinado de propiedades es mayor que la suma de las propiedades individuales de cada componente, logrando así multiplicidad de variedades de materiales de envase que permite hacer una selección más acertada.

Los materiales con los que se realizó el presente experimento son:

1. Polipropileno uniaxialmente orientado.
2. Polipropileno biaxialmente orientado.
3. Celulosa regenerada recubierta con PEBD.
4. Papel glassine recubierto con PEBD.

Además de estos materiales se trabajó con el material de envase testigo, es decir, con el "foil" de aluminio.

Con el fin de conocer más ampliamente los materiales estudiados durante la etapa experimental, a continuación se describen las propiedades de cada uno de ellos, incluyendo el "foil" de aluminio.

2.2.1 Polipropileno uniaxialmente orientado. Ambos polipropilenos estudiados en el presente estudio, así como el polietileno de baja densidad son materiales que pertenecen al grupo de envases elaborados a base de polímeros.

Un polímero es una gran molécula construida por la repetición lineal de pequeños monómeros que conforman una homocadena principal, compuesta únicamente por átomos de carbono ( 10 ).

La mayoría de los polímeros lineales pueden ablandarse y tomar nuevas formas por la aplicación de calor y presión. A

estos materiales se les conoce como termoplásticos y la mayoría de los plásticos comerciales son de este tipo, como el polietileno y el polipropileno ( 10 ).

El polipropileno presenta tres configuraciones : la isotáctica, sindiotáctica y atáctica. Su forma isotáctica es la única con propiedades comerciales de interés general, y consiste en que todos los grupos propileno quedan por encima o por debajo del plano de la cadena principal ( 10 ).

El polipropileno uniaxialmente orientado ( OPP, por sus siglas en inglés ) es aquel en el que por la acción de fuerzas externas, sus cristales están acomodados u orientados con el sentido de la máquina. Los cristales se alinean en dirección de la tensión aplicada obteniéndose de esta manera modificaciones en las propiedades físicas del material, principalmente en lo que a la resistencia mecánica se refiere, la cual se mide a través de distintas pruebas, como son :

- fuerza de tensión
- resistencia al impacto
- resistencia al rasgado
- resistencia a la explosión
- elongación
- resistencia al doblado.

El polipropileno uniaxialmente orientado es un material transparente, muy resistente al desgarre, contraíble, estable hasta los 140°C, más rígido y de mayor maquinabilidad ( facilidad de manejo en la máquina ) que el polietileno de baja densidad. Durable, resistente a la abrasión, no lo afectan los compuestos orgánicos, sella al calor, posee buena barrera a la humedad, gases y grasas ( 29 ).

2.2.2 Polipropileno biaxialmente orientado. Por estar biaxialmente orientado, este material es más rígido que el anterior,

teniendo una mayor resistencia al impacto, sella con calor y representa una excelente barrera al vapor de agua, gases y grasas, es un material transparente ( 51).

El polipropileno biaxialmente orientado ( BOPP, por sus siglas en inglés ) tiene una alta resistencia al doblado por lo que es altamente "maquinable", es decir, que durante el empacado de tablillas de chocolate, este material no tenderá a romperse al trabajarse en la máquina, pues esta propiedad de resistencia al doblado está relacionada con la elasticidad del material ( 6 ).

2.2.3 Recubrimiento de celulosa regenerada con polietileno de baja densidad. Las propiedades de la celulosa regenerada y del polietileno de baja densidad se complementan, pues lo que es desventaja de uso para uno, es ventaja para el otro. Analizando individualmente cada uno de los materiales, se tiene que la celulosa regenerada, conocida comercialmente como celofán, tiene alta resistencia a la tracción pero tiene poca resistencia al desgarre, al impacto y al doblado, además de ser muy higroscópico, por lo que en atmósferas muy secas se torna quebradizo y se contrae, y en atmósferas húmedas pierde rigidez y se hincha. Tiene la desventaja de que al entrar en contacto con agua, se disuelve ( 26 ). Por otro lado, se puede imprimir con facilidad ( 47 ) y es impermeable a las grasas ( 47 ).

El polietileno de baja densidad ( PEBD, por sus siglas en español ) tiene poca resistencia a la tracción y poca rigidez, pero tiene buena resistencia al impacto ( 10 ), al doblado y rasgado, así como al agua. Sella fácilmente al calor, tiene una resistencia aceptable a grasas y aceites y al oxígeno ( 24 ).

Por lo anterior, se observa que ambos materiales se comple-

mentan perfectamente en muchas de sus propiedades, pues de hecho, para poder utilizar la celulosa regenerada en alimentos y hacerla comercialmente atractiva es laminándola con el polietileno de baja densidad, el cual le confiere a la celulosa regenerada características como: ( 29 ):

- a. Baja permeabilidad al vapor de agua.
- b. Resistencia a climas extremos.
- c. Sellabilidad térmica.
- d. Resistencia al rasgado.
- e. Resistencia al impacto.
- f. Resistencia al doblado.
- g. Resistencia al oxígeno.
- h. Resistencia a grasas y aceites.

2.2.4 Recubrimiento de papel glassine con polietileno de baja densidad. En el material de envase proporcionado por los fabricantes, el polietileno recubre ambos lados del papel glassine. Al recubrir el papel glassine con el polietileno de baja densidad se mejoran propiedades como :

- a. Resistencia a la explosión.
- b. Resistencia al rasgado.
- c. Resistencia al impacto.
- d. Resistencia al doblado.
- e. Resistencia a grasas y aceites.
- f. Resistencia al vapor de agua.
- g. Resistencia al oxígeno.

El papel glassine posee mayor facilidad de impresión que el polietileno de baja densidad, por lo que al recubrir el papel,

pueden crearse diseños comerciales muy llamativos para el consumidor. Además, el polietileno de baja densidad hace del papel glassine un material resistente a los hongos y le confiere flexibilidad y facilidad para sellarse térmicamente ( 6 ).

2.2.5 "Foil" de Aluminio. Entre las propiedades funcionales del "foil" de aluminio se encuentran las siguientes ( 21 ) :

- a. Resistencia a la oxidación y corrosión.
- b. Biodegradable.
- c. Reciclable.
- d. Maneable, especialmente en espesores menores de 0.0254 mm.
- e. Barrera al vapor de agua, radiaciones ultravioleta, oxígeno, grasas, aceites y líquidos.
- f. Alto rendimiento, es decir, proporciona una gran área por unidad de masa, lo cual representa una ventaja económica por el peso de embalaje y combustible gastado en la transportación.
- g. Compatible con alimentos, ya que es inodoro, insípido, no tóxico, además de no ser soporte de bacterias.
- h. Propiedades térmicas favorables por ser un excelente reflector y bajo emisor de calor radiante.
- i. Estético por su superficie con acabado tipo espejo, tiene una alta reflectancia para el espectro de luz visible.
- j. Facilidad de impresión, la cual puede ser excelente. El fotograbado realizado con varios colores lo hace muy agradable a la vista del consumidor. El entintado traslúcido ayuda a aumentar su incidencia de luz reflejada, lo cual conserva su agradable y llamativa apariencia metálica.

En espesores mayores a 0.038 mm, muchas de las propiedades del "foil" de aluminio ya no dependen de su espesor, ya que su anariencia, sus propiedades de barrera y propiedades térmicas son constantes, pero con espesores menores del mencionado, se corre el riesgo de que durante la laminación se creen pequeñas imperfecciones, las cuales consisten en pequeños orificios, que se incrementan a medida que se hace más delgada la laminilla provocando un aumento en la permeabilidad así como la facilidad a romperse por el manejo debido a las grietas que se producen, conocidas como grietas flexibles. Este tipo de imperfecciones se cubren por medio de la aplicación de películas extruidas que le ayudan así a recuperar su capacidad de barrera. La película más utilizada para este fin es la del polietileno de baja densidad ( 21).

Analizando las ventajas y desventajas del "foil" de aluminio, puede observarse que tiene ciertas propiedades que lo hacen ser un material adecuado para envasar tablillas de chocolate con leche, pero por desgracia, es incosteable para este fin, a pesar de su alto rendimiento y de las ventajas económicas que representa por su fácil transporte.

Habiendo seleccionado del mercado algunos materiales susceptibles a ser utilizados como envases de tablillas de chocolate con leche, se muestra a continuación un análisis económico de los mismos.

### 2.3 Análisis económico de los materiales seleccionados.

La importancia del análisis económico se debe a que el objetivo del presente estudio se relaciona con la selección de un material de envase apegado a la realidad económica mexicana, por lo que a continuación se describe brevemente dicho análisis para cada uno de los materiales de envase aquí estudiados.

2.3.1 Polipropileno. El pronóstico del crecimiento anual promedio de la demanda de esta resina durante el período de 1981-1985 fué de 20.2% (40). Esta cifra no fué posible alcanzarla debido a la fuerte crisis económica por la que atravesó el país en 1982. Durante el período de 1978-1983 el consumo nacional de polipropileno disminuyó en un 12%, debido a que sus precios dentro de éste período se incrementaron en un 900%.

El polipropileno biaxialmente orientado, por sus propiedades tiende a desplazar al celofán.

2.3.2 Celulosa regenerada. La celulosa regenerada, a pesar de obtenerse a través de un proceso químico muy distinto al utilizado en la producción de cualquier papel o cartón, tiene también como materia prima la pasta de celulosa.

Hasta 1981 existían sólo dos empresas productoras de celulosa regenerada ubicadas en Monterrey, N.L.

Durante el período de 1978-1983 disminuyó tanto el volúmen de producción como el consumo nacional aparente en un 15 y 14%, respectivamente debido a que sus precios se incrementaron en 570 % a partir de 1982, aunque desde este año existe en ambos una aparente recuperación (19).

Por otro lado se observa que el celofán ha perdido mercado frente al polipropileno biaxialmente orientado y por tanto su consumo tiende a disminuir. Sin embargo, se prevé que la celulosa regenerada no llegue a desaparecer, puesto que se han logrado nuevas aplicaciones a su combinación con otros materiales, como es el caso del material de envase utilizado en el presente estudio, pues se encuentra recubierto con polietileno de baja densidad, el cual mejora muchas de sus propiedades, por lo cual sus perspectivas son aceptables.

2.3.3 Polietileno de baja densidad. El etileno es un petroquímico elaborado para autoconsumo por Petróleos Mexicanos (PEMEX), quienes lo extraen del petróleo y producen a la vez polietileno de alta y de baja densidad, siendo también sus únicos distribuidores ( 19 ).

Durante el período de 1978-1983, el consumo nacional aparente del polietileno de baja densidad aumentó de 158,511 ton. a 267,127 ton, lo que representa un incremento de 168%.

No obstante, por la crisis nacional de 1982, sufrió una disminución de 6.8% con respecto al año anterior, pero a partir de este mismo año se observa una tendencia de aumento en su consumo. Durante este mismo período su índice de precios aumentó en 475%.

En 1983, el 70.6% del consumo nacional del polietileno de baja densidad fué destinado a la elaboración de películas delgadas, siendo empleada como material de empaque y bolsas ( 19 ). Entre los materiales de envase que se pueden conseguir en el mercado nacional y que tienen como recubrimiento al polietileno de baja densidad están el papel glassine y la celulosa regenerada.

2.3.4 Papel glassine. Es producido únicamente por la Compañía Papelera Maldonado con el nombre de "Glasinrey" con peso base de 30 a 60  $g/m^2$  y un intervalo de anchos útiles de 205 a 350 cm, con una capacidad anual de 89,500 ton/año para papeles especiales, dentro de los cuales en 1981, 4,896 ton correspondieron al papel glassine, cantidad suficiente para cubrir la demanda nacional y exportar, además de que posee la capacidad de cubrir la demanda futura (35,39).

De lo anterior se desprende que el presente estudio se apoya en el hecho de que los materiales de envase proporcionados están apegados a la realidad económica mexicana, pues existe una capacidad instalada que permite un incremento en la demanda de los mismos como resultado del paulatino desplazamiento del "foil" de aluminio.

### III. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.

#### 3.1 Justificación del Proyecto.

El presente estudio responde a la necesidad de abatir costos de producción en la industria chocolatera con el fin de favorecer la extensión de su mercado.

#### 3.2 Objetivo General.

El objetivo general del presente trabajo consistió en proporcionar a la industria chocolatera una alternativa de envase congruente a la realidad económica mexicana, con el fin de sustituir el tradicional "foil" de aluminio como envoltura primaria de sus productos, utilizando un método experimental para la adecuada selección del nuevo material, el cual debería reunir las características necesarias para dichos productos.

#### 3.3 Objetivos específicos de la primera etapa experimental.

En cuanto al material de envase, en esta primera etapa se pretendió:

3.3.1 Determinar las características físicas y químicas de los materiales de envase con el propósito de conocer sus propiedades intrínsecas relacionadas con su funcionalidad como material de envase.

3.3.2 Precisar condiciones de presión, temperatura y tiempo óptimos para el sellado térmico de los materiales de envase, ya que éste es necesario para envasar las tablillas de chocolate.

### 3.4 Objetivos específicos de la segunda etapa experimental.

En esta etapa se pretendió:

3.4.1 Observar tanto el comportamiento del material de envase como el de las tablillas de chocolate dentro de la relación producto-envase, a partir del almacenamiento de condiciones aceleradas, con el fin de conocer su aptitud de uso frente a las tablillas de chocolate con leche.

3.4.2 Observar la durabilidad y estado general de los materiales de envase.

### 3.5 Diseño experimental.

El diseño experimental del presente estudio se subdividió en dos etapas, el cual se representa esquemáticamente en la figura 3.1 .

a) La primera consistió en realizar pruebas de caracterización física y química de los materiales de envase proporcionados por los fabricantes de los mismos.

b) La segunda consistió en analizar el comportamiento de las tablillas de chocolate con leche envasadas en cada uno de los materiales analizados en la primera etapa, a través de distintos períodos de permanencia dentro de una cámara ambiental con las siguientes condiciones:

80% Humedad relativa

30°C Temperatura de bulbo seco

27°C Temperatura de bulbo húmedo

Las repercusiones de dicho almacenamiento se evaluaron en las tablillas por medio de la determinación del por ciento de humedad, índice de peróxidos, diferencia total del color e inspección superficial.

