

2
20/



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"ESTUDIO DE LA COMPATIBILIDAD
ENVASE - PRODUCTO EN
NOPALES ENVASADOS".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
ROSA MARIA CARRILLO LOPEZ

DIRECTOR DE TESIS
M.C. ADRIAN AVILA FRANCO
COASESORA
I.A. ROSALIA MELENDEZ PEREZ



CUAUTITLAN IZCALLI, EDO MEX.

1980



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE GENERAL

RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
CAPITULO I. ANTECEDENTES	
A. Funciones de los envases	5
B. Envases metálicos.Hojalata	7
C. Operaciones del enlatado	13
D. Deterioro de los productos enlatados	
1.-Deterioro de origen no-microbiano en los alimentos	15
a) Corrosión interna	15
b) Corrosión externa	20
2.-Deterioro microbiano en los alimentos	20
3.-Factores que influyen en el deterioro de los alimentos	22
E. Vida de anaquel	23
1.-Tipos de fechas que se colocan en los alimentos	24
2.-Factores que afectan la vida de anaquel	25
3.-Clasificación de los alimentos según su vida de anaquel	26
F. Predicción de la vida de anaquel	
1.-Diferentes formas de acelerar las pruebas para predecir la estabilidad de los alimentos durante el almacenamiento	
a) Temperatura elevada	28
b) Elevada presión de oxígeno	30
c) Elevado contenido de humedad	32
d) Métodos combinados	33
2.-Cinética de reacción del deterioro de alimentos	34
3.-Efecto de la temperatura en la cinética de reacción del deterioro de los alimentos	
a) Ecuación de Arrhenius	36
b) Concepto de D_{10}	42
CAPITULO II. METODOLOGIA	
Cuadro metodológico	48
Desarrollo experimental	49
Diseño experimental	53
CAPITULO III. DISCUSION DE RESULTADOS	55
CONCLUSIONES GENERALES	74
BIBLIOGRAFIA	75

INDICE DE FIGURAS

1. Representación esquemática de la pérdida de calidad durante el procesamiento y el almacenamiento	5
2. Representación esquemática de las diversas capas constituyentes de la hojalata	10
3. Representación esquemática del efecto general de la corrosión de una lata de lámina de hojalata esmaltada con comportamiento anódico del estaño	16
4. Representación esquemática del efecto general de la corrosión de una lata de lámina de hojalata esmaltada con comportamiento catódico del estaño	17
5. Gráfica de la vida de anaquel	29
6. Efecto del incremento de la a_v en la vida de anaquel de un alimento	33
7. Energía de reacción	38
8. Gráfica de Arrhenius	40

INDICE DE TABLAS

1. Principales tipos de recubrimientos para latas	12
2. Influencia de la constitución de la hojalata en la velocidad y extensión de la corrosión	19
3. Diferentes tipos de fechas que se colocan en los alimentos	24
4. Clasificación de los alimentos según su vida de anaquel	27
5. Recomendaciones de la temperatura del almacenamiento para pruebas de alimentos con vida de anaquel acelerada	30
6. Reacciones típicas en alimentos y su orden de reacción	35
7. Valores típicos de energía de activación	41
8. Efecto de la temperatura en la vida de anaquel para valores constantes de Q_{10}	44
9. Efecto de la temperatura en el Q_{10} para varios valores de E_A	45
10. Variaciones del valor de Q_{10} para diferentes alimentos durante el almacenamiento	46

RESUMEN

El presente proyecto se ala la importancia del conocimiento de la compatibilidad envase - producto, para lo cual se realizaron una serie de actividades agrupadas en dos fases, en la primera se llevó a cabo un estudio de vida de anaquel acelerada mediante el método de temperaturas elevadas (30°, 35° y 40°C), considerando como testigo los nopales enlatados que se mantuvieron a temperatura ambiente. en cuya evaluación de compatibilidad se realizaron determinaciones referentes al comportamiento del envase y del producto.

En esta fase se establece como resultado de la interacción envase-producto que las reacciones : pérdida de cloruros, textura, capa de barniz, formación de poros y disolución de estaño varían significativamente, por lo que se les determino su orden y velocidad de reacción, así como su energía de activación (E_A) y D_{10} .

En la segunda fase se mantuvieron las condiciones de almacenamiento que aceleraron más las reacciones de interacción entre envase y producto, estudiandose las reacciones ya determinadas para la obtención de parámetros para el análisis de la estabilidad de los nopales enlatados, obteniendose un modelo matemático para la predicción de la vida de anaquel del producto en cuestión.

INTRODUCCION

El enlatado es una buena alternativa para la conservación de alimentos, sin embargo dichos productos son susceptibles de deterioro, debido a la continua interacción que existe entre el envase y el producto; por lo cual se hace necesario disponer de criterios prácticos para estimar y establecer la vida útil que se espera del producto envasado.

Para establecer la durabilidad de un producto se hace uso de las pruebas de vida de anaquel acelerada (*Accelerated Shelf life Testing* (ASLT)) empleándose diferentes métodos como son : temperaturas elevadas, elevada presión de oxígeno, elevado contenido de humedad y métodos combinados; los cuales aceleran las reacciones que llevan al producto al deterioro.

El presente proyecto contempla el uso de ASLT con temperaturas elevadas, durante el cual se realizó un estudio de compatibilidad envase - producto, en base al cual se obtuvo un modelo matemático para la predicción de la vida útil de los nopales enlatados.