DISEÑO DE LA EXPERIMENTACION

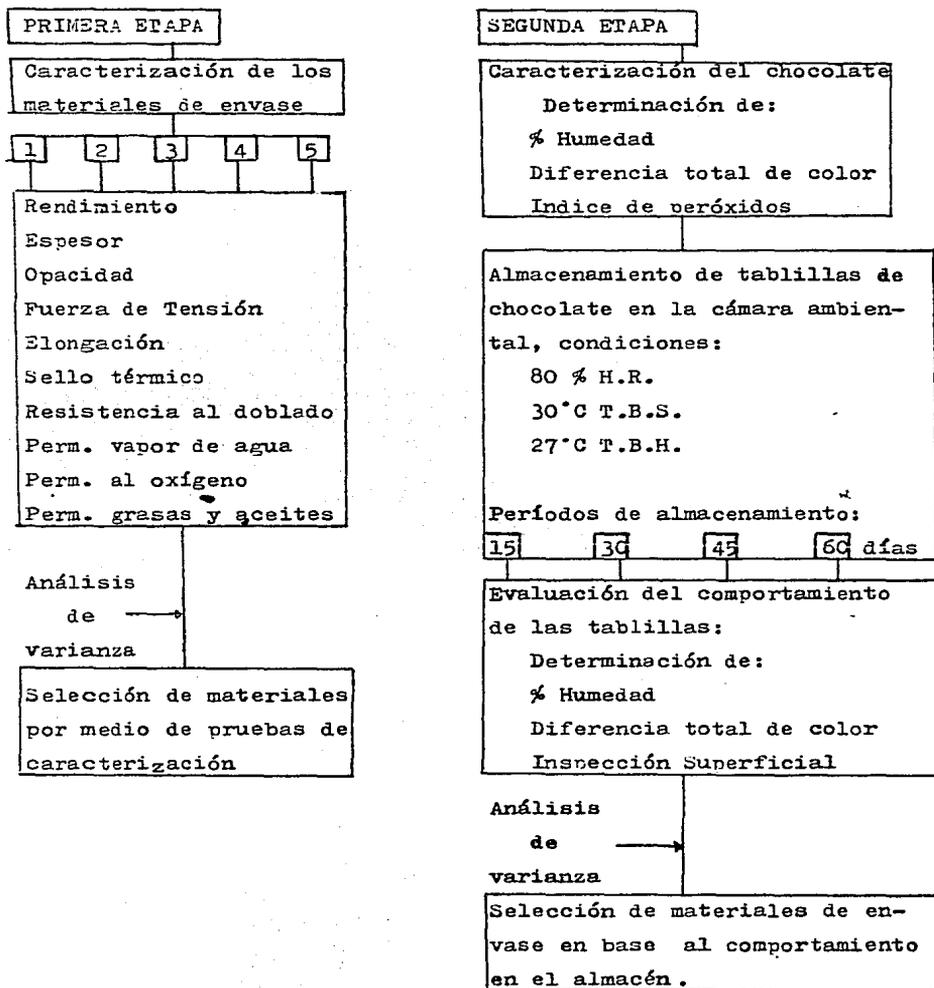


Figura 3.1 "Diagrama del Diseño Experimental"

### 3.6 Hipótesis.

3.6.1 La presencia del sello térmico influirá positivamente en la protección de la tablilla de chocolate contra la rancidez, formación de cristales de azúcar, decoloración, aumento de peso y crecimiento de microorganismos, por lo cual se supuso que cualquiera de los materiales en estudio sería capaz de ofrecer una mayor protección al producto que el "foil" de aluminio.

3.6.2 Debido a las condiciones de temperatura dentro de la cámara ( 30°C ) y su larga permanencia dentro de la misma, se espera la aparición de cristales de grasa en todas las tablillas.

3.6.3 La rancidez de las tablillas envasadas con los cuatro materiales diferentes al "foil", dependerá del grado de permeabilidad al oxígeno que tenga dicho material.

3.6.4 El aumento de peso, debido a la absorción de humedad, será proporcional al grado de permeabilidad al vapor de agua que tenga el material correspondiente.

3.6.5 El cambio en la intensidad del color en la superficie de las tablillas variará de acuerdo a la permeabilidad al vapor de agua del material.

### 3.7 Metodología de la primera etapa experimental.

La metodología de esta etapa consistió en conseguir los materiales de envase y las tablillas de chocolate con leche y en la selección de pruebas de caracterización física y química para dichos materiales.

#### 3.7.1 Obtención de materiales utilizados.

Habiendo seleccionado primeramente, a través de investigación bibliográfica (10, 24, 29, 42 y 43 ) los materiales adecuados para las tablillas de chocolate con leche, los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial ( LANFI ) solicitaron a los fabricantes dicha selección que consistió en :

- papel glassine
- polietileno de baja densidad
- polipropileno
- celulosa regenerada

la cual debería cumplir con los requisitos expuestos en las secciones 2.1.2 y 2.1.3 ( pp. 25,26 y 27 ) y con un espesor de 0.05 mm para evitar variaciones durante la experimentación causadas por diferencias en esta dimensión.

No todos los materiales solicitados se fabrican en México como laminaciones sencillas, por lo que los fabricantes nos proporcionaron los siguientes:

Laminaciones sencillas:

1. Polipropileno uniaxialmente orientado ( OPP ), sin impresión. Fabricada por "Celanese Mexicana".

2. Polipropileno biaxialmente orientado ( BOPP ), totalmente impresa. Fabricada por "Celanese Mexicana".

Recubrimientos:

3. Celulosa regenerada recubierta por una cara con polietileno de baja densidad, totalmente impresa. Fabricada por "CYDSA", con el nombre comercial de polifán.

4. Papel glassine recubierto con polietileno de baja densidad por ambas caras, totalmente impreso. Fabricado por "Grafo-Regia S.A." .

Material testigo:

5. Lámina o "foil" de aluminio, sin imprimir. Proporcionado directamente por los fabricantes de las tablillas de chocolate, siendo éste el material de envase tradicional. Los proveedores de este material para los fabricantes de las tablillas de chocolate son "Alcan Aluminio" y "Reynolds Aluminio". Este material por ser el testigo no fue solicitado con los requisitos de los cuatro materiales arriba mencionados.

En relación a la obtención de las tablillas de chocolate con leche, se obtuvieron por parte de los fabricantes, 75 tablillas de chocolate con leche de 23 g . Dichas tablillas fueron tomadas del mismo lote de fabricación, con el fin de trabajar con tablillas homogéneas en composición y condiciones de operación durante su elaboración para eliminar variables adicionales a la experimentación.

A continuación se mencionan las pruebas realizadas a los materiales de envase.

### 3.7.2 Caracterización física y química de los materiales de envase.

Para la caracterización física y química de los materiales de envase se realizaron diez pruebas sugeridas por la Sociedad Americana de Pruebas para Materiales, American Society for Testing Materials, ASTM, ya que en México no existen especificaciones por parte de la Dirección General de Normas para los materiales analizados en el presente estudio. En México sólo existen algunas normas oficiales como son la EE23-1983 y la EE50 de la Dirección General de Normas que se refieren a la celulosa regenerada y al papel glassine, respectivamente, en otras condiciones de recubrimiento y mencionan sólo algunas pruebas como permeabilidad al oxígeno y vapor de agua, así como de resistencia mecánica, por lo que sólo sirvieron para el presente estudio como una guía.

Las pruebas de caracterización se realizaron diez veces cada una, tratando de aprovechar al máximo el material proporcionado. De los datos obtenidos se hizo un análisis de varianza, además de calcular su coeficiente de variación.

Las pruebas realizadas a los materiales y la referencia de las técnicas empleadas se muestran en la tabla 3.1. Las técnicas de estas pruebas se muestran con amplitud en el Apéndice I.

PRUEBA	REFERENCIA/ METODO
Espesor	ASTM D2673-69; D374-69, reap. en 1975
Rendimiento	ASTM D2673-69, reprobado en 1975
Opacidad	ASTM D589-65, reprobado en 1970
Fuerza de tensión y elongación	ASTM D882-79
Resistencia al doblado	ASTM D2176-69, reprobado en 1974
Permeabilidad al vapor de agua	ASTM F372
Permeabilidad al oxígeno	OX-TRAN 100 ( 33 )
Permeabilidad a grasas	ASTM F119-76
Sellabilidad térmica	IANFI

Tabla 3.1 "Pruebas de caracterización de materiales de envase".

Los resultados de las pruebas de la primera etapa experimental se encuentran en las tablas 4.1.a, 4.1.b y 4.1.c ( pp. 49,54 y 55 respectivamente).

### 3.8 Metodología de la segunda etapa experimental.

En la segunda etapa experimental se evaluó la aptitud de uso de los diferentes materiales en forma indirecta a través de pruebas de control de calidad realizadas a las tablillas envasadas con los mismos. Estas pruebas fueron sugeridas por el fabricante de las tablillas de chocolate y consisten en analizar tanto la rancidez oxidativa de las tablillas, así como su absorción de humedad, cambio de color como consecuencia de la influencia de un conjunto de condiciones de almacenamiento y por último, la inspección superficial, pues son los parámetros que permiten observar si la tablilla reúne las características mínimas de calidad. En la tabla 3.2 se muestran dichas pruebas, las cuales se realizaron por triplicado, tratando de aprovechar al máximo las tablillas proporcionadas.

PRUEBA	METODO / EQUIPO
% de Humedad	Balanza Tempu- tracc
% de Ganancia en peso	Balanza granataria
Inspección superficial	Microscopio estereoscópico
Medición directa del color	Equipo "Hunter-Lab" mod. A 25-9
Índice de peróxidos	Método AOAC 28.022, 28.023

Tabla 3.2 " Pruebas para la determinación de la aptitud de uso de los distintos materiales de envase ".

Las técnicas de la tabla 3.2 se encuentran en forma detallada en el Apéndice II.

Para observar la absorción de humedad del medio a través de

los diferentes materiales de envase se realizaron dos determinaciones: una directa, realizada mediante la determinación del por ciento de humedad de las tablillas utilizando una balanza computarizada marca Tempu-tracc; otra, indirecta realizada mediante la determinación del peso neto inicial y final en cada una de las tablillas con el fin de calcular el por ciento de ganancia en peso.

La determinación de humedad hubo de realizarse por estos métodos por no contar con otro equipo disponible.

Para realizar las pruebas de aptitud de uso mencionadas en la tabla 3.2 , se separaron las tablillas proporcionadas por el fabricante, en cinco lotes de 15 tablillas cada uno.

Un primer lote fue separado y analizado como punto inicial con el fin de determinar valores promedio de peso Neto, por ciento de humedad e Índice de peróxidos. Este primer lote no entró a la cámara ambiental.

Los cuatro lotes restantes se dividieron en cinco sub-lotes de tres tablillas cada uno. Cada sub-lote se envasó con cada uno de los cinco materiales de envase de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de sellabilidad térmica. Con el fin de contrastar la aptitud de uso de los cuatro materiales en estudio fue necesario envasar las tablillas herméticamente con un sellado térmico, pues aunque los fabricantes de las tablillas utilizarían al material seleccionado sin este sello en la operación de envasado, se consideró que sellándolas sería la única manera de compararlos con mayor objetividad.

Los cuatro lotes de tablillas ya envasadas representan cada uno, un período de permanencia dentro de la cámara ambiental ( 15, 30, 45 o 60 días).

La figura 3.2 muestra la distribución de los cuatro lotes que se introdujeron a la cámara ambiental la cual permaneció

a las condiciones establecidas en la sección 3.5 ( pp.38 )  
y que son :

30°C = Temperatura de bulbo seco  
27°C = Temperatura de bulbo húmedo  
80% = Humedad relativa

Material Período	OPP	BOPP	Celulosa reg/PE	PE/Glassi ne/PE	Foil Al	Subtotal tablillas
I	3	3	3	3	3	15
II	3	3	3	3	3	15
III	3	3	3	3	3	15
IV	3	3	3	3	3	15

Total de tablillas envueltas e in = 60  
troducidas a la cámara ambiental.

Figura 3.2 "Distribución de tablillas de chocolate según su  
período de permanencia y tipo de material de envase.

Cada 15 días, se sacó de la cámara ambiental un lote de 15  
tablillas constituido por:

- 3 tablillas envasadas con OPP
- 3 tablillas envasadas con BOPP
- 3 tablillas envasadas con celulosa regenerada/PE
- 3 tablillas envasadas con PE/ papel glassine/PE
- 3 tablillas envasadas con "foil" de aluminio

Posteriormente, se procedió a realizar a cada uno de estos  
sub-lotes, las pruebas de aptitud de uso según la organiza  
ción de la figura 3.3 .

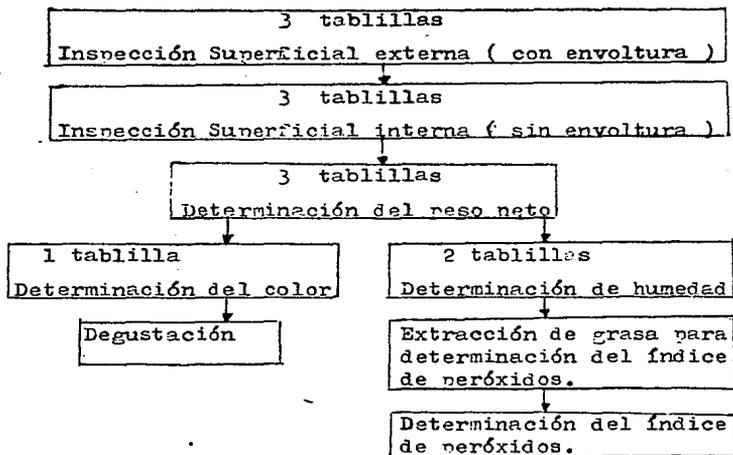


Figura 3.3 "Diagrama de flujo de la organización y distribución de las tablillas para realizar las pruebas de aptitud de uso de los materiales de envase.

En base a que los resultados de las pruebas de aptitud de uso siguen un comportamiento que depende de las características del material utilizado como envase según el nivel de protección que brinden al producto, se obtuvieron gráficas que permiten analizar con mayor facilidad dicho comportamiento.

### 3.9 Interpretación estadística de resultados.

Una vez obtenidos los resultados, se realizó un análisis de varianza con el fin de interpretarlos estadísticamente.

Para el caso de la primera etapa experimental este análisis fue calculado para todas las pruebas de caracterización de materiales a excepción de la sellabilidad térmica y permeabilidad a grasas, ya que los resultados en estas pruebas

no son cuantitativos. En esta primera etapa el análisis se realizó para un criterio de clasificación, pues cada una de las pruebas se efectuó a cada uno de los cinco materiales de envase estudiados.

Posteriormente, se evaluó el contraste de las medias por el método de Tukey, el cual, a la vez que es un método de los más rigurosos, es uno de los más sencillos de realizar ( 54 ). Para la segunda etapa experimental se analizó la diferencia total de color, índice de peróxidos y humedad total de acuerdo al apéndice II ( pp. 103 ), con motivos de caracterización de materia prima ( proporcionada de un solo lote de fabricación), así como determinación del comportamiento de las tablillas durante el almacenamiento, aplicando a los resultados un análisis de varianza bifactorial para las dos primeras pruebas y trifactorial para la humedad, considerando como tratamientos a los cinco materiales de envase, el tiempo de almacenamiento como variable independiente y para el caso de humedad, dos métodos diferentes de determinación; efectuando para la selección del material de envase más adecuado el análisis de diferencias significativas por contraste entre resultados.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.

En el presente capítulo se muestran los resultados experimentales, su análisis estadístico, así como los criterios de selección que permitieron concluir finalmente sobre un orden prioritario de la aptitud de uso de los materiales de envase.

4.1 Resultados de la primera etapa experimental y su análisis estadístico.

En la tabla 4.1.a se muestran las medias de los resultados del rendimiento, espesor, opacidad, fuerza de tensión, elongación y sello térmico de los materiales de envase estudiados.