ESTUDIO DE LA COMPATIBILIDAD ENVASE-PRODUCTO DE NOPALES ENVASADOS

OBJETIVO GENERAL

Mediante el estudio de la compatibilidad envase-producto de nopales envasados predecir su vida de anaquel para diferentes temperaturas de almacenamiento.

OBJETIVOS PARTICULARES

Determinar los cambios que se presentan en nopales enlatados al ser sometidos a pruebas de vida de anaquel acelerada mediante el método de temperaturas elevadas.

Obtener los aspectos prácticos de la compatibilidad envase-producto para la determinación de la vida de anaquel de los nopales enlatados.

I A N T E C E D E N T E S

ANTECEDENTES

A. Funciones de los envases

Los atributos de calidad en productos alimenticios depende de diferentes factores como son las condiciones de la materia prima con la que se elaboró el producto, del método y la severidad del proceso de transformación y/o envasado, así como de las condiciones de manejo, almacenamiento y transporte.

Los atributos de calidad pueden mantenerse más o menos en niveles altos durante el procesamiento pero la disminución que se presenta durante el almacenamiento está determinada por el desempeño que presenta el empaque frente a las condiciones ambientales, como se muestra en la siguiente figura ⁽¹⁵⁾

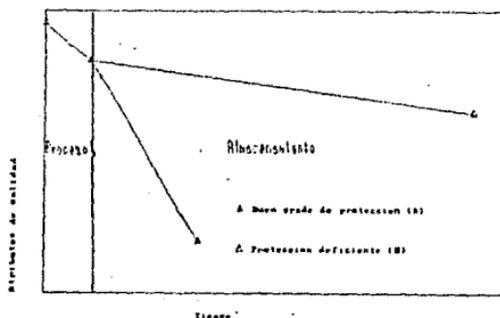


Fig. 1. Representación esquemática de la pérdida de calidad durante el procesamiento y el almacenamiento

Como se puede apreciar en la figura 1 en productos alimenticios procesados los atributos de calidad durante el almacenamiento pueden mantenerse en niveles altos si el empaque le brinda un buen grado de protección (línea A). En base a lo anterior, se hace necesario conocer las diferentes funciones que desempeñan los empaques, las cuales son^(1,2).

1. Protección sanitaria
2. Facilidad de manejo
3. Ausencia de toxinas y compatibilidad con el alimento
4. Protección contra pérdida o asimilación de humedad y grasa (conserva la humedad e impide la pérdida de agua)
5. Impide que se adquieran o pierdan olores
6. Retención de sabor
7. Protección contra la luz
8. Fuerte protección mecánica
 - a. Contra el manejo en general
 - b. Contra impactos, compresión y vibración
 - c. Contra penetraciones
 - d. Bajo variación en las condiciones externas de temperatura y humedad
9. Hermeticidad
10. Facilidad de apertura
11. Facilidad de deshecho
12. Peso exacto
13. Protección contra contaminación (química y microbiana) así como infestación
14. Barrera al oxígeno y aire
15. Facilidad para ser litografiado o etiquetado
16. Bajo costo (relación producto-envase)
17. Características especiales
18. Estabilidad de la influencia de la conservación
19. Publicidad y comercialización (figura, información, etc.)

Cabe señalar que el envase metálico cumple todas las exigencias que se deben pedir a un envase destinado a contener productos alimenticios, proporcionando además una adecuada protección contra la luz, que puede afectar negativamente a los lípidos, vitaminas y en ciertas ocasiones a algunas de sus características sensoriales⁽⁹¹⁾. Sin embargo, no hay que descuidar los cierres, debido a que si son deficientes representan un punto débil que conllevaría al posible deterioro del producto.

B. ENVASES METALICOS.Hojalata

Hoy en día son de uso muy común los diversos materiales que existen en la naturaleza para formar los recipientes, los cuales se pueden presentar en diferentes formas, tamaños y diseños. Sin embargo, dentro de los aspectos comerciales se considera a la hojalata como el recipiente metálico más importante.

A continuación se mencionan algunas de las propiedades de estos materiales, lo cual explica la preferencia para su uso⁽⁹¹⁾:

- Rigidez.
- Buena conductividad térmica.
- Resistencia a altas temperaturas para su esterilización y choque térmico.
- Existe una amplia gama de tamaños y diseños.
- Su poco peso facilita su manipulación.
- Presenta un costo redituable.
- Es impermeable e higiénico.

En los envases de hojalata se utiliza principalmente como materia prima el acero, por lo cual la clasificación de tales envases depende del tipo de acero empleado, los cuales son⁽¹⁴⁾:

Tipo "L".- Este tipo de acero es preparado especialmente con bajo contenido de fósforo y residuos metálicos (tales como cobre, níquel, cromo y molibdeno). Este acero es muy resistente a la corrosión y por lo tanto es adecuado para productos fuertemente corrosivos, tal como productos ácidos enlatados, como por ejemplo: chiles, ciruelas pasas en almíbar, moras, algunas frutas encurtidas, etc.

Tipo "MR".- Contiene ligeramente un mayor contenido de fósforo que el tipo "L" y más residuos metálicos, por lo cual es menos resistente que el "L". Es apropiado para productos moderadamente corrosivos, tal como productos de baja acidez, así como: carne, pescado, tomate y derivados, productos de leche, cerveza, bebidas carbonatadas, etc.

Tipo "MC".- Este es menos restringido en cuanto a composición y es usado para productos no corrosivos, como lo son: la miel, mermeladas, aceites comestibles, etc.

Es importante mencionar que cuando se utilizan envases sin barniz es técnicamente inevitable que una pequeña cantidad de estaño pase al producto en solución. Por otro lado, algunas legumbres y verduras enlatadas, entre ellos los productos de tomate, deben sus sabores característicos a las pequeñas cantidades de estaño disuelto.

Cabe señalar que el estaño no es absolutamente resistente a la corrosión; pero la velocidad con que reacciona con muchos materiales alimenticios es considerablemente menor que en el caso del acero.

Sin embargo, la efectividad de un recubrimiento de estaño está en función de varios factores como son⁽²¹⁾:

- i) su grosor, el cual puede fluctuar entre 8 y 32 millonésimas de centímetro.
- ii) la uniformidad de ese grosor.
- iii) el método de aplicación del estaño, el cual consiste básicamente en un depósito electrolítico.
- iv) la composición de la hoja de acero en que se coloca.
- v) el tipo de alimento, etc.

La lámina una vez estañada, después de lavada y secada, se somete a un proceso de fusión instantánea, que da al depósito de estaño, su brillo peculiar, al tiempo que se forma una capa de aleación intermetálica $-FeSn_2-$ entre el estaño y el acero. Esta capa de aleación (compacta y continua) desempeña un papel importante en la resistencia a la corrosión de la hojalata frente a los alimentos.

Para estabilizar la superficie de estaño, la hojalata se somete a un tratamiento de "pasivación". El tratamiento de pasivación puede ser químico, por inmersión de la hojalata en soluciones de ácido crómico o dicromato sódico. Estos procesos depositan, sobre la superficie de estaño, una capa constituida por óxidos de estaño y cromo, así como cromo metal.

El tratamiento final es la aplicación de una capa de lubricante, generalmente sebacato de dioctilo, bien por precipitación electrostática o bien por contacto con una emulsión. Este recubrimiento es extremadamente fino y su finalidad es facilitar la manipulación de la hojalata, pero sin aportar ninguna protección adicional.

A continuación se representa en forma esquemática las diversas capas constituyentes de la hojalata⁽⁵⁰⁾.

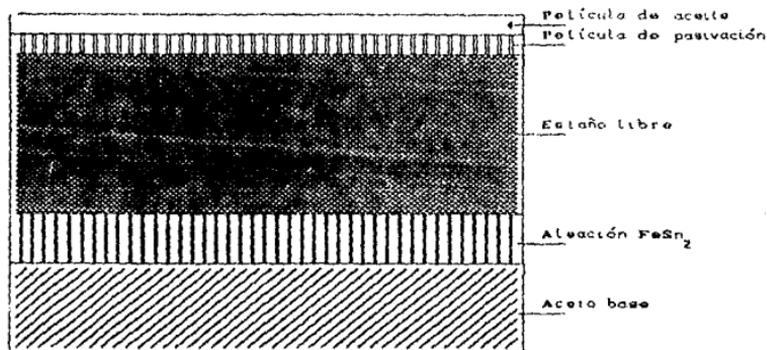


Fig. 2 Representación esquemática de las diversas capas constituyentes de la hojalata

Con la finalidad de mejorar la presentación de los alimentos, de aumentar la resistencia a la corrosión, mejorar la apariencia interior del envase, poder utilizar materiales con menor carga de estaño y/o incrementar la vida de anaquel de los productos enlatados, se emplean recubrimientos.

Los recubrimientos no solo protegen los metales de la corrosión provocada por componentes de los alimentos, sino que también protege los alimentos de la contaminación de los metales, que pueden provocar una serie de reacciones de sabor y olor, según el alimento.

Por lo cual, es importante tomar en cuenta que existen innumerables recubrimientos, ya que cada producto en especial requiere de una formulación específica de barniz o esmalte (ver tabla 1)

Cuando se usan recubrimientos para los envases de alimentos, la lata esmaltada reúne varios requisitos:

- No debe impartir olores o sabores al alimento.
- Debe de ser aceptado para el contacto con alimentos por la FDA (Food and Drug Administration).
- Debe de proteger a la lata y al contenido durante la vida de servicio.
- No debe fracturarse o producir escamas durante la manufactura de la lata o en el subsecuente almacenamiento.
- De fácil aplicación
- Debe resistir a todas las temperaturas con las cuales se encontrara durante procesamiento y almacenamiento normal.

Tabla 1. Principales tipos de recubrimientos para latas

Recubrimiento	Uso típico	Tipo
Esmalte para frutas	Moras de color obscuro, cereza y otras frutas que requieren protección de sales metálicas (alimentos ácidos)	Oleorresinas
Esmalte C	Etiotes, chícharos, vegetales, sopa maíz, peras y otros productos que contienen azufre, entre ellos algunos alimentos de mar.	Oleorresinas pigmentos de óxido de zinc
Esmalte para ácido cítrico	Productos y concentrados cítricos	Oleorresinas modif. Fenólico
Esmalte para alimentos marinos	Productos de pescado y carne para untar. Su uso está limitado debido a su baja resistencia al calor, y el espesor de la película está restringido por su pobre flexibilidad.	Epones modificados con pigmentos de aluminio.
Esmalte para carne	Carne y varios productos especializados. Tiene una apariencia un poco opaca	Epones
Esmalte para leche	Leche, huevo, y otros productos lácteos.	Sistema de dos capas con base oleorresinosa y capa vinílica encima.
Esmalte para bebidas enlatadas sin carbonatación	Jugo de verduras, de frutas rojas; frutas muy corrosivas; bebidas no carbonatadas	Sistema de dos capas con base oleorresinosa o de polibutadieno con capa vinílica encima
Esmalte para cerveza enlatada	Cerveza y bebidas carbonatadas	Sistema de dos capas con base oleorresinosa o de polibutadieno con capa vinílica encima