Material	Rendimiento, m <sup>2</sup> /kg	Espesor mm	Opacidad %	F. de Tensión, psi	Elongación, %	Sello térmico
1	18.2	0.043	E 65.3	M 4.5	M 1.6	(+) .
			I 78.1	T 2.1	T 4.6	
2	15.8	0.030	E 54.5	M 4.4	M 12.1	(+) .
			I 77.1	T 2.5	T 38.0	
3	34.5	0.032	E 2.0	M 4.5	M 162.8	(+) .
			I 2.0	T 6.0	T 27.0	
4	23.5	0.040	E 61.4	M 3.9	M 145.2	(+) .
			I 80.0	T 8.7	T 30.7	
5	32.2	0.012	E 86.9	M 0.8	M 1.5	(-) .
			I 93.7	T 0.8	T 1.6	

1. Papel Glassine/ PEBD
2. Celulosa regenerada/ PEBD
3. Polipropileno Uniaxialmente orientado
4. Polipropileno Biaxialmente orientado
5. Foil de Aluminio

- E = Lado Externo  
 I = Lado Interno  
 M = Dirección Máquina  
 T = Dirección Transversal

Tabla 4.1.a Pruebas de caracterización de materiales de envase.

Habiendo realizado los cálculos de contrastación de medias posteriores al análisis de varianza, utilizando el método de Tukey ( 54 ), se observó que en las pruebas mencionadas en la tabla 4.1.a de la página anterior, no hubo diferencias significativas en los siguientes materiales, lo cual se sintetiza a continuación en la figura 4.1 :

Rendimiento	$X_5 > X_3 > X_4 > \underline{X_1} > X_2$
Esnesor	$\underline{X_1} > X_4 > X_3 > X_2 > X_5$
Opacidad E	$X_5 > \underline{X_1} > \underline{X_4} > X_2 > X_3$
Opacidad I	$X_5 > X_4 > \underline{X_1} > X_2 > X_3$
F. de Tensión M	$\underline{X_1} = X_3 > X_2 > X_4 > X_5$
F. de Tensión T	$\underline{X_4} > X_3 > X_2 > X_1 > X_5$
Elongación M	$X_3 > X_4 > X_2 > \underline{X_1} > X_5$
Elongación T	$X_2 > \underline{X_4} > X_3 > \underline{X_1} > X_5$

Figura 4.1 "Arreglo de los valores de las medias de mayor a menor, correspondientes a la tabla 4.1.a".

Los valores subrayados no presentaron diferencias significativas entre ellos.

Analizando la tabla 4.1.a y la figura 4.1, se observa que el mayor valor medio obtenido para el rendimiento corresponden de al "foil" de aluminio ( 38.2 m<sup>2</sup>/kg ), seguido por el poli propileno uniaxialmente orientado ( 34.5 m<sup>2</sup>/kg ), siendo el material de envase de menor rendimiento, la celulosa regenerada (15.8 m<sup>2</sup>/kg), mientras que estadísticamente, no hubo dife

rencias significativas para el papel glassine y la celulosa regenerada.

Cabe mencionar que existe una economía en los materiales proporcionados a pesar de su menor rendimiento en relación al "foil" de aluminio, pues este fue un requisito solicitado a los fabricantes.

En la prueba del espesor se observó que el valor más pequeño correspondió al "foil" de aluminio ( 0.012 mm ), seguido por el de la celulosa regenerada ( 0.03 mm ). Se observa que todos los materiales estudiados son aproximadamente de 3 a 4 veces más gruesos que el "foil" de aluminio. Como se observa en la figura 4.1, estadísticamente, no existen diferencias significativas entre las medias del espesor del papel glassine/PEBD y el polipropileno biaxialmente orientado, ( 0.043 y 0.040 mm, respectivamente ).

Por otro lado, las mejores características de opacidad evaluada por el lado externo de los materiales, las presentó el "foil" de aluminio ( 86.9 % ), seguido por el papel glassine ( 65.3% ) y el polipropileno biaxialmente orientado ( 61.4 % ). Estos dos últimos no presentaron diferencia significativa entre sus medias, mientras que la celulosa regenerada ( 54.5 % ) no presentó diferencia con respecto al valor medio del polipropileno biaxialmente orientado. El polipropileno uniaxialmente orientado presentó una opacidad mínima de ( 2.0 % ) por no estar impreso y ser totalmente transparente.

En cuanto a la opacidad medida por el lado interno, el "foil" de aluminio presentó, nuevamente, el valor más alto ( 93.7 % ), seguido por el polipropileno biaxialmente orientado ( 80.0 % ) y el papel glassine ( 78.1 % ). Como en la prueba de opacidad externa, estos dos últimos materiales tampoco presentaron diferencias significativas entre sus valores medios.

Posteriormente, la celulosa regenerada presentó una opacidad

interna de 77.1% y el polipropileno uniaxialmente orientado presentó nuevamente, el menor valor ( 2.0 % ), el cual es igual al de la cara externa, debido a su transparencia. En esta prueba, tanto el polipropileno biaxialmente orientado como el papel glassine y la celulosa regenerada, no presentaron diferencias significativas entre sus medias. Debido al manejo que tienen los materiales durante la operación de envasado, es recomendable que su fuerza de tensión sea lo suficientemente grande ( 2-3 psi ) como para resistir las tensiones de la máquina ( 6 ). En relación a la fuerza de tensión en dirección a la máquina, el "foil" de aluminio tiene la desventaja de haber presentado el valor más bajo de todos los materiales estudiados ( 0.8 psi ), mientras que los valores más altos los presentaron el polipropileno uniaxialmente orientado ( 4.5 psi ), el papel glassine ( 4.5 psi ), seguidos por la celulosa regenerada ( 4.4 psi ) y el polipropileno biaxialmente orientado ( 3.9 psi ).

Estadísticamente, ninguno de los materiales estudiados, con excepción del "foil" de aluminio, presentó diferencias significativas entre sus valores medios.

En relación a la dirección transversal, la mayor fuerza de tensión correspondió al polipropileno biaxialmente orientado ( 3.7 psi ) y el polipropileno uniaxialmente orientado ( 6.0 psi ), los cuales no tuvieron diferencias significativas, así como la celulosa regenerada ( 2.5 psi ) y el papel glassine ( 2.1 psi ). Nuevamente, el menor valor lo presentó el "foil" de aluminio ( 0.8 psi ).

De los materiales propuestos, el que presenta un mejor equilibrio de ambos valores es el polipropileno uniaxialmente orientado.

Para la prueba de elongación en dirección de la máquina, los materiales presentaron de mayor a menor los siguientes valores:

polipropileno uniaxialmente orientado ( 162.8 % ), polipropileno biaxialmente orientado ( 145.2 % ), celulosa regenerada ( 12.1 % ), papel glassine ( 1.6 % ) y "foil" de aluminio, de los cuales, los dos últimos no tuvieron diferencias significativas.

En dirección transversal, el mayor valor de elongación lo presentó la celulosa regenerada ( 38.0 % ), la cual no tuvo diferencias significativas con el polipropileno biaxialmente orientado ( 30.7 % ). Este último, a su vez, no presentó diferencias con respecto al valor medio del polipropileno uniaxialmente orientado ( 27.0 % ). Por otro lado, el papel glassine ( 4.6 % ) y el "foil" de aluminio ( 1.6 % ) presentaron los valores más pequeños sin presentar diferencias significativas entre sus medias.

En la tabla 4.1.a se observa que todos los materiales estudiados presentaron un sello térmico positivo, en las condiciones de tiempo y temperatura mostradas en la tabla 4.1.b, a excepción del "foil" de aluminio, que por ser un metal y no estar recubierto con un polímero, no tiene la capacidad de sellarse térmicamente.

El propósito de la prueba de sellado térmico ( Apéndice I ) fue encontrar a presión constante de 2.86 atm ( 42 psig ) ciertas condiciones de tiempo y temperatura, con las cuales se lograra un sello térmico efectivo, es decir, positivo, lo que significa que el material, sin llegar a dañarse, conforma un sellado resistente.

Las condiciones de tiempo y temperatura adecuadas para el sello térmico de cada uno de los materiales estudiados muestran, en la tabla 4.1.b, que el papel glassine recubierto con PEBD requiere una menor temperatura en relación a los dos polipropilenos, siendo el tiempo para los tres casos, igual a 2.0 segundos. El recubrimiento de celulosa regenerada con PEBD

requiere de mayor temperatura, aunque un menor tiempo ( 1.0 seg ).

MATERIAL	TEMPERATURA		TIEMPO seg.
	°C	°F	
PEBD/papel glassine/PEBD	88	190	2.0
Polipropileno ( OPP )	104	220	2.0
Polipropileno ( BOPP )	104	220	2.0
Celulosa regenerada/PEBD	171	340	1.0

Tabla 4.1.b " Temperaturas y tiempos óptimos para el sellado térmico positivo de los materiales propuestos".

Con los datos de la tabla 4.1.b es imposible determinar cual de los materiales estudiados consume más energía para la operación de sellado, por lo que se propone realizar un estudio sobre la relación de la energía consumida con respecto al tiempo y temperatura, con el fin de encontrar cual de ellos representa una mayor economía durante esta operación.

En la tabla 4.1.c se muestran los resultados de la resistencia al doblado, la permeabilidad al vapor de agua, la permeabilidad al oxígeno y la permeabilidad a grasas y aceites.

En la figura 4.2 se muestran de manera esquemática los valores de las medias correspondientes a la tabla 4.1.c, arregladas de mayor a menor, subrayando los valores donde estadísticamente no hubo diferencias significativas.

Con respecto a la resistencia al doblado con dirección a la máquina, el polipropileno uniaxialmente orientado y el polipropileno biaxialmente orientado presentaron un valor mayor a 1800 sin llegar a quebrarse, por lo que se les considera materiales altamente resistentes al doblado, lo cual se explica por su naturaleza plástica. A estos materiales le sigue-

Material	Resistencia al doblado. No. de dobleces	Permeabilidad al vapor de agua. g/m <sup>2</sup> /dfa	Permeabilidad al oxígeno. cc/m <sup>2</sup> /dfa	Permeabilidad a grasas y aceites. hrs
1	M 194.4 T 259.1	E 6.0 I 4.5	E 83.3	mayor de 24
2	M 1340.6 T 256.9	E 4.5 I 3.4	E 2382.3 I 1800.0	mayor de 24
3	M > 1800 T > 1800	3.2	393.1	mayor de 24
4	M > 1800 T > 1800	0.9	1195.1	mayor de 24
5	M 13.8 T 13.7	0.6	1317.0	mayor de 24

- |  |                     |
|--|---------------------|
| 1. Papel glassine                        | E = Lado externo    |
| 2. Celulosa regenerada                   | I = Lado interno    |
| 3. Polipropileno uniaxialmente orientado | M = Direcc. Mác.    |
| 4. Polipropileno biaxialmente orientado  | T = Direcc. Transv. |
| 5. Foil de aluminio                      |                     |

Tabla 4.1.c. "Pruebas de caracterización de materiales (continuación)".

Resistencia al Doblado M	<u>X<sub>3</sub></u> > <u>X<sub>4</sub></u> > <u>X<sub>2</sub></u> > <u>X<sub>1</sub></u> > <u>X<sub>5</sub></u>
Resistencia al Doblado T	<u>X<sub>3</sub></u> > <u>X<sub>4</sub></u> > <u>X<sub>1</sub></u> > <u>X<sub>2</sub></u> > <u>X<sub>5</sub></u>
Perm. vapor de agua E	<u>X<sub>1</sub></u> > <u>X<sub>2</sub></u> > <u>X<sub>3</sub></u> > <u>X<sub>4</sub></u> > <u>X<sub>5</sub></u>
Perm. vapor de agua I	<u>X<sub>1</sub></u> > <u>X<sub>2</sub></u> *
Perm. al oxígeno E	<u>X<sub>2</sub></u> > <u>X<sub>5</sub></u> > <u>X<sub>4</sub></u> > <u>X<sub>3</sub></u> > <u>X<sub>1</sub></u>
Perm. al oxígeno I	<u>X<sub>2</sub></u> *

Figura.4.2 "Arreglo de los valores de las medias de mayor a menor, correspondientes a la tabla 4.1.c". Los valores subrayados no presentaron diferencias significativas entre ellos.

\* Unicas determinaciones.

ron la celulosa regenerada ( 1340.6 ), el papel glassine ( 194.4 ) y finalmente, el "foil" de aluminio con un valor de 13.8 dobleces.

Como ambos polipropilenos rebasaron los 1800 dobleces, y aunque no se llegó a una lectura definida, este fue el valor que se tomó para hacer los cálculos estadísticos. Consideramos, por lo tanto, iguales los valores de las medias de estos materiales, sin tener realmente un criterio para decidir cual de los dos tiene una resistencia mayor, el cual ya no es importante, pues al soportar más de 1800 dobleces, es prácticamente imposible tener problemas de ruptura por doblado durante la operación de envasado realizado en fábrica.

A excepción de estos dos materiales considerados bajo la condición arriba mencionada, estadísticamente se encontró que todos los demás sí tienen diferencias significativas.

Para la prueba de resistencia al doblado con dirección transversal, se observa nuevamente en la tabla 4.1.c que ambos polipropilenos sobrepasaron los 1800 dobleces. En la figura 4.2 se observa que estadísticamente no hubo diferencia significativa entre ellos y entre la celulosa regenerada ( 256.9 ) y el papel glassine ( 259.1 ).

El valor más bajo lo obtuvo, una vez más, el "foil" de aluminio ( 13.7 ), el cual es muy semejante a la determinación en dirección de la máquina debido a la estructura homogénea del "foil" de aluminio ( 43 ).

En la prueba de permeabilidad al vapor de agua realizada por el lado externo de los materiales se observa en la tabla 4.1.c que el mayor valor lo obtuvo el papel glassine ( 6.0 g/m<sup>2</sup>/día) el cual no tuvo diferencias significativas con la celulosa regenerada ( 4.5 g/m<sup>2</sup>/día ). Esta última a su vez, no presentó diferencias con respecto a la media del polipropileno

(  $3.2 \text{ g/m}^2/\text{día}$  ). Siguieron el polipropileno biaxialmente orientado (  $0.9 \text{ g/m}^2/\text{día}$  ) y el "foil" de aluminio (  $0.6 \text{ g/m}^2/\text{día}$  ), entre los cuales no hubo estadísticamente diferencias como se observa en la figura 4.2 ( pp. 55 ).

Para los dos materiales con recubrimiento de PEBD ( papel glassine y celulosa regenerada ) se realizó la permeabilidad al vapor de agua y al oxígeno por el lado interno con el único fin de presentar la caracterización de estos materiales, pues en la práctica el valor que más interesa es el del lado externo, por el cual se realiza el paso del vapor de agua y oxígeno al interior del envase.

El valor mayor de permeabilidad de vapor por el lado interno lo presentó el papel glassine (  $4.5 \text{ g/m}^2/\text{día}$  ) y el menor la celulosa regenerada con  $3.4 \text{ g/m}^2/\text{día}$ , entre los cuales sí hay estadísticamente diferencias significativas.

El mayor valor para la prueba de permeabilidad al oxígeno realizada por el lado externo de los materiales correspondió a la celulosa regenerada (  $2382.3 \text{ cc/m}^2/\text{día}$  ) seguida por el "foil" de aluminio (  $1317.0 \text{ cc/m}^2/\text{día}$  ) y el polipropileno biaxialmente orientado (  $1195.1 \text{ cc/m}^2/\text{día}$  ). Estos dos últimos no presentaron diferencias significativas entre sus medias.

Finalmente, el polipropileno uniaxialmente orientado presentó  $392.1 \text{ cc/m}^2/\text{día}$  y el papel glassine con  $83.3 \text{ cc/m}^2/\text{día}$ . No se reporta el dato de la permeabilidad al oxígeno por el lado interno del papel glassine por causas que estuvieron fuera de nuestro alcance, por lo que el único valor reportado para esta prueba fue el de la celulosa regenerada (  $1800.0 \text{ cc/m}^2/\text{día}$  ).

Para cualquiera de los cinco materiales estudiados, el tiempo que permanecieron inalterados mediante la prueba de permeabilidad a grasas y aceites fue siempre mayor a 24 hrs, como se observa en la tabla 4.1.c ( pp.55 ).

#### 4.2 Resultados de la segunda etapa experimental y su análisis estadístico.

La segunda etapa experimental consistió en evaluar la aptitud de uso de los materiales de envase a través de la determinación del por ciento de la ganancia en peso de las tablillas, el índice de peróxidos y la inspección superficial. En la tabla 4.2 se muestran los resultados de todas estas pruebas, con excepción de los de la inspección superficial. Las tres primeras columnas de esta tabla se refieren a la determinación directa ( primera columna ) e indirecta ( segunda y tercera columnas ) de la absorción de humedad en las tablillas ( cfr. sección 3.8, pp. 44-45 ) .

Con los resultados de la determinación del por ciento de humedad ( evaluación directa ) de la tabla 4.2 se obtuvo la figura 4.3 , en la cual se observa que las tablillas envueltas con el polipropileno biaxialmente orientado, son las que captaron menor humedad, seguidas por las tablillas envueltas por el polipropileno uniaxialmente orientado, la celulosa regenerada, "foil" de aluminio y, finalmente, las que más absorbieron son las correspondientes al papel glassine.

En la figura 4.3 también se muestran las ecuaciones obtenidas por medio de la regresión lineal correspondientes a cada una de las rectas, así como el coeficiente de correlación, el cual es alto para la celulosa regenerada ( 0.974 ) y para el polipropileno biaxialmente orientado ( 0.991 ) .

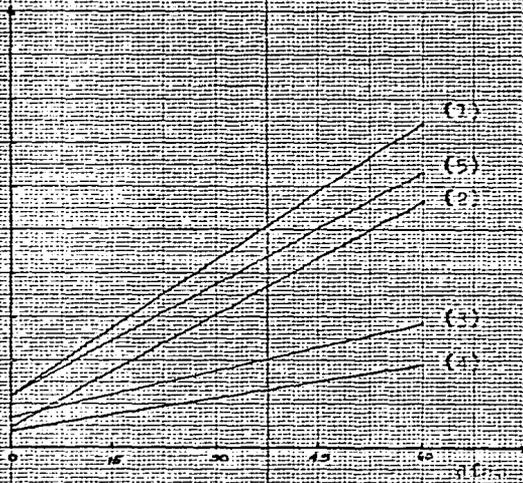
Con los resultados del Peso Neto de la tabla 4.2 se calculó la columna del por ciento de ganancia en peso de las tablillas y, a la vez, se obtuvo la gráfica de la figura 4.4 en la cual se observa que el aumento en el peso neto de las tablillas a lo largo de los cuatro períodos de almacenamiento, tuvo un comportamiento prácticamente lineal en todos los casos,

Material	Período	Humedad %	Peso N. g	Ganancia en peso%	Color	I.P. mg/g
	Inicial	0.4	22.9	0	0	0.3
1	I	2.4	23.8	3.4	6.4	1.0
	II	6.5	24.5	6.7	14.7	2.2
	III	5.8	24.9	8.4	7.9	2.6
	IV	6.5	25.6	11.4	2.1	3.1
2	I	1.9	23.3	1.2	6.6	2.8
	II	2.6	23.6	2.7	14.6	3.0
	III	5.1	23.9	4.0	11.3	4.0
	IV	5.3	24.5	6.5	10.9	3.7
3	I	1.0	23.0	0.7	10.4	1.6
	II	2.9	23.1	0.7	15.0	1.3
	III	1.7	23.4	1.6	19.0	2.1
	IV	2.8	23.7	2.9	14.3	2.6
4	I	0.5	23.0	0.2	10.8	1.3
	II	1.2	23.1	0.5	16.1	1.4
	III	1.5	23.3	1.3	19.2	3.0
	IV	1.9	23.3	1.6	17.4	3.4
5	I	1.5	23.5	2.1	5.4	1.4
	II	6.0	24.7	7.6	9.4	1.6
	III	6.4	24.8	8.1	9.2	3.7
	IV	4.4	25.5	10.9	4.2	3.1

\* Valor estimado por medio de la lectura correspondiente al cuarto período del polipropileno uniaxialmente orientado de la figura 4.8, pp. 66 )

Tabla 4.2 "Pruebas de aptitud de uso de los cinco materiales de envase estudiados".

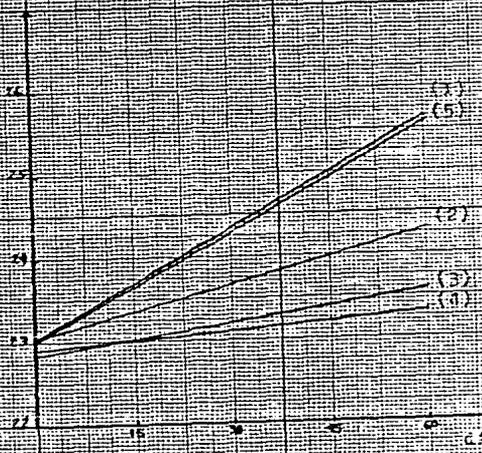
Fig. 2.3



1) Fertilizante	Y	$0.104 X + 1.234$	$r = 0.891$
2) Pesticidas	Y	$0.097 X + 0.450$	$r = 0.972$
3) Fertilizante (A.P.F.)	Y	$0.037 X + 0.659$	$r = 0.793$
4) Fertilizante (P.O.P.)	Y	$0.026 X + 0.317$	$r = 0.801$
5) Fertilizante	Y	$0.036 X + 1.160$	$r = 0.760$

Figura 2.3 " Gráfico de regresión de la producción de trigo con respecto a la determinación del porcentaje de humedad por temperatura (datos ficticios)".  
 ( Los datos se tomaron de la página 59 de "Análisis de datos estadísticos", de E. J. M. 59 ).

Talla  
Talla  
(2)



- 1) Talla al inicio  $y = 0,013 x + 21,04$   $r = 0,909$
- 2) Talla al nacimiento  $y = 0,011 x + 23,04$   $r = 0,457$
- 3) Talla madura (C.F.)  $y = 0,017 x + 22,89$   $r = 0,467$
- 4) Talla madura (C.F.)  $y = 0,009 x + 22,60$   $r = 0,372$
- 5) Talla al inicio  $y = 0,013 x + 25,53$   $r = 0,374$

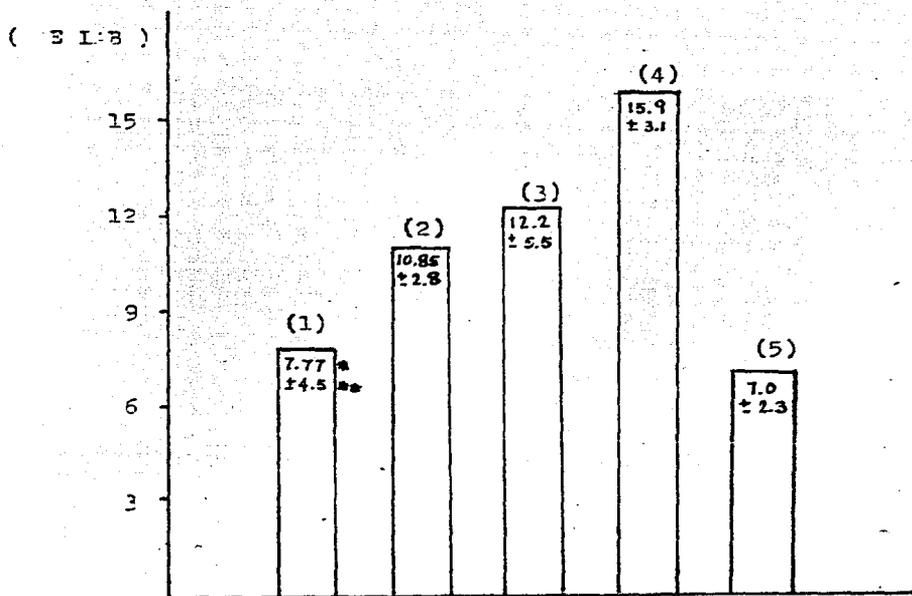
Gráfico de crecimiento en el peso de los individuos de las  
diferentes edades en las diferentes etapas de  
envejecimiento.

lo cual se refleja por los valores, tan cercanos a la undad, que tomaron los coeficientes de correlación. (  $0.957 < r < 0.992$  ).

Es preciso hacer notar la gran semejanza que existe entre los resultados de ambos métodos utilizados para evaluar la absorción de humedad por las tablillas, pues la figura 4.4 ( pp. 61 ) corrobora el mismo orden de absorción evaluado con el método directo por termobalanza ( figura 4.3; pp. 60 ).

Se observó que, estadísticamente, por el método indirecto no se encontró diferencia significativa entre el papel glassine y el foil de aluminio. ( El método estadístico seguido es el de contrastes ortogonales ).

En cuanto a los valores de la diferencia total de color de la tabla 4.2 ( pp. 59 ), en todos los casos se observa, al principio, un incremento de la diferencia total de color, pero, al final, una disminución. No conocemos la razón de este comportamiento, pero en la sección de recomendaciones ( 5.2.2 , pp. 89 ), proponemos un experimento contrastador que podría ayudar a conocerlo. Pero para observar más claramente qué material influyó en mayor grado en la diferencia total del color de las tablillas en una forma global, se realizó el diagrama de bloques de la figura 4.5, en el cual se observa que el material que influyó mayormente en el cambio del color de las tablillas fue el polipropileno biaxialmente orientado, mientras que el material que influyó menos fue el "foil" de aluminio, el cual presentó un valor muy semejante al del papel glassine, lo cual se corroboró estadísticamente por medio de una tabla de contrastes ortogonales, en donde finalmente, no se observaron diferencias significativas entre ellos.



1. Panel glassine

2. Celulosa regenerada

3. Polipropileno ( OPP )

4. Polipropileno ( BOPP )

5. "Foil" de aluminio

• Media

•• Desviación estándar

Figura 4.5 "Diferencia total de color".

En relación al índice de peróxidos se observó que ninguno de los materiales permitió que en las tablillas se obtuviera un valor de rancidez mayor al máximo permitido ( 5 meq/kg, (38) ), lo cual puede confrontarse con la tabla 4.2 ( pp. 59 ). Con esta misma tabla, con la columna de índice de peróxidos, se obtuvieron las figuras 4.6 y 4.7. En la primera se observa el comportamiento de los cinco diferentes envases con respecto al grado de enranciamiento ocasionado en las tablillas a través del tiempo. Es preciso aclarar que el envase que permitió un menor enranciamiento es el polipropileno uniaxialmente orientado, sin embargo, el material que permitió una mayor oxidación en las grasas fue la celulosa regenerada.

Las figuras 4.6 y 4.8 se obtuvieron a partir de los mismos resultados del índice de peróxidos de la tabla 4.2 ( pp. 59 ), con la diferencia de que esta última se estimó mediante la regresión lineal de los datos.

En la figura 4.8 ( pp. 66 ) se observa más claramente el comportamiento general de cada uno de los materiales de envase. Esta gráfica corrobora que la celulosa regenerada es el material que permitió una mayor oxidación, mientras que el polipropileno uniaxialmente orientado fue el que obtuvo el menor valor.

El "foil" de aluminio, el papel glassine y el polipropileno biaxialmente orientado presentaron rectas paralelas, muy cercanas entre sí y el análisis estadístico de contrastes ortogonales mostró que no hubo diferencias significativas entre el " foil " y el papel glassine y entre el papel glassine y el polipropileno biaxialmente orientado.

En la figura 4.8 ( pp. 66 ) también se muestran las ecuaciones de la regresión lineal, así como los coeficientes de correlación, los cuales fueron altos para el papel glassine, polipropileno biaxialmente orientado y el "foil" de aluminio

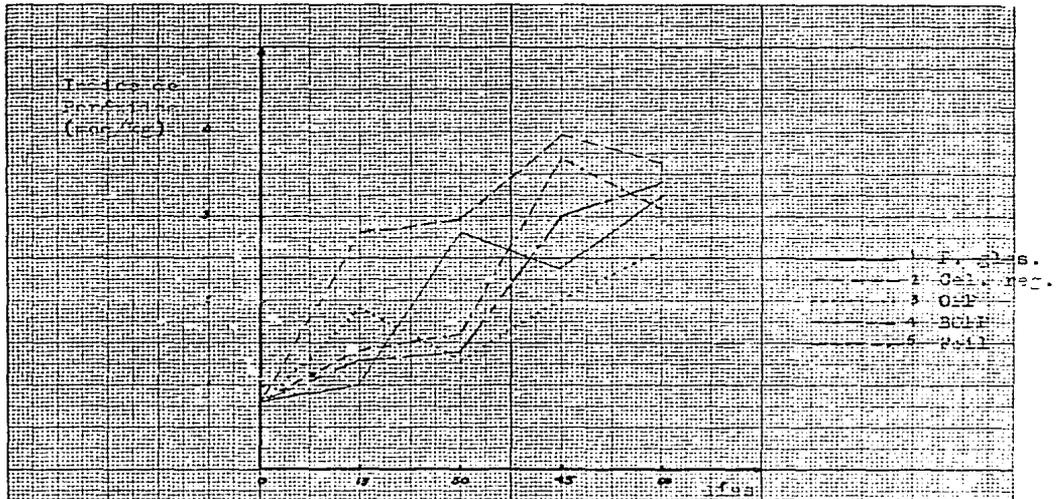
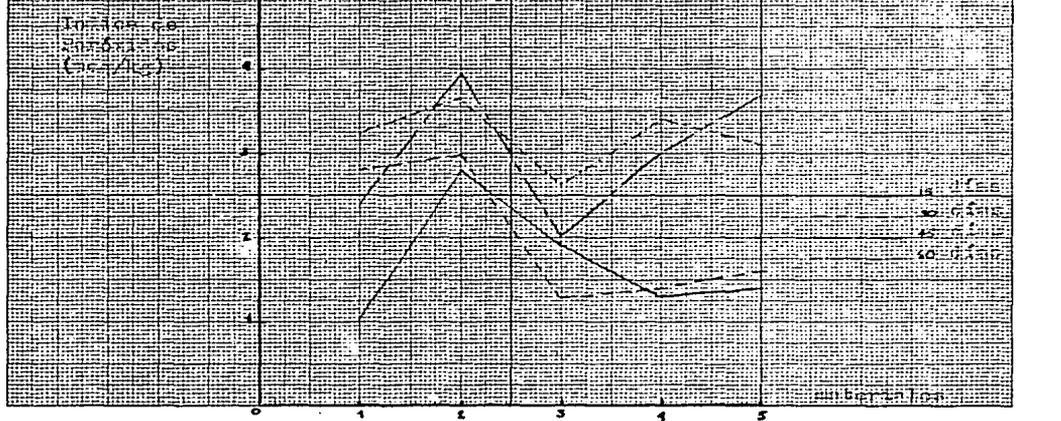
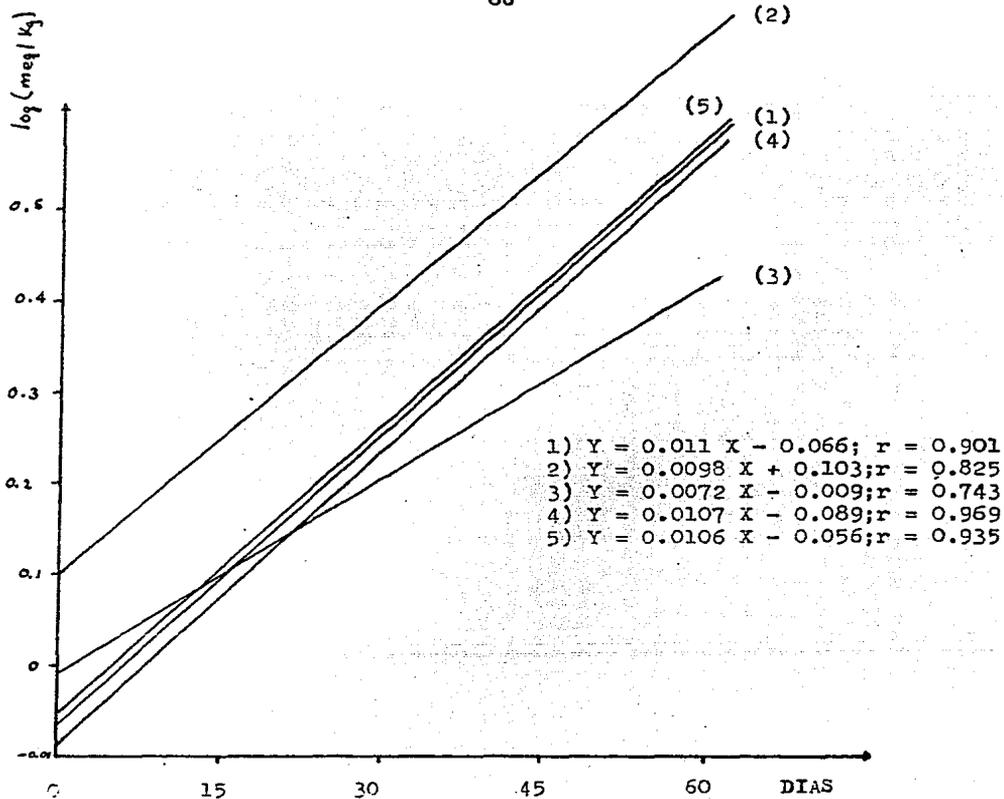