Fuente: Jackson, 1979. Fundamentals of Food Canning Technology ⁽¹⁴⁾
 Gray, Hart, Miltz, 1966. Food product-package compatibility ⁽³²⁾

C. Operaciones del enlatado.

El enlatado de alimentos es un procedimiento para conservar los alimentos mediante la combinación del uso de un envase sellado herméticamente y calor para destruir microorganismos dañinos y patógenos, así como inactivar enzimas, e impedir la entrada de microorganismos en el alimento procesado.

Para obtener un producto alimenticio enlatado se sigue una secuencia de operaciones, las cuales son específicas según el tipo de producto en cuestión; sin embargo, de manera general se llevan a cabo las siguientes operaciones :

1) Procedimientos de preparación; varían de acuerdo con el tipo de alimento que se va a enlatar. En cuanto a frutas y hortalizas puede emplearse las operaciones de lavado, clasificación, separación, mondado, corte a la medida pertinente.

2) Escaldado por calor; el material alimenticio crudo es sumergido en agua caliente o expuesto a vapor o gases calientes a la temperatura requerida, manteniéndolo a esta por el tiempo requerido, y luego, ya sea enfriado rápidamente o pasado al procesamiento subsiguiente sin demora. Esta operación favorece el desarrollo de un alto vacío en el producto acabado, debido a que se expulsan los gases respiratorios contenidos en las células de las plantas, también se inhibe la acción enzimática y es utilizado para fijar o ajustar el color natural de los productos. Sin embargo un escaldado excesivo causa pérdida de estructura celular, cambiando también sus características térmicas⁽²⁷⁾.

3) El llenado de las latas la relación entre líquidos y sólidos dentro de la lata tiene que regularse con toda exactitud, ya que ninguna lata habrá de llenarse en exceso. Usualmente se deja un espacio libre superior de 6 a 9 mm. de altura (que corresponde del 6% al 8% de la capacidad de la lata) por encima del nivel del alimento contenido en la lata⁽²⁸⁾.

El aire contenido en el espacio libre superior de la lata tiene que eliminarse antes del sellado. Esto puede lograrse de las siguientes maneras :

- llenando la lata con el producto en caliente.
- calentando la lata y su contenido después del llenado, y
- evacuando el gas contenido en el espacio cabeza libre superior en una cámara de vacío o bien inyectando vapor sobrecalentado en dicho espacio.

En cada uno de estos casos, la tapa de la lata se engargola a esta inmediatamente después de la operación.

4) Tratamiento térmico; la lata llena y sellada se tiene que calentar a alta temperatura durante un espacio de tiempo suficiente (tratamiento térmico) para que asegure la destrucción de los microorganismos causantes de descomposición. Esto se hace generalmente en autoclaves en una atmósfera de vapor a presión.⁽⁴⁾

Inmediatamente después de la esterilización de las latas tiene que enfriarse rápidamente, en agua, a temperatura de 37°C. A esta temperatura, el calor que queda es suficiente para que permita que las gotas de agua presentes sobre la lata se evaporen antes del etiquetado y empaclado.

5) Etiquetado; existen dos tipos de etiquetados: el litografiado y la etiqueta; en caso del uso de etiquetas, estas se aplican al cuerpo de la lata, y luego las latas se empaquetan en cajas.

D. Deterioro de los productos enlatados.

1.- Deterioro de origen no-microbiano en los alimentos.

Se reconoce que el deterioro microbiano es la causa más frecuente de condiciones anormales en los alimentos enlatados. Sin embargo, existen otras causas no microbianas del mismo, que serán descritas a continuación.

a) Corrosión interna.

La hojalata no es totalmente estable frente a los alimentos y, durante el almacenamiento de la conserva, tienen lugar fenómenos de corrosión, cuya magnitud depende de las condiciones físico-químicas de la interfase metal-producto.

Un factor importante a considerar en la corrosión interna es la estructura de la superficie metálica, debido a que las distintas capas constituyentes de la hojalata presentan una estructura discontinua como consecuencia de la porosidad propia o natural (porosidad primaria) y de los daños o defectos mecánicos (porosidad secundaria), derivados de la manipulación a que se ve sometido el material.

Tal porosidad provoca que la superficie metálica en contacto con el alimento, presente una gran área de estaño y una minúscula área de exposición de la aleación y acero entre los poros y estrías en el envase de hojalata.

Por lo general, la capa de estaño que está expuesta al alimento se comporta como el ánodo de una pila, siendo el cátodo las diminutas superficies al descubierto de la lámina de base. Por lo cual, el estaño tiende a disolverse en el alimento ácido, mientras que en las superficies descubiertas de la base metálica de hierro se forma gas hidrógeno, como consecuencia de la reducción catódica de los iones hidrógeno (H^+) del medio, al tiempo que este metal permanece inalterado. (ver fig.3) (36,50).