Figura 2.6 - Comportamiento de los materiales de inversión en presencia de las bacterias de la muestra.

Figura 2.7 - Comportamiento de los materiales de inversión con respecto a la oxidación de los azúcares en presencia de las bacterias de la muestra.





1. Papel glassine
2. Celulosa regenerada
3. Polipropileno ( OPP )
4. Polipropileno ( BOPP )
5. "Foil" de aluminio

Figura 4.8 " Gráfica semilogarítmica del índice de peróxidos en tablillas de chocolate con leche envasadas con los diferentes materiales".

( 0.901, 0.969 y 0.935, respectivamente ), lo cual in dica que el comportamiento observado para estos materiales fue prácticamente lineal. También se observó que la celulosa regenerada tiene un valor positivo de intersección con el eje de las abscisas, lo cual significa que desde el primer período presentó un índice de peróxidos mayor que cualquiera de los otros materiales de envase, a la vez que fue el material que presentó mayor permeabilidad al oxígeno ( cfr. tabla 4.1.c pp. 55 ).

Con relación a los resultados de la inspección superficial, se muestra a continuación la descripción de la misma, para cada material, durante cada uno de los períodos de almacena miento así como también, la figura 4.9, en la cual se re sumen dichas observaciones en un cuadro esquemático.

Durante los cuatro períodos de almacenamiento, la inspección superficial consistió en evaluar los efectos de la protec ción de las condiciones del medio ( 30°C, 80 % H.R. ) proporcionada por cada uno de los materiales de envase a las tablillas de chocolate.

Tales efectos consistieron en la aparición de erupciones su perfciales, cristales de grasa y azúcar, fragilidad, deslus tre, decoloración, aspecto seco y granuloso y aparición de sa rabe en las tablillas, así como de hongos celulósicos en el envase comercial o tradicional ( el envase comercial con siste en el "foil" de aluminio y la envoltura de papel bond ).

Fenómeno	Vetas*	Erupciones	Fragilidad	Cambios en Cristales	Jarabe	Hongos	Aspecto seco
Periódico	Mate		dad	el color	de grasa		y granuloso
o	rial						

I	1	+					
	2	++	+				
	3	+					
	4	+			---		+
	5	+				+	
II	1	++					
	2	++	+				
	3	++			---		
	4	+++			---		+
	5	++				++	
III	1	++	+			+	
	2	+++	++	+	+		
	3	+++		+++	---	+	+
	4	++++		+++	---	+	+
	5	+++		+		+	+++
IV	1	++	+				
	2	++++	++			+	
	3	+++		+++	---	++	+
	4	++++		+++	---	+++	+
	5	++++		+	+		++++

Clave de los materiales:  
 1. Papel glassine/PEBD.  
 2. Celulosa regenerada/PEBD.  
 3. Polipropileno (OPP).  
 4. Polipropileno (BOPP).  
 5. "Poil" de aluminio.

Claves de los fenómenos observados:  
 + aparición - pérdida de la propiedad  
 ++ poco ---poco  
 +++ bastante ---bastante  
 ++++ mucho ---- mucho

\* Vetas de deslustre debidas a cristales de azúcar

Figura 4.9 "Fenómenos observados en las tablillas durante la inspección superficial".

#### 4.2.1 Inspección superficial.

Material "Foil" de aluminio y papel bond.

Período

- I Se observan pequeñas zonas de deslustre, principalmente, en las esquinas de la tablilla. La envoltura secundaria de papel bond en condiciones húmedas, sirvió como soporte para el desarrollo de hongos celulósicos, que aunque no dañan al producto, sí demeritan su apariencia. Pérdida de brillo y nitidez en la impresión del papel bond.
- II La contaminación por hongos llega a la tablilla por la unión del aluminio en la base del producto, debido a que el "foil" no ofrece ahí resistencia a ellos. La superficie de la tablilla tiene una pérdida general de brillo y vetas de deslustre.
- III En lugares donde la laminilla de aluminio se encuentra rasgada o en su unión, se crea un fácil acceso a los hongos para que contaminen el producto. El color es ahora café oscuro, con aspecto húmedo y aparecen en su superficie brotes de cristales de azúcar.
- IV Se observa una total contaminación por hongos en la base del producto. En la superficie, las vetas de cristales de azúcar son grandes y ahora, también se inicia el crecimiento de cristales de gresa, pero no se aprecian a simple vista.

Material                      Papel glassine/ PEBD

Período

- I                      Se nota una pérdida de brillo general, aparecen pequeñas vetas de deslustre, pero sin llegar a demeritar al producto.
- II                     Aparecen en la superficie del producto pequeños cristales de azúcar, formando colonias o vetas.
- III                    La superficie del producto está cubierta de un jerabe que le imparte brillantez. También tiene pequeñas erupciones.
- IV                    La superficie presenta vetas definidas de cristales de azúcar y erupciones, pero no en mayor cantidad que el período anterior.

Material                      Celulosa regenerada/ PEBD

Período

- I                      Presenta erupciones aisladas y vetas de deslustre debidas a los cristales de azúcar que tienen un tamaño que permite verlas a simple vista.
- II                     Hay vetas a lo largo de la tablilla, de cristales de azúcar que le provocan un deslustre que demerita al producto.
- III                    Las tablillas se han tornado frágiles, con un color oscuro, y aparecen erupciones grandes ( de 2 mm de diámetro, aproximadamente ). Las vetas de cristales de azúcar ahora son más grandes.
- IV                    Los cristales de azúcar cubren toda la superficie del producto, las erupciones persisten y se inicia la aparición de los cristales de g<sup>ra</sup>sa, aunque en este nivel son muy pequeños.

Material                      Polipropileno uniaxialmente orientado

Período

- I                      Su superficie se encuentra decolorada, con vetas aisladas de cristales de azúcar, pero que no se ven a simple vista.
- II                     La decoloración es generalizada, con un color café muy claro. Los cristales de azúcar se observan a simple vista.
- III                    Las tablillas decoloradas, son opacas, de color café muy claro. Las tablillas son ahora frágiles y quebradizas y tienen aspecto seco y granuloso. Las vetas de cristales son ya bastante grandes y aparecen cristales de grasa que no se observan a simple vista.
- IV                    La apariencia general permanece sin cambio alguno en comparación con el período anterior, pero los cristales de grasa ya se han distribuido por toda la tablilla y ahora sí se observan a simple vista.

Material                      Polipropileno biaxialmente orientado

Período

- I                      Se observa completa decoloración del producto, así como pequeñas vetas aisladas de cristales de azúcar y en general, el producto presenta un aspecto seco.
- II                     La decoloración es total y los cristales de azúcar ya se han generalizado.
- III                    Las tablillas son muy frágiles y quebradizas. Su superficie es de color café claro, sin brillo y de aspecto seco y granuloso. Han surgido cristales de grasa en los filos de la tablilla

IV y cristales de azúcar por toda la superficie. La pérdida de color es más notoria que cualquiera de las otras tablillas. Los cristales de grasa ocupan ya grandes vetas formadas por cristales bastante grandes y, por lo tanto, visibles.

Resumiendo los resultados de la inspección superficial arriba mencionados, se observa que el papel glassine recubierto con polietileno de baja densidad fue el material que mejor protegió a las tablillas de chocolate en su superficie, pues casi no presentó erupciones hasta el tercer período e impidió la aparición de cristales de azúcar hasta el segundo período de almacenamiento. Ambos polipropilenos demeritan al producto, ya que permitieron cambios en su superficie, principalmente en cuanto a su decoloración, pues las tablillas se tornaron color café claro desde el primer período de almacenamiento.

En cuanto a la celulosa regenerada, se observó formación de cristales de azúcar y erupciones, desde el primer período de almacenamiento. No permitió que las tablillas tomaran un aspecto seco y granuloso, como en el caso de los polipropilenos.

En el caso del empaque comercial, se observó pérdida de brillo y nitidez en la impresión del papel bond, lo que demeritó en mucho la apariencia atractiva del producto. Por otro lado, presentó desarrollo de microorganismos en su superficie, los cuales llegaron hasta las tablillas de chocolate, lo cual no sucedió con ninguno de los materiales de envase

estudiados. Lo anterior indica que el sello térmico, presentado por cualquiera de los otros materiales, permite una mayor protección para las tablillas, tanto en cuestión biológica como en aparencia física, puesto que las tablillas captaron en forma directa mucha humedad.

A continuación se presenta la discusión general de ambas etapas experimentales en la cual se presentan criterios determinantes en la selección de los materiales de envase.

#### 4.3 Discusión general de resultados.

Durante las pruebas de caracterización de materiales y de aptitud de uso se observaron algunos criterios que facilitan proponer un orden de selección de los misos.

Aunque todas las pruebas son importantes, unas son más determinantes que otras en el momento de evaluar la conservación de las tablillas durante el almacenamiento, es decir, no todas se relacionan con la misma importancia con esta etapa de fabricación.

A continuación se presentan varios criterios observados durante la experimentación relacionados con dicha importancia y que finalmente permiten presentar un orden de selección de los materiales de envase estudiados.

4.3.1 Se sabe que la propiedad de rendimiento del material se relaciona con el costo del producto final. Por otro lado, todos los materiales de envase estudiados, aunque tienen menor rendimiento que el "foil", aún así son más económicos que éste, según los requisitos solicitados a los fabricantes ( sección 3.1.3.3, pp. 27 ). Pero el rendimiento no es una propiedad que se relaciona con las condiciones de almacena-

miento, por lo que esta prueba no es un criterio de selección para el material de envase más adecuado para este caso.

4.3.2 El espesor fue evaluado para saber si el fabricante había proporcionado los materiales con el espesor solicitado ( 0.05 mm ), pero se observó que en todos los casos, los materiales propuestos presentaron un espesor inferior a este valor.

Debido a la variedad de espesores, se observó según la tabla 4.1.c. ( pp. 55 ) que:

4.3.2.1 A pesar de que el papel glassine presentó el mayor espesor, reportó el valor más grande de permeabilidad al vapor de agua, pero el menor de permeabilidad al oxígeno y el valor más bajo de resistencia al doblado.

4.3.2.2 A pesar de que el "foil" de aluminio tuvo el menor espesor también presentó el menor valor de permeabilidad al vapor de agua, pero uno de los más altos de permeabilidad al oxígeno. Esperábamos que también hubiera presentado un valor bajo de permeabilidad al oxígeno, pues la bibliografía ( 21 ) reporta que el "foil" es excelente barrera tanto para el vapor de agua como para el oxígeno.

Suponemos que tendría que repetirse la prueba o que el material que fue sometido a esta evaluación tenía el defecto de tener pequeños orificios conocidos como "pinholes".

4.3.2.3 El papel glassine y el polipropileno biaxialmente orientado tienen espesores estadísticamente iguales, pero su

resistencia al doblar es marcadamente diferente, pues el primero presentó un valor 900 % más bajo en comparación con el segundo, lo cual se explica debido a la naturaleza de ambos materiales: aunque el papel glassine está recubierto por el polietileno de baja densidad, éste es muy delgado y el papel es de origen celulósico. Mientras que el polipropileno biaxialmente orientado es un polímero lo suficientemente grueso como para presentar una resistencia al doblar tan alta.

A la vez, el papel glassine presentó el valor más alto de permeabilidad al vapor de agua, pero el menor de permeabilidad al oxígeno; mientras que el polipropileno biaxialmente orientado presentó invertidos estos datos, ya que estadísticamente reportó el menor valor de permeabilidad al vapor de agua pero uno de los más altos de permeabilidad al oxígeno.

En general, como hubo diversidad de espesores, no pudimos observar claramente la influencia indirecta del espesor con respecto a las permeabilidades y pruebas mecánicas (resistencia al doblado, elongación y fuerza de tensión).

4.3.3 La opacidad indica el paso de la luz a través del material de envase y fue determinada para conocer la influencia que pudiera tener en la práctica la luz sobre la oxidación de las grasas por causa del paso de los rayos ultravioleta. Esta prueba es más importante para la primera etapa experimental, ya que se necesitaba caracterizar a los materiales de envase para ofrecer a los fabricantes de tablillas una mejor opción, pues deben evitarse los rayos ultravioleta al máximo para proteger a las tablillas con un mayor rango de seguridad. El valor de opacidad evaluado por la cara externa de los ma-

teriales cobra mayor importancia con respecto al evaluado por la cara interna, pues los rayos inciden de afuera hacia adentro del envase.

Pero para la segunda etapa esta no es una prueba determinante en la selección del material con mayor aptitud de uso para el caso de las tablillas de chocolate, pues las cámaras permanecieron prácticamente cerradas durante los dos meses de almacenamiento, lejos de los rayos ultravioleta, por lo que su influencia con la grasa en esta etapa es despreciable. y la luz se descarta como factor de enranciamiento de la grasa en las tablillas.

4.3.4 También se observó que todos los materiales tienen un valor de opacidad más alto en la cara interna que en la externa, a excepción del polipropileno uniaxialmente orientado, el cual tiene valores iguales para ambas caras debido a su alta transparencia. Lo anterior podría explicarse por el acabado lustroso que tienen las películas y el "foil" de aluminio por la cara externa, pues están más brillosos y, por lo tanto, menos opacos.

4.3.5 La maquinabilidad de un material es la facilidad con la que puede manejarse éste dentro de la máquina de envasado. La fuerza de tensión de los materiales se relaciona con esta propiedad. Para los materiales propuestos, la media de la fuerza de tensión tomó valores adecuados para evitar constantes rupturas de los mismos durante la operación de envasado ( 3.9 a 4.5 psi, en dirección de la máquina, dirección en la cual existen generalmente mayores tensiones) a diferencia del "foil" ( 0.8 psi ) ( 6 ). Lo anterior implica que las constantes rupturas del material causadas por fuerzas de tensión propias de esta operación, ocasionan paros en ésta

y desperdicio en el material de envase, con las consecuentes pérdidas económicas. Resumiendo, cualquiera de los materiales propuestos tiene, desde este punto de vista, una mayor maquinabilidad que el "foil", evitando las desventajas económicas arriba mencionadas.

4.3.6 Aunque la fuerza de tensión y la elongación son pruebas que se determinan simultáneamente en el mismo equipo ( Apéndice I , pp. 95 ), son propiedades que no se corresponden paralelamente con respecto a sus valores. Esto se observa claramente en la tabla 4.1.a ( pp. 49 ) en el caso del papel glassine y el polipropileno uniaxialmente orientado, que presentaron igual valor para la fuerza de tensión en dirección de la máquina ( 4.5 psi ), pero para el papel la elongación fue igual a 1.6 % en dirección de la máquina, mientras que para el polipropileno fue de 162.8 %, lo cual indica que aunque la fuerza para lograr su ruptura fue la misma, los materiales presentaron diferentes porcentajes de elongación debido a la diferencia intrínseca de su naturaleza.

4.3.7 Aunque el sello térmico se realizó a diferentes condiciones de tiempo y temperatura, todos los materiales de envase propuestos presentaron un sello térmico positivo a diferencia del "foil" de aluminio, observándose que cualquiera de ellos puede proteger más a las tablillas que este último.

4.3.8 La resistencia al doblado es una propiedad que se relaciona con los movimientos ejercidos sobre un determinado material de envase durante la operación de envasado, los cuales pueden lograr que éste se rompa. Por lo que la resistencia

cia al doblado refleja indirectamente una mejor protección a las tablillas y en este aspecto, cualquiera de los materiales propuestos tiene ventaja sobre el "foil" de aluminio el cual permitió contaminación de hongos hacia el interior de las tablillas, a través de las grietas "flexibles" ( cfr. sección 2.2.5 pp. 33 ) provocadas durante la operación de envasado debido a su baja resistencia al doblado.

4.3.9 El "foil" de aluminio es un material homogéneo en su estructura debido a su proceso de obtención ( 43 ), lo cual se reflejó a través de los valores de las pruebas de fuerza de tensión, elongación y resistencia al doblado en dirección de la máquina y transversal, pues no se observó mucha diferencia entre ellos. ( cfr. tablas 4.1.a, pp.48 y 4.1.c, pp.55 )

4.3.10 Con la prueba de permeabilidad al oxígeno se trató de encontrar alguna relación con respecto al índice de peróxidos desarrollado en las tablillas durante la segunda etapa experimental, encontrándose las siguientes observaciones relacionando los datos de la tabla 4.1.c ( pp. 55 ) y la figura 4.8, (pp. 66 ):

4.3.10.1 La rancidez desarrollada por las tablillas envasadas en el "foil" podría explicarse por dos razones: la primera es la alta permeabilidad al oxígeno evaluada por el lado externo ( 1317.0 cc/m<sup>2</sup>/día ) y la segunda, la carencia de sello térmico, lo que permitió un mayor contacto de las tablillas con el oxígeno.

4.3.10.2 Se observó que a pesar de que el polipropileno biaxialmente orientado no tuvo diferencia significativa con respecto al "foil" de aluminio en la prueba de permeabilidad al oxígeno, la rancidez desarrollada en las tabillas envueltas con este material, fue ligeramente menor que en el caso del "foil".

4.3.10.3 El polipropileno uniaxialmente orientado obtuvo uno de los valores más bajos de permeabilidad al oxígeno y también la menor rancidez desarrollada.

4.3.10.4 La celulosa regenerada obtuvo el valor más alto de permeabilidad al oxígeno y también la mayor rancidez desarrollada.

4.3.10.5 En cuanto al papel glassine, se observa que obtuvo el menor valor de permeabilidad al oxígeno, pero obtuvo un valor intermedio de rancidez desarrollada.

Este resultado refleja que la rancidez pudo haberse desarrollado por efectos de temperatura o que la rancidez con respecto a la permeabilidad al oxígeno de los materiales no sigue un comportamiento proporcional en todos ellos, pues el papel glassine fue el único material que no siguió un orden proporcional entre estas dos pruebas como se observa a continuación:

Permeabilidad al oxígeno:  $X_2 > X_5 > X_4 > X_3 > X_1$  (fig.4.2, pp.54)

Índice de peróxidos final:  $X_2 > \underline{X_5 > X_1} > X_4 > X_3$  (fig.4.8, pp.65)

Siendo los valores medios correspondientes como sigue:

$X_1$  = papel glassine

$X_2$  = celulosa regenerada

$X_3$  = polipropileno uniaxialmente orientado

$X_4$  = polipropileno biaxialmente orientado

$X_5$  = "foil" de aluminio

4.3.11 Todos los materiales estudiados tienen alta resistencia a grasas y aceites. En esta prueba no se puede dar un orden de selección para los materiales, pues todos tuvieron una resistencia mayor a 24 hrs.

4.3.12 De las pruebas efectuadas durante la primera etapa experimental, se observó que la que tiene mayor peso sobre la conservación de las tablillas durante el almacenamiento es la de permeabilidad al vapor de agua de los materiales de envase, pues la humedad disuelve el azúcar favoreciendo su florecimiento y cristalización, lo que origina disminución en el brillo de su superficie, además de cambios en el color.

Tomando en cuenta sólo los resultados de la primera etapa experimental, en base a esta prueba como principal criterio de selección, el orden decreciente de los materiales de envase sería como sigue:

1. Polipropileno biaxialmente orientado
2. Polipropileno uniaxialmente orientado
3. Celulosa regenerada
4. Papel glassine

Pero la importancia de la segunda etapa experimental está en dar un orden de selección tomando en cuenta un conjunto de factores ambientales ( temperatura, humedad y au-

sencia de luz) que influyeron directamente sobre la relación producto- envase como una unidad.

4.3.13. En relación al comportamiento del "foil" de aluminio durante la segunda etapa experimental, se observó una e levada captación de humedad por parte de las tablillas debido a la falta de sello térmico, a pesar de haber presentado una excelente permeabilidad al vapor de agua en las pruebas de caracterización.

4.3.14 Analizando la diferencia total de color en la figura 4.5 ( pp. 63 ) y la inspección superficial resumida en la figura 4.9 ( pp. 68 ) se observa que el material que presentó un mayor deterioro en la coloración fue el polipropileno biaxialmente orientado, seguido por el polipropileno uniaxialmente orientado, la celulosa regenerada y finalmente el papel glassine y el "foil" ( los cuales no tuvieron diferencia significativa ), por lo que la inspección superficial refuerza los resultados de la figura 4.5 .

Por otro lado, en relación a la hipótesis 3.6.5 ( pp. 40 ) en la cual se plantea relación entre la diferencia total del color y la permeabilidad al vapor de agua se observó que no existe tal relación según los resultados de la figura 4.5 ( pp. 63 ) y figura 4.2 ( pp. 55 ) .

4.3.15 Se observó una relación entre el aumento del peso neto de las tablillas ( por efecto de la captación de humedad del medio ambiente ) y la permeabilidad al vapor de agua de los materiales de envase, con excepción del "foil", debido a la ausencia del sello térmico, pues éste material presentó en las pruebas de caracterización una excelente barrera al vapor de agua.

Lo anterior puede observarse más claramente con el siguiente análisis ( las claves son iguales que las de la pp. 79):

Permeabilidad vapor de agua E :  $X_1 > X_2 > X_3 > X_4 > X_5$  ( fig. 4.2, pp.54 )

Peso Neto en las tablillas :  $X_1 > X_5 > X_2 > X_3 > X_4$  ( fig. 4.4, pp.60 )

4.3.16 Con respecto a la hipótesis 3.6.2 ( pp. 39 ), la cual menciona que por efectos de la temperatura de la cámara ( 30 °C ) y la prolongada permanencia de las tablillas en la misma ( 60 días ), aparecerían cristales de grasa en todas las tablillas, se observó lo siguiente:

Las tablillas envueltas en ambos polipropilenos, presentaron cristales de grasa a partir del tercer período y todas con excepción del papel glassine, los presentaron en el cuarto período. Pero ambos polipropilenos son los que presentaron mayor cantidad en este período. ( Cfr. figura 4.9, pp. 68 ).

4.3.17 Con respecto a la protección esperada por parte del sello térmico se observó que:

4.3.17.1 Es clara la protección del sello contra la captación directa de la humedad, lo cual se observa en el "foil", que a pesar de ser excelente barrera al vapor de agua, el aumento de peso en las tablillas envueltas con este material es notable, por ausencia del mismo.

4.3.17.2 No constituyó una protección contra la decoloración o cambio de color alguno, pues el polipropileno biaxialmente orientado presentó la mayor diferencia del color a pesar de contar con sello térmico en sus tablillas,

a diferencia, del "foil" que sin presentar sello térmico, presentó la más baja diferencia de color.

4.3.17.3 Tampoco ofreció la protección esperada contra la rancidez, pues la celulosa regenerada obtuvo el mayor índice de peróxidos final a pesar de haber presentado sello térmico y no ocupó este lugar el "foil", el cual carecía de dicho sello.

4.3.17.4 El "foil" presentó contaminación microbiana por parte del papel bond, por carecer de dicho sello.

4.3.17.5 El sello térmico no protegió contra la aparición de cristales de azúcar como se esperaba, pues todas las tablillas ( envueltas con cada uno de los diferentes materiales ), presentaron aparición de dichos cristales desde el primer período de almacenamiento en las cámaras, (cfr. hipótesis 3.6.1 , pp.40 )

4.3.17.6 El sello térmico influyó sobre la apariencia de las tablillas de manera positiva, por lo que cualquiera de los materiales propuestos protegió mejor a las tablillas que el "foil" de aluminio.

4.3.18 Todas las pruebas que constituyen la segunda etapa experimental son importantes para analizar el comportamiento de los materiales de envase , pero la prueba que determinó el orden de selección definitivo en los mismos fue la prueba de inspección superficial, con la cual se evaluó el deterioro de la apariencia de las tablillas, lo cual es de relevante importancia tanto para el fabricante como para el

consumidor, pues la apariencia es lo que hace de un producto, una golosina apetitosa. Por lo que el orden de selección definitivo y en orden decreciente, basado en la segunda etapa experimental para el presente estudio, es el siguiente:

1. Papel glassine recubierto con PEBD.
2. Celulosa regenerada recubierta con PEBD.
3. Polipropileno uniaxialmente orientado.
4. Polipropileno biaxialmente orientado.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1 Conclusiones.

5.1 Debido a que los materiales de envase probados tienen buenas propiedades de resistencia mecánica, como son fuer za de tensión, elongación y resistencia al doblado ( las cuales son aún mejores que las del "foil"), son capaces de ser utilizados en forma simple como envolturas primarias sin necesidad de otra envoltura de protección. Más aún , si se metalizaran, sería para mejorar tanto permeabilidades al vapor de agua y al oxígeno como la apariencia física y la reflectancia, ya que este último constituye para el envase una barrera al calor.

5.2 El polipropileno biaxialmente orientado tiene características de permeabilidad al vapor de agua, al oxígeno y a grasas y aceites, muy semejantes a las del "foil" de aluminio, por lo que sería una alternativa de uso como sustituto de este último, el cual se utiliza en alimentos que necesitan empaques impermeables al oxígeno, agua y aceites. Aún más, si se metalizara, también podría formar una barrera al calor y a la luz, según fueran las necesidades del alimento por envasar.

5.3 Las características químicas de la manteca de cacao utilizada en la elaboración de las tablillas de chocolate, hacen de éste un producto resistente al enranciamiento, por lo que la función de la envoltura secundaria, como es el caso del papel bond de la envoltura comercial, es puramente decorativa y publicitaria. Con ninguno de los materiales utilizados se rebasó el valor máximo permitido de índice de peróx

idos para chocolate de leche ( 5.0 meq/kg) (38).

5.4 El surgimiento de erupciones en la superficie de la tablilla es uno de los efectos de las condiciones del almacenamiento llevado a cabo durante la experimentación ( 30°C y 80 % de H.R. ) y que deteriora el aspecto del producto. Se observó relación entre la permeabilidad al vapor de agua de los materiales estudiados y la aparición de dichas erupciones, pues ambos polipropilenos y el "foil" de aluminio, que tienen baja permeabilidad al vapor de agua, no las presentaron, mientras que el papel glassine y la celulosa regenerada, que tienen valores más altos, sí presentaron dicho fenómeno.

5.5 La humedad relativa presente en la cámara ambiental fue mayor que la máxima permitida para almacenar chocolates, la cual es igual a un valor del 50 % ( 46 ), permitiéndose así que la sacarosa presente en el chocolate se disolviera y floreciera a la superficie, formando posteriormente cristales, lo cual se observó en todas las tablillas desde el primer período de almacenamiento.

5.6 El papel glassine fue el único material que no siguió la relación " a mayor permeabilidad al oxígeno en el material de envase, mayor índice de peróxidos desarrollados en las tablillas de chocolate durante el período de almacenamiento".

5.7 Debido a las características intrínsecas del "foil" de aluminio, se esperaba obtener mejores resultados durante la segunda etapa experimental dentro de la cámara ambiental, pero no fue así debido a que la ausencia del sello térmico de-

terioró al producto precisamente en el área de cierre, más que en cualquiera de los otros casos, permitiendo en esta área, desarrollo de microorganismos y gran deterioro de la tablilla por causa de la captación directa de humedad del medio en el que estuvo expuesto.

Por otro lado, como consecuencia de la falta de dicho sello térmico, el "foil" fue el único material que no cumplió con la relación " a mayor permeabilidad de vapor de agua en el material de envase, mayor aumento en el peso de las tablillas durante la etapa de almacenamiento".

5.8 Por las propiedades plásticas de los materiales estudiados, éstos pudieron tener una larga permanencia de sus cualidades decorativas, tanto en brillo como en impresión y pureza de colores, independientemente de las condiciones de almacenamiento, lo cual no sucedió en el caso de la envoltura comercial, pues el papel perdió uniformidad, brillo y nitidez, además que sirvió de soporte para el desarrollo de microorganismos.