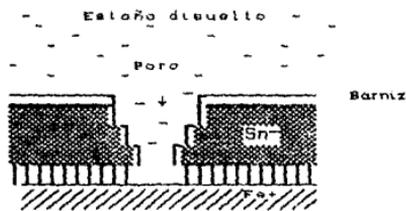
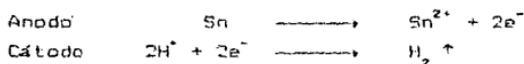


Fig. 3. Representación esquemática del efecto general de la corrosión de una lata de lámina de hojalata esmaltada con comportamiento anódico del estaño.

Como ya se menciona el estaño que está protegido es anódico al acero. Sin embargo, el estaño acoplado al acero puede ser tanto ánodo como cátodo, dependiendo de la corrosión del medio.

En ocasiones, por ausencia de sustancias complejantes o pasivantes del estaño o bien por presencia de complejantes estables del hierro, este se comporta anódicamente. Como consecuencia, la hojalata toma, en este caso un aspecto muy diferente; su superficie sufre un desestañado irregular, concentrándose la corrosión en zonas localizadas, que profundizan hasta el acero base -- corrosión por picadura -- y, en casos extremos, conduce a la perforación del envase. Este mecanismo de corrosión se presenta, con mayor frecuencia, en los envases barnizados que en los de hojalata desnuda, como consecuencia de que, en presencia de la película de barniz, la proporción relativa de área de estaño y hierro libres queda más equilibrada y dificulta la actuación del estaño como ánodo de sacrificio (ver fig.4)

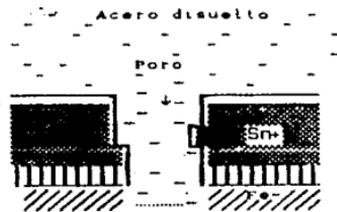


Fig.4. Representación esquemática del efecto general de la corrosión de una lata de lámina de hojalata esmaltada con comportamiento catódico del estaño.

Cabe mencionar que antes que se presenten manifestaciones externas, se presentan otros efectos tanto en el envase como en el producto, como los siguientes⁽²⁾:

- Cambios en color, olor y sabor, así como de las características nutritivas del producto envasado.
- Alteraciones de la superficie interna del envase desestañado, ya sea como pérdida del aspecto brillante de la hojalata o en el caso de los envases barnizados un desestañado intenso localizable.
- Incorporación de iones metálicos al producto envasado (particularmente estaño, hierro y plomo).

En términos generales se puede decir que la extensión y velocidad del proceso de corrosión en la hojalata depende de un gran número de factores relativos a la propia hojalata, al producto contenido en el envase y a las condiciones de elaboración y almacenamiento de la conserva.

La resistencia de la hojalata frente al ataque de los alimentos, está relacionada con las características de las diferentes capas que lo constituyen, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Influencia de la constitución de la hojalata en la velocidad y extensión de la corrosión.

Componente	Efecto en la corrosión	Condiciones favorables.
Acero base	Acelera o retarda la corrosión según los elementos aleantes y forma de cristalización.	Bajo contenido en metales pesados. Inclusiones de Cr, Mo.
Aleación intermetálica	Protección moderada de la vel. de corrosión en función del espesor y forma de cristalización.	Estructura continua y uniforme.
Estaño libre	Responsable de la corrosividad y tiempo de duración del envase, en función del espesor, de la continuidad y del tamaño de grano de estaño.	Grano de estaño grueso. Baja porosidad. Recubrimiento de estaño grueso y uniforme.
Película de pasivación.	Protege de la sulfuración y oxidación atmosférica. Retarda el desestañado; su efecto depende de la composición en Cr, metal y óxido de Cr, y Sn.	Elevado contenido en Cr (total). Continuidad de la película.
Barnizado	Disminuye drásticamente la disolución de estaño; puede propiciar la aparición de picaduras. Efecto en función del tipo de barniz, grado de secado y espesor, adherencia y continuidad de la película.	Estructura continua. Baja porosidad. Elevada adherencia.

Fuente: Yúfera, P. E. (1979) Química Agrícola III. Alimentos (50).

b) Corrosión externa.

La corrosión externa de los envases de hojalata es menos y de menor importancia que la interna, sin embargo, debe prestarse atención ya que representa una alteración de la apariencia externa, lo cual desmerece su aceptación por parte del consumidor.

En la mayor parte de los casos, la corrosión externa tiene lugar por oxidación del acero, debido a las condiciones ambientales, tal oxidación se inicia en los puntos en el que el acero queda al descubierto debido a la discontinuidad del estaño.

La presencia de oxígeno y una humedad elevada sobre las superficies de las latas puede ser causa de la formación de la herrumbre usual en el acero y el hierro. Las condiciones herrumbrosas pueden resultar al condensarse la humedad del aire sobre las latas cuando su temperatura está abajo del punto de rocío del aire⁽²⁰⁾.

La forma de herrumbre, en casos muy extremos, puede llevar a la perforación, ya que el recubrimiento de estaño en estas condiciones presenta un comportamiento catódico respecto al acero base, por lo que este se corroe con preferencia. En otros casos, se produce la disolución de la capa superficial del recubrimiento; este tipo de ataque tiene lugar cuando las condiciones del medio propician el comportamiento anódico del estaño.

2.- Deterioro microbiano en los alimentos.