5.9 El papel glassine recubierto con polietileno de baja densidad es el material que presentó mayor potencial de sustitución del "foil" de aluminio como envoltura primaria de las tablillas de chocolate, debido a que es el material que más alargó su vida de anaquel, manteniendo sus características organolépticas, físicas, químicas y bioquímicas por más tiempo, pero sobre todo, disminuye el costo de la tablilla.

5.10 Podemos afirmar que se puede usar el papel glassine recubierto con polietileno de baja densidad, con un metalizado intermedio como un buen sustituto de la envoltura comercial.

tradicional de las tablillas de chocolate, lo cual sería para mejorar su opacidad, reflectancia, apariencia, permeabilidad al vapor de agua y al oxígeno, así como también su protección contra la rancidez.

5.11 En base a la primera etapa experimental, la selección de los materiales de envase, basada principalmente en la permeabilidad al vapor de agua, en orden decreciente es la siguiente:

1. Polipropileno biaxialmente orientado.
2. Polipropileno uniaxialmente orientado.
3. Celulosa regenerada recubierta con PEED.
4. Papel glassine recubierto con PEED por ambas caras.

En realidad, cualquiera de los materiales utilizados puede ser más adecuado que el "foil" para envasar tablillas de chocolate con leche, por su mayor protección física y microbiológica ofrecida a las mismas, debido a la presencia del sello térmico, sus propiedades mecánicas superiores, su durabilidad, nitidez de colores e impresión, durante un almacenamiento adverso, además de su menor costo. Pero en cuanto a su relación frente al producto, la recomendación de uso se basa principalmente en la prueba de inspección superficial de la segunda etapa experimental, la cual en orden decreciente consiste en:

1. Papel glassine recubierto por ambas caras con PEED.
2. Celulosa regenerada recubierta con PEED.
3. Polipropileno uniaxialmente orientado.
4. Polipropileno biaxialmente orientado.

## 5.2 Recomendaciones.

5.2.1 Con el fin de conocer con cual de los materiales propuestos en el presente estudio se consume más energía durante la operación de sellado térmico se propone realizar un experimento sobre la relación que existe entre la energía consumida y la temperatura y tiempo necesarios para realizar el sellado térmico en cada uno de dichos materiales, con el propósito de observar con cuál de ellos se obtiene una mayor economía para la operación de envasado.

5.2.2 La prueba de diferencia total del color arrojó datos que en los primeros periodos del almacenamiento aumentaron, pero con el tiempo, fueron disminuyendo. y con el propósito de conocer el por qué de este comportamiento en el color de las tablillas se propone el siguiente experimento contrastador:

Analizar por un lado, tablillas a  $30^{\circ}\text{C}$  y 40 % de H.R. (esta humedad relativa es la ideal para almacenar tablillas de chocolate) para medir tanto su índice de peróxidos como su diferencia total del color, y por otro lado, analizar tablillas almacenadas a  $20^{\circ}\text{C}$  (temperatura ideal para el almacenamiento de tablillas de chocolate) y 80 % de H.R., con el propósito de medir su captación de humedad y su diferencia total de color y así observar cómo influyen en el cambio del color las condiciones de alta temperatura y de elevada H.R. por separado, ya que se supone que este comportamiento podría ser el resultado de la rancidez de la grasa del chocolate combinado con la captación de humedad del medio ambiente por parte de las tablillas.

## **BIBLIOGRAFIA**

BIBLIOGRAFIA

1. ALAIS, Charles. "Ciencia de la leche". Principios de técnica lechera . 2a. impresión. Ed. CECSA. 1980.
2. Annual Book of ASTM Standards. "Standards specification for polypropylene film", D2530-60. Part 36 PLASTICS. Philadelphia. 1980.
3. Annual Book of ASTM Standards. "Standars specification methods for oriented-polypropylene film"D2673-69;"Standars methods for tensile properties of thin plastic sheeting",D882-79.Part 35 PLASTICS.
4. Annual Book of ASTM Standars. "Standar specification-methods for rate of grease penetration of flexible barrier materials . (Rapid method)". F119-76.Part 21 CELLULOSE.Philadelphia. 1980.
5. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana.Consejo de RecursosMinerales.México.1978-1979.
6. Aportación Anónima.
7. Association of Official Analytical Chemists(AOAC).Method 13.001,"Procedimiento para la preparación de la muestra".Capítulo 13 CACAO Y SUS DERIVADOS.30<sup>o</sup> Edición.1980.
8. Association of Official Analytical Chemists(AOAC).Method 28.022 y 28.023"Peroxide Value" 30<sup>o</sup> Edición.
9. BADUI DERGAL, Salvador"Química de los alimentos",1<sup>a</sup> edición, Alhambra Mexicana , 1981.
10. BILLMEYER, Fred W., Jr.La ciencia de los polímeros.Editorial Reverté 2<sup>o</sup> Edición.1978.
11. BRODY, Aaron L.Flexible Packaging of Foods.Chemical Rubler Co.Monoscience Series.Cleveland Ohio. 1970.
12. CAIRNS, J.A..Packaging for Climatic Protection.Newnes-Butterworths.London.1974.
13. CARLE & MONTANARI ."Alguns consideraciones sobre reología" Folleto # 2. Nouva serie.
14. C RLE & MONTANARI."Realidad del Concaje" Folleto No.54-11.

15. CLYDESDALE, F.H. "The measurement of color". Food Technol. 23(1):16-22. 1969.
16. DUCKWORTH R.B. "Water Relations in Foods", Food Science & Technology, Academic Press Inc. (London) LTD, 1975 .
17. Dulcelandia, Industrias Alimentarias. Año 45. Núm 542. Editorial Manila . 1985.
18. Escenarios Económicos de México. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 1981-1985.
19. Estadísticas de Consumo de Envase y Embalaje en la Rep. Mexicana, (LANFI). Período 1978-1983.
20. Sin autor. "Fold patterns for wrapped packages". Modern Pack. Enc. 41:33-40. 1968.
21. GRIFFIN, Roger C. "Materials Aluminium foil". Pack. Enc. 27(4):72-73. 1982.
22. HALL, Carl W. and T.I. Medrick. Drying Milk and Milk Products. The AVI Publishing Company. 2<sup>o</sup> Edición. Westport, Connecticut. 1971.
23. HARPER, Harold A., RODWELL, Victor W.; MAYES, Peter A. Manual de Química Fisiológica sexta Edición. Editorial El Manual Moderno S.A. 1978.
24. HASS, Alvin A. "Polymers, Low-Density Polyethylene" Package Engineering. 27(4):117. 1982.
25. HERSCHDOERFER, S.M. Quality Control in the food industry. Volumen 3. Academic Press. London, Great Britain. 1972.
26. HOUWINK, R. y SALOMON, G. Enciclopedia de la Química Industrial tomo 3, volumen 11 y tomo 4, volumen 1. Ediciones URMO. 2<sup>o</sup> Edición. 1973.
27. KIRK-OTTMER. Encyclopedia of Chemical Technology. Volumen 5, "Quality Control". Wiley-Interscience Publishers. 2<sup>o</sup> Edición. New York. 1964.
28. KIRK-OTTMER. Encyclopedia of Chemical Technology. Volumen 6, "Color" y "Chocolate, cocoa". Wiley Interscience Publishers. 3<sup>o</sup> Edición. New York 1980.
29. KUKNE, Günther. Envases y embalajes de plástico. Editorial Gus-

- tavo Gili S.A.Barcelona, España.1974.
30. LITTLE,Angela C."Physical Measurements as Predictors of Visual Appearance".Food Tech.30(10):74-82.1976.
31. LITTLE,Angela C. and GORDON.Color of foods.The AVI Publishing Company, Inc.Westport, Connecticut.1962.
32. Manual de operaciones del analizador de la humedad."Moisture Analyzer".Tempu-tracc.
33. Manual de operaciones del OX -TRAN 100."Oxygen Permeability tester" MoCoN Instrument.
34. Manual de operaciones del PERMATRAN W."Water Vapor Transmission Rate Tester for Films and Packages".MoCoN Instrument.
- 35.Memoria estadística .Camara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel.México 1932.
36. MINIFIE,Bernard W. ,Chocolate,cocoa & confectionery:Science and technology.The AVI Publishing Company.2<sup>o</sup> Edición.Westport Connecticut.1980.
37. NOM F-26"Especificaciones de leche entera en polvo utilizada como materia prima para la industria".1971.
38. NOM F-60,"Alimentos ",Chocolate con leche y sus variedades. 1982.
39. Panorama Industrial."La industria de celulosa y papel:Logros y limitaciones".Expansión XV(362):6.1983.
40. Pronóstico a corto y mediano plazo del consumo de envases y embalajes en la República Mexicana.Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial (IANFI).México.1981.
41. ROJAS DE GANTE,Cecilia."Seminario:Criterios para determinar la vida de anaquel de productos alimenticios".Facultad de Estudios Superiores - Cuautitlán y los laboratorios Nacionales de Fomento Industrial(IANFI).México.1982.
42. SACHAROW,Stanley and GRIFFIN,Roger C.Principles of food packaging.The AVI Publishing Company.2<sup>o</sup> Edición.Westport, Connecticut.1980

43. SACHAROW, Stanley. Handbook of Package Materials. The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut, 1976.
44. Sin autor. " Standard test for package materials ". Package Engineering, 27 (1):16-22. 1982.
45. SWERN, Daniel. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Interscience Publishers. 3o. Edición. New York. 1964.
46. Técnicas de elaboración moderna de confituras.
47. TAYLOR, Charles C. "Films Cellophane". Package Engineering, 27 (4); 76-77. 1982.
48. Valor Nutritivo de los alimentos . Tablas de uso práctico. Publicaciones de la División de Nutrición. 7a. Edición. Instituto Nacional de la Nutrición. México, 1977.
49. WALKER, R.C. Official and tentative methods of the American Oil Chemist's Society (AOCS). "Official method C8 8-53; Peroxide Value", Volúmen 1. 3a. Edición. Champaign, Illinois. 1983.
50. WALPOLE, R.E., MYERS, R.H. Probabilidad y estadística para Ingenieros. Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V., 2a Edición, 1986.
51. WEBB, Johnson and Alford. Fundamentals of Dairy Chemistry. The AVI Publishing Company. 2da. Edición. Westport, Connecticut. 1974.
52. WIBBENS, R.I. 1982. "MATERIALS: Films polypropylene". Package Engineering, 27(4): 84-85.
53. YOUNG, William E. "MACHINERY: Sealing". Package Engineering, 27(4): 304-313. 1982.
54. REYES, C.P. Diseño de experimentos agrícolas, Editorial Trillas, 1978, 1a. Edición.

## APENDICE I

### PRUEBAS REALIZADAS PARA LA CARACTERIZACION FISICA Y QUIMICAS DE LOS MATERIALES DE ENVASE.

#### 1. Espesor. ASTM D2673-69; D374-69 (reaprobado en 1975).

##### Aparatos

- a. Micrómetro "Elof Hansson" de Goteborg Sweden, con escala de 0 a 2 mm.

##### Procedimiento

Se hacen diez determinaciones por lo menos en diferentes lugares del material.

##### Cálculos

Se toma el espesor promedio y se reporta en mm.

#### 2. Rendimiento. ASTM D2672-69(reaprobado en 1975).

##### Equipo

- a. Balanza analítica
- b. Regla graduada metálica

##### Procedimiento

Se miden las muestras a lo largo y ancho, para luego pesarlas.

##### Cálculos

Se calcula el área promedio y se divide entre el peso promedio, se reportan los resultados en  $m^2/kg$ .

#### 3. Opacidad. ASTM D589-65 (reaprobada en 1970).

Este método cubre la determinación de la opacidad del papel y algunas películas plásticas por determinación de la reflectancia aparente de la luz.

##### Aparatos y equipo

- a. Reflectómetro "Photovolt", modelo 670 con escala de reflectancia de 0 a 100 %.
- b. Fuente de luz incandescentes con un orificio no menor de

14.3mm de diámetro.

- c. Placa blanca estándar
- d. Capacete con fondo negro estándar
- e. Celda fotoeléctrica

#### Procedimiento

Se calibra a cero con el capacete de fondo negro, se coloca la muestra y encima de ella la placa blanca, calibrando a 100. La lectura se efectúa quitando la placa blanca y colocando encima de la muestra el capacete de fondo negro.

#### Cálculos

Se toman cinco o más lecturas, se reporta la media de los valores obtenidos con tres figuras significativas.

#### 4. Fuerza de tensión y elongación. ASTM D882-79

Este método cubre la determinación de las propiedades de tensión de los plásticos en forma de películas y laminaciones delgadas (menores de 1.0 mm de espesor). Se utiliza para la identificación y caracterización de los materiales de empaque.

#### Aparatos y equipo

- a. Equipo de tensión y elongación marca "Elof Hansson", con una separación de mordazas de 10 cms y un ancho de 1.5 cm. Velocidad constante de separación de mordazas de 1.34 mm/s.

#### Procedimiento

Hacer no menos de cinco determinaciones, se corta una tira del material paralelamente del ancho de las mordazas, luego se sujeta bien extendida en forma vertical entre las dos mordazas. Por medio del motor eléctrico se hace que la mordaza inferior se desplace hacia abajo, estando la mordaza superior unida por medio de un cople flexible a un péndulo con contrapeso que guarda una posición vertical al comienzo de la prueba. A medida que desciende la mordaza inferior, el péndulo es jalado por la muestra siguiendo un arco de circunferencia a lo largo de una

escala, hasta que el material se rompe. Un dispositivo evita que el péndulo vuelva a la vertical, de modo que su posición en el arco se pueda leer en la escala graduada en Kg.

La elongación debe ser considerada en esta parte ya que una escala superior del mismo instrumento la indica como por ciento.

#### Cálculos

Se promedian los kilogramos necesarios para romper el material de una longitud y ancho constantes. Se reportan en lb/in<sup>2</sup> (psi).

#### 5. Resistencia al doblado. ASTM D2176-79 (reaprobado en 1974)

Consiste en el doblado continuo de una tira de papel hasta que rompe, siendo la resistencia al doblado el número de dobles dobles (hacia un lado y hacia el otro) necesarios para su ruptura.

#### Aparato

a. Aparato tipo MIT "Instituto Tecnológico de Massachusetts", marca "Elof Hansson" de Goterborg Sweden, con cabeza de soporte oscilatoria, motor eléctrico, contador de dobles dobles y un émbolo de tensión de 200 gr de peso.

#### Procedimiento

Se coloca la cabeza oscilatoria verticalmente con respecto a la mordaza del émbolo de tensión, donde se coloca el peso determinado para tensionar el material, en este caso 600 gr constantes. Se coloca la muestra verticalmente entre las mordazas y se sujeta firmemente. Desenganchar el peso del émbolo para tensionar la película. El contador de dobles dobles debe estar en ceros y encender el equipo hasta que se rompa la muestra. El contador se libera al mismo tiempo en que cae el émbolo al romperse la tira de muestra.

### Cálculo

Se promedia los resultados como dobles dobles con dos figuras significativas, anotando la tensión en gramos que fué aplicada. Se deberá especificar en qué dirección de la película se llevó a cabo la prueba.