La descomposición de origen microbiano en un producto enlatado puede darse por las siguientes razones:

- Deterioro incipiente antes del procesamiento
- Contaminación post-procesamiento
- Procesamiento térmico insuficiente en el autoclave
- Deterioro de origen termofílico

Los alimentos enlatados en ocasiones son almacenados demasiado tiempo antes de entrar al autoclave, dándose por consiguiente el deterioro incipiente.

La presencia de esporas puede deberse a dos posibilidades: que el alimento enlatado recibiera un tratamiento térmico insuficiente o que las juntas permitieron la entrada de bacterias.

En cuanto al deterioro de origen termofílico este es el resultado de un tratamiento térmico insuficiente, este tipo de deterioro se divide en dos categorías:

- 1.- Deterioro debido al error o mala manipulación.
- 2.- Deterioro debido a un tratamiento insuficiente dada la extremada resistencia al calor de algunas bacterias termófilas.

Los tipos de descomposición producida por organismos termófilos en alimentos enlatados son⁽⁴⁾.

a) Descomposición agria simple o plana; la cual es producida por organismos termófilos, del género Bacillus, que partiendo de los carbohidratos presentes en el alimento producen ácido, pero no gas, por lo cual los extremos de la lata permanecen planos.

b) Descomposición gaseosa; este tipo de descomposición puede deberse a organismos termófilos de los géneros Bacillus y Clostridium y es evidenciada por la producción de ácido y gas, dando como resultado el abombamiento de los extremos de la lata.

c) Descomposición gaseosa putrefactora. Se debe a organismos termófilos del género Clostridium que producen gas y compuestos fétidos, tal como sulfuro de hidrógeno

3.- Factores que influyen en el deterioro de los alimentos.

De forma general los factores que más influyen en el deterioro de los alimentos, son :

- Daños mecanicos.
- Vacío o espacio superior insuficiente.
- Descomposición por fugas.

Por lo cual, es necesario que se ponga más atención a los problemas del enlatado para que se eviten daños durante el manejo y transporte.

El abollamiento de una lata durante el transporte y manejo, antes de que se le almacene puede contribuir a la descomposición y pérdida, debido a :

- El abollamiento puede llevar a una disminución de vacío.
- El abollamiento puede llevar a fugas, seguidas de descomposición

Se ha encontrado que, respecto a las latas cilindricas con una capacidad aproximada de 1 Kg., basta una presión positiva de 100 a 200 mm Hg. para hacer que la lata se abombe.

El volumen de espacio libre superior de una lata es también un factor importante que rige el comportamiento de abombamiento, problema que es más difícil de controlar adecuadamente durante la fase de fabricación.

La descomposición por fugas, es una descomposición producida en alimentos enlatados, después de su elaboración por microorganismos que penetran a través de aberturas presentes en las latas. Por lo general, en estas latas se encontrará una microflora mixta de descomposición, dando como resultado la producción de gas, de modo que, finalmente la lata presente un hinchazón blanda o tenaz, a menos que las aberturas sea lo suficientemente grandes para permitir que el gas escape de la lata.

E. Vida de anaquel.

De acuerdo con diferentes autores^(11,34,38) se empleara el término vida de anaquel como el período de tiempo en el cual se mantiene la aceptabilidad de un producto para su consumo, utilizando como criterio, determinar los indicadores de calidad como son: asimilación de metales, alteraciones de color, sabor, textura, pérdida de valor nutritivo y apariencia.

En términos comerciales Sutherland P.⁽⁴⁰⁾ define a la vida de anaquel como el tiempo en el cual el producto tiene cualidades satisfactorias para su venta.

1.- Tipos de fecha que se colocan en los alimentos.

Considerando que cada tipo de alimento tiene su propio período de durabilidad, existen diferentes tipos de fechas que pueden ser colocadas en el empaque del alimento; los cuales se enlistan en tabla 3.

Tabla 3. Diferentes tipos de fechas que se colocan en los alimentos

Tipo de fecha	Definición	Uso
Fecha de producción	Fecha en la cual el alimento es cosechado o elaborado	Productos agrícolas.
Fecha de envasado	Fecha en la que el alimento se coloca en el envase en el que se venderá finalmente	Alimentos empaquetados
Fecha de exhibición	Fecha en la que el alimento es colocado por primera vez en el anaquel de una tienda al detalle de alimentos.	Productos frescos
Fecha límite de venta	Es la última fecha en la que un producto puede permanecer en el anaquel de una tienda o ser vendido	Productos alimenticios procesados.
Fecha óptima de consumo	En el período de tiempo dentro del cual, en condiciones normales de almacenamiento y manipulación, el producto conserva inalterados sus condiciones originales	Alimentos manufacturados.
Fecha límite de utilización	Después de esta fecha el alimento no se considerará comercializable ni apto para la alimentación humana.	Alimentos procesados

Dentro de todas estas posibilidades no podemos evitar la pregunta de cuál es o debería ser el tipo de fecha a considerar en cada caso, para lo cual Mariné-Font A., et al.⁽³⁴⁾ reportan que al parecer la mayoría de los consumidores se interesan por la combinación de dos fechas tales como "fecha de envasado" y "fecha óptima de consumo".

Una fecha de duración de los alimentos puede ser beneficiosa para todos siempre y cuando no se olvide el control del inventario, las condiciones de elaboración del producto, su envasado y su distribución.

Sin embargo, los beneficios de colocar la fecha de duración se acentuarían si se educara a los tres sectores involucrados en la cadena de los alimentos (productores, distribuidor y consumidor) sobre como mantener la calidad de los alimentos.

2.- Factores que afectan la vida de anaqué

La vida de anaqué de los productos procesados se ve afectada por diferentes factores, los cuales van variando la calidad de los productos hasta llegar al deterioro; tales factores son:

- 1)Clase de componentes.
- 2)Proceso de fabricación.
- 3)Tipo o sistema de empaque (atmósferas controladas o modificadas)
- 4)Intervalo de tiempo comprendido desde la producción del alimento hasta el consumo del mismo.
- 5)Ambiente al que se expone durante su distribución (temperatura, humedad relativa, atmósfera,...)
- 6)Condiciones de transporte.

En dado caso de que se pierda el control de uno o más de estos factores, se pueden tener diferentes efectos sobre el alimento, como son:

- 1)Deterioro por acción de enzimas o de microorganismos.
- 2)Reacciones de obscurecimiento no enzimatico.
- 3)Pérdida de cualidades estáticas (color, olor, textura y apariencia global).
- 4)Aparición de parásitos (insectos o roedores)

- 5) Cambios físicos (deshidratación de la superficie, alteraciones debidas a un aumento en la humedad, alteraciones de textura)
- 6) Reacciones químicas (oxidación, enranciamiento, etc.)
- 7) Contaminación ambiental durante el almacenaje.
- 8) Pérdida del valor nutritivo (avalado en las alteraciones en la estructura de proteínas, deterioro de vitaminas).
- 9) Interacciones entre producto y envase.

En específico para frutas y vegetales enlatados sus componentes se deterioran en el siguiente orden: olor; textura y (mucho después) pérdida de nutrimentos. Estos cambios dependen del tiempo y de la temperatura. Ellos ocurren tanto durante el procesamiento térmico como en el almacenamiento.⁽²¹⁾

Los factores que afectan la retención de nutrimentos son: estabilidad al calor, acidez o pH, solubilidad, concentración de oxígeno, sensibilidad a la luz, e interacción entre nutrimentos⁽¹⁶⁾.

3.- Clasificación de los alimentos según su vida de anaquel .

Los alimentos pueden clasificarse en tres grandes categorías, recordando que perecibilidad es un término relativo por lo cual se debe indicar el tipo de alimento, su empaque y las condiciones ambientales a las que está sometido.

En la tabla 4 se presenta la clasificación de los alimentos según su vida de anaquel.

Tabla 4. Clasificación de los alimentos según su vida de anaquel.

Tipo de alimento	Ejemplos	Vida útil
Alimentos perecederos	Leche fluida Artículos frescos de panadería Carnes frescas Pescado Aves Frutas y vegetales frescos.	2-30 días
Alimentos semi-perecederos	Algunos quesos Vegetales de raíz Huevo Leche pasteurizada Jamón ahumado Encurtidos Bocadillos fritos Helados Carnes curadas	30-90 días
Alimentos estables al almacenamiento.	Alimentos enlatados Alimentos deshidra- tados. Alimentos congela- dos. Granos de cereal Leguminosas Nueces Sal Azúcar.	90 días- años

F. Predicción de la vida de anaquel.

1.- Diferentes formas de acelerar las pruebas para predecir la estabilidad de los alimentos durante el almacenamiento.

Para establecer en un tiempo relativamente corto la fecha de duración de un producto, se hace uso de las pruebas de vida de anaquel acelerada (Accelerated Shelf-life Testing -ASLT-) dentro de las cuales los métodos empleados son: elevado temperatura, elevado presión de oxígeno, elevado contenido de humedad y métodos combinados.

a) Temperaturas elevadas.

El método general para acelerar la velocidad de deterioro de alimentos es aumentando la temperatura a la cual el producto es almacenado, y se emplean varias correlaciones (usualmente basadas en la relación de Arrhenius o simplificaciones de esta relación, tal como el concepto de Q_{10} "ver pag. 42") para extrapolar los resultados para las temperaturas esperadas en el almacenamiento.

Cuando se desea precisión en las pruebas se usan varias temperaturas elevadas de almacenamiento y el valor de Q_{10} o E_A es determinado experimentalmente, basándose en la suposición de que es independiente de la temperatura.

Si el orden de reacción es conocido y la ecuación de Arrhenius aplicada con una E_A constante, las pruebas aceleradas de estabilidad pueden ser usadas isotérmica o no-isotérmicamente⁽⁴¹⁾.

De las pruebas aceleradas para predecir la estabilidad de los alimentos (elevando temperatura) se obtiene la gráfica de vida de anaquel, la cual se representa obedeciendo a la relación exponencial que existe entre la vida de anaquel y la temperatura, refiriendo la vida de anaquel en días vs. temperatura a la que se logró tal vida de anaquel, lo cual generalmente da como resultado una línea recta⁽²¹⁾ (ver fig. 5)

Para la construcción de la gráfica de vida de anaquel se hace necesario conocer la velocidad de la pérdida de calidad en función de un parámetro, así como el punto en el cual el producto es inaceptable y realizar experimentos de vida de anaquel acelerada a diferentes temperaturas.

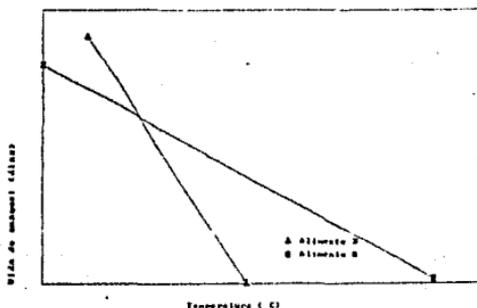


Fig. 6 Gráfica de la vida de anaquel.