### 6. Permeabilidad al vapor de agua ( 34 ).

Se evalua la velocidad de transmisión de vapor de agua a través de un material simple de barrera. Este método es el más rápido.

#### Aparato y equipo

- a. Instrumento "Permatran-W", tiene un sistema multicabezas que permite acondicionar cinco películas cuando una sexta es probada en celdas de difusión desmontables.
- b. Almohadillas de algodón-fieltro de cuatro cm de diámetro.

#### Soluciones

- a. Solución saturada de  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  a una temperatura de 40°C.

#### Procedimiento

Se cortan muestras de 10x10cm con un espesor máximo de 0.1 in, se montan entre las paredes superior e inferior de una de las celdas de difusión, para ser dividida en dos volúmenes cerrados. El volumen inferior de la celda contiene el cojinete húmedo de una solución saturada de sal. El volumen superior venteado por 2 aberturas que permiten un flujo de aire seco constantemente, para pasar a través de un ldo de la película. La superficie interna matè de la celda define un área circular de 50 cm<sup>2</sup>.

Las películas de prueba, se montan en una celda independiente y se insertan dentro de una de las cinco aberturas numeradas en la parte superior de acondicionamiento del equipo y se ase-

guran. Aquí la película es expuesta a un flujo continuo de aire seco a través del lado superior cuando el inferior es expuesto al vapor de agua del cojinete en la cavidad húmeda, a una temperatura constante de 37.8°C.

Las celdas permanecen ahí por un período suficiente para alcanzar el establecimiento de la velocidad de transferencia en equilibrio, entre 10 y 30 minutos. En este momento se inicia la prueba al pasarla del acondicionamiento al gabinete de prueba, en la parte inferior del equipo.

En la cámara de prueba, la mitad superior de la celda es purgada por un flujo estacionario de aire seco. El gas marcha a la cavidad seca vía el cojinete exhausto, consistente de una mezcla de aire y vapor de agua en una proporción determinada por el aire seco de purga y la velocidad de transferencia de humedad a través de la película.

La densidad del vapor de agua de la celda de difusión es monitoreado por un detector infrarojo, sacando una manifestación por medio de una carta registradora, ésta es una función lineal de la velocidad de transmisión de humedad a través de la película.

#### Reporte

Los mv (milivolts) leídos por la línea recta de la gráfica en la carta, se dividen entre 100 y se reportan en  $g/m^2/día$  y como WVTR "Water Vapor Transmission Rate".

Se considera muy buena barrera a los valores menores de 1  $g/m^2/día$ , como mediana barrera a los valores entre 1 y 50  $g/m^2/día$  y por último muy mala barrera a los valores mayores de 50  $g/m^2/día$ .

#### T. Permeabilidad al oxígeno ( 33 ).

Es medir la velocidad de transferencia de oxígeno a través de películas sintéticas, papeles recubiertos y otros materiales flexibles.

#### Aparatos y equipo

- a. Instrumento Ox-tran 100, con una celda de difusión.
- b. Detector "Coulometric" específico al oxígeno.
- c. Registrador de carta de resultados.
- d. Control de humedad.
- e. Tanque de oxígeno.
- f. Tanque de mezcla nitrógeno-hidrógeno.

#### Procedimiento

Cortar el material al tamaño de la placa patrón, se coloca en el portamuestra, previamente engrasado en su periferia, para proveer una buena hermeticidad. Se aumenta el flujo de oxígeno de 10 a 50 por tres minutos, transcurridos se procede a la lectura de la permeabilidad al oxígeno en la escala de 1 mv en el graficador.

#### Cálculo

1 mv = 10 cc/m<sup>2</sup>/día; así el valor del graficador promedio es convertido y se dice que un material con valores menores de 50 cc/m<sup>2</sup>/día es un material que provee una buena barrera al oxígeno.

#### 8. Permeabilidad a las grasas. ASTM F119-76 ( 4 )

Este método es aplicado en el desarrollo y selección de materiales de barrera flexibles, susceptibles para ser utilizados como barrera a las grasas en productos de tipo graso.

Los materiales flexibles doblados o no por procedimientos estándares, son expuestos por un lado a grasa contenida en un pedazo de algodón. El tiempo requerido para mostrar un cambio visual (aparición húmeda) en la superficie de un plato de vidrio esmerilado es considerado como la velocidad de penetración de grasas del material.

#### Aparatos y equipos

- a. Platos de apoyo de vidrio esmerilado, de 50x50x3 mm.
- b. Pesos de 50 gr de un diámetro de 20 mm.
- c. Discos de algodón de 20 mm de diámetro.
- d. Gotero.
- e. Horno de circulación forzada, que pueda mantener 40°C de temperatura.
- f. Pieza de metal o vidrio de 10 mm de espesor para plegar el material.

#### Reactivo

- a. Aceite vegetal comercial

#### Procedimiento

Se cortan las muestras del material de 50x50 mm, mínimo tres planas y seis dobladas (tres hacia el exterior y tres al interior de la película). Se colocan en el plato de vidrio esmerilado cada una de las muestras y sobre estos dos discos de algodón, se colocan los pesos sobre los discos y se precalienta el conjunto a 40°C por 30 minutos. Con el conjunto inmóvil en el horno, retire los pesos y adicione seis gotas de reactivo a los discos de algodón. Vuelva a colocar los pesos sobre ellos, cerrando el horno y anotando el tiempo. A intervalos periódicos (cada 15 min la primera hora y cada 30 min las siguientes cuatro horas) tomando el conjunto y observe la superficie del plato de vidrio esmerilado, contra el fondo oscuro. Anotando el tiempo en que la primera señal de humedad sea visible en contraposición al peso.

#### Informe de prueba

Se reporta el tiempo promedio de la aparición de la mancha en el vidrio esmerilado, anotando el tiempo máximo y mínimo de la aparición de esa muestra, especificando la condición del material (doblado interno, externo o plano).

Las unidades son horas y fracciones de ella.

## 9. Sellabilidad térmica ( 6 )

### Equipo

a. "Sentinel Heat Sealer" de "Packing Industries" trabajanda a una presión constante de 42 psig. Las barras están cubiertas por una película que evita que la película a laminar se adhiera a la barra selladora, está compuesta de una mezcla de fibra de vidrio y teflón.

### Procedimiento

Se mide las dimensiones del producto, en este caso 9 de largo, 2.5 de ancho y 1.2 cm de espesor, en base a estas dimensiones se corta la película que va ha utilizarse como envoltura, con las siguientes consideraciones:

- a. Asicionar al largo 1.5 cm por cada borde a sellar, en este caso 3.0 cm en total.
  - b. Adicionar 1.5 cm x2 para la costilla del empaque, el inicio y final de la envoltura, por lo que se toma 3.0 cm más.
- De esta manera las dimensiones de la envoltura son:

Largo: 12 mínimo- y 13 máximo en centímetros.

Ancho: 10.5 mínimo y 11.5 máximo en centímetros.

El tipo de envoltura se le conoce internacionalmente como "Pouch-Style Wrap" ó envoltura tipo bolsa, es la más utilizada para tab~~l~~illitas de chocolate.

Para formar la envoltura, la película es doblada para formar un canal que acepta la tab~~l~~illa, quedando la superficie interna del laminado o película simple que es sellable al calor en contacto con ella. Los bordes finales del canal de la película (llamaremos así independientemente que sea laminado o película simple) son amordazados uno contra el otro con las barras calientes del equipo por cierto intervalo de tiempo y a una temperatura deter-

minada, dependiendo del tipo de material. Se consideró que el se llo térmico fué positivo cuando fué suficiente la resistencia que ofreció al abrirlo con los dedos, pero a la vez no llegó a maltratarse el material presentando un encogimiento que dañaba su apariencia física. Así las barras cierran la costilla y después cierran los bordes finales doblando hacia la tablilla la costilla, que al momento del cierre queda doblada formándose un conjunto tablilla-envoltura de un sólo cuerpo y sin salientes que puedan ocupar un espacio extra en el empaque secundario (caja de cartón prensado).

Las temperaturas y tiempos utilizados según el material son:

MATERIAL	TEMPERATURA (°F)	TIEMPO (s)
Papel glassine/PEBD	190	2.0
Polipropileno (OPP)	220	2.0
Polipropileno (BOPP)	220	2.0
Celofán/PEBD	340	1.0

## APENDICE II

### PRUEBAS PARA DETERMINAR LA APTITUD DE USO DE LOS MATERIALES DE ENVASE.

#### 1. Determinación de la ganancia en peso. ( 8 )

Método indirecto de determinación de humedad.

Forma parte de la inspección al producto terminado para verificar si el producto cae dentro de las especificaciones ofrecidas por el proveedor al consumidor.

#### Aparato

a. Balanza granataria

#### Procedimiento

Se pesan las tablillas antes de ser envueltas en los diferentes materiales de envase y luego al concluir los intervalos pre-establecidos de control de calidad.

#### Cálculo

Se toman los pesos de las tablillas utilizadas para cada material y se promedia al inicio y al final de cada intervalo y se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

Donde  $W_1$  =Peso neto de la tablilla inicial

$W_2$  =Peso neto de la tablilla al final de cada intervalo.

Se reporta en porciento de ganancia en peso.

## 2. Determinación de Humedad. ( 32 )

Método directo.

### Aparato

a. Analizador de humedad marca "Tempu-tracc".

### Procedimiento

Se prepara la muestra según la "Association of Official Analytical Chemists" (AOAC) ( 7 ). Se enfría el chocolate hasta que endurezca y se raya a una condición granular. Se mezcla toda la muestra uniformemente y se guarda en botellas bien cerradas en un lugar frío o templado.

El equipo se ajusta a 90°C, sobre la charola de aluminio se van adicionando los gránulos de muestra hasta que suena el indicador de muestra suficiente del equipo "Tempu-tracc", al cerrar la puerta superior se inicia automáticamente la determinación de humedad que al tener un valor constante por cierto tiempo en la pantalla digital en forma porcentual se considera el contenido de humedad de la muestra. El equipo da valores con dos cifras significativas.

### Reporte

Se calcula el valor promedio y se reporta en porcentaje de humedad contenida en la muestra.

## 3. Inspección superficial

### Aparato

a. Microscopio estereoscópico, marca "Erma optical works", con ocular de W10x y lente de 4x como objetivo. Cuenta con fuente de luz integrada.

### Procedimiento

Se inspecciona detenidamente la superficie del producto, observando si existe la presencia de deslustre, contaminación por microorganismos y la aparición o "bloom" de grasa y/o azúcar principalmente.

### Reporte

Se anotan las observaciones hechas y se hacen en forma individual para cada material de envase utilizado.

### 4. Medición directa del color ( 15 y 28 )

La medición directa del color es establecer en valores numéricos una cualidad sensorial del producto.

### Aparato y material

- a. Equipo "Hunter - Lab" modelo A25-9 con un área de muestra de 10.5x10.5 cm, con unidades en coordenadas HUNTER ó Lab.
- b. Portamuestra de vidrio u otro material, sólo se requiere que tenga un diámetro mínimo de 10.5 cm y que su ancho sea aproximadamente o igual para contener la muestra y no dejar pasar rayos de luz.

### Procedimiento

Se prepara la muestra según el método 13.001 de la AOAC, se distribuye uniformemente en el portamuestra (puede ser la base de una caja Petri) que se coloca en el soporte para portamuestra del equipo, se ajusta y se enciende el aparato. Las lecturas aparecen en la pantalla digital, haciéndose tres lecturas en diferentes partes de la muestra, esto se logra haciendo girar la muestra.

### Reporte

La diferencia total del color se reporta como Delta E "ΔE", to-

mando un valor promedio de las tres lecturas de cada producto, y relacionándolo con la lectura promedio del producto original, por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta E = (\Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$$

Donde:

$\Delta E$  = Diferencia total de color.

$\Delta L$  = La proporción aparente de la luz reflejada por el objeto en una escala del blanco al negro, pasando por todos los colores, final menos la inicial.

$\Delta a$  = Es la colocación del valor del color en el eje de las abscisas, que va de rojo a verde, final menos la colocación inicial.

$\Delta b$  = Es la colocación del valor del color en el eje de las ordenadas, que va de amarillo al azul, colocación final menos la colocación inicial.

##### 5. Índice de peróxidos ( 8 ).

Durante el almacenamiento de los aceites, grasas o productos que los contengan, los enlaces insaturados de sus ácidos grasos absorben oxígeno y reaccionan análogamente a los peróxidos. A un corto nivel, los productos volátiles que se forman, como aldehídos y cetonas, toman un efecto perjudicial sobre el sabor y olor del producto, conocido como enranciamiento oxidativo.

Material y equipo

- Matraces Erlenmeyer de 1,000, 500, 250 y 100 ml.
- Baño María con control de temperatura, mod. P115, "Precisión".
- Embudo de separación de 250 ml

- d. Embudo de cuello corto.
- e. Papel filtro W44.
- f. Parrilla eléctrica.
- g. Soporte universal.
- h. Soporte de madera para embudos (5), con pinza para fijarlo al soporte universal.
- i. Matraz de 250 ml para iodo (cuello esmerilado).
- j. Probeta de 50 ml.
- k. Pipeta de 1 ml, 1/10.
- l. Bureta de 25 ml.

#### Reactivos

- a. Solución extractora de grasa.
  - Salicilato de sodio 650 g
  - Carbonato de potasio 355 g
  - Potasa cáustica 160 g
  - Alcohol isosamílico 1 lt
  - Agua destilada 3 lt
- b. Mezcla de disolvente.
  - Acido glacial acético 20 ml
  - Cloroformo 10 ml
- c. Solución saturada de yoduro de potasio.
- d. Solución de almidón al 1% peso / volumen.
- e. Tiosulfato de sodio 0.002 N.

#### PROCEDIMIENTO:

Se prepara la muestra del chocolate según se indico en 4.12, se toman aproximadamente 50 gr y se pasan a un matraz Erlenmeyer de 500ml, adicionándole la solución extractora en una proporción de 2:1 con un 10 % de exceso. La mezcla se agita fuertemente y se sumerge en el baño María a 90°C durante una hora o hasta que la mezcla se torne café oscuro y la grasa sobrenade.

Al estar lista se transvasa completamente al embudo de separación, dejándola reposar hasta que la grasa sobrenade, se vacía el fondo y se lava la grasa con agua destilada a 60°C hasta tres veces.

La grasa se recoge en un vaso ó matraz y se filtra sobre una parrilla a 60°C para evitar que la grasa solidifique y evapore el agua de la grasa.

De la grasa filtrada, se pesan exactamente 5 gr de muestra en un matraz Erlenmeyer para Iodo de 250 ml con tapón. Inseguida se adiciona 30 ml de la solución de disolvente y se agita tapado el matraz, se agrega 0.5 ml de la solución saturada de yoduro de potasio y se agita por un minuto. Se adicionan 30 ml de agua destilada y se valora lentamente con el Tiosulfato de sodio hasta un color amarillo paja ahí se le agrega 0.5 ml de la solución de almidón al 1%, tornandose azul, se continúa valorando con agitaciones fuertes y lentamente hasta que el color azul desaparezca.

#### Cálculos

Índice de peróxido (meq de peróxido/kg) =  $S \times N \times 1,000 / w$

Donde: S= mililitros gastados en la valoración de tiosulfato

N= normalidad del Tiosulfato de sodio

w= muestra utilizada en gramos