Labuza y Schmidl (1985) basados en sus propias experiencias, dependiendo del tipo de alimento a tratar, recomiendan diferentes temperaturas para pruebas de anaquel acelerada.

Tabla d. Recomendaciones de la temperatura del almacenamiento para pruebas de alimentos con vida de anaquel acelerada.

Alimentos congelados ^a	Alimento deshidratados y con humedad intermedia	Alimentos procesados termicamente
-40 °C	0 °C (control)	5 °C (control)
-15 °C	23 °C (temp. amb.)	23 °C (temp. amb.)
-10 °C	30 °C	30 °C
-5 °C	35 °C	35 °C
	40 °C	40 °C *
	45 °C (si se puede conseguir)	

Para productos refrigerados se emplea como temp max. entre 7 y 10 °C

*Debido en parte al posible crecimiento de termófilos el cual empieza entre los 40° y 45°C.

b) Elevada presión de oxígeno

El oxígeno disponible es otro factor que puede afectar el tiempo en el que se alcance el punto final de la vida de anaquel. Varias reacciones pueden ser analizadas con respecto a la disponibilidad de oxígeno, como son:

- 1) crecimiento microbiológico
- 2) senescencia de frutas y vegetales
- 3) obscurecimiento de carne fresca
- 4) rancidez (oxidación de lípidos) y
- 5) degradación de vitamina C

Generalmente, las reacciones que implican oxidación pueden ser aceleradas mediante pruebas de estabilidad a presión de oxígeno elevada. Sin embargo, y debido a que las reacciones típicas de oxidación se llevan a cabo independientes a la concentración de oxígeno sobre algunos niveles críticos de concentración, el grado de aceleración no es determinante para predecir la vida de anaquel.

En otros casos, la cantidad de oxígeno presente es capaz de reaccionar con algún componente del alimento y su efecto es significativo, siendo considerable la velocidad lograda, por lo cual de manera general es frecuentemente útil la siguiente ecuación⁽⁴⁴⁾:

$$R = \frac{O_2}{(k_1 + k_2 O_2)}$$

donde:

- R = velocidad de reacción
- O_2 = concentración de oxígeno
- k_1, k_2 = constantes.

En base a dicha ecuación se puede llegar a una relación lineal entre la velocidad de reacción y la concentración de oxígeno, lo cual queda en función de los valores de k_1 y $k_2 O_2$, los que a su vez dependen de la temperatura, relación superficie-volumen y presión de oxígeno.

c) Elevado contenido de humedad

Este tipo de pruebas puede ser aplicado para los alimentos deshidratados y se puede estudiar a profundidad varias reacciones de deterioro.

La literatura referente presenta que conforme aumenta la actividad de agua (a_w) ciertas reacciones que no ocurren a valores de a_w bajos pueden predominar a a_w elevados, dando como resultado problemas al proyectar los datos para otras condiciones.

Las pruebas que se realizan elevando el contenido de humedad se pueden facilitar si de antemano se conoce la dependencia de las reacciones con un factor ambiental. Lo anterior fué ratificado por Mizrahi et al (1970), dado que empleando col deshidratada demostraron que las pruebas aceleradas arrojan resultados precisos si con anterioridad se conoce la dependencia del oscurecimiento no enzimático con un contenido de humedad establecido, así como su energía de activación.

Mizrahi y Karel (1977) desarrollaron un método para la predicción de isoterma de estabilidad de almacenamiento de alimentos empacados en envases permeables al vapor de agua. El método no requiere conocimiento del modelo cinético que depende del contenido de humedad, esto puede ser aplicado para alimentos deshidratados cuando el índice de deterioro depende solamente del contenido de humedad, con cambios continuos durante el almacenamiento.

En la siguiente figura '2a' se ilustra el efecto del incremento de la actividad de agua (a_w) en la vida de anaquel de un alimento a tres diferentes temperaturas, siendo $T_1 > T_2 > T_3$

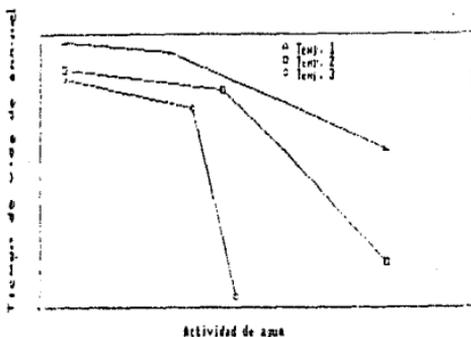


Fig. 7. Efecto del incremento de la a_w en la vida de anaquel de un alimento.

d) Métodos combinados.

Los métodos combinados permiten cambios en más de una variable y en la mayoría de los casos se usan condiciones dinámicas donde la temperatura y la humedad varían al mismo tiempo.

Las pruebas dinámicas no-isotermicas también son usadas, pero estas requieren de otros conocimientos previos del mecanismo implicado, o conocimiento de las reacciones de deterioro en función de la temperatura solamente.

El oscurecimiento no-enzimático, es uno de los mayores problemas en el almacenamiento, el cual puede ser evaluado por pruebas aceleradas de método combinado.

2. - Cinética de reacción del deterioro de alimentos.

Las cinéticas de reacción relacionan la velocidad de deterioro de un producto, tanto con los factores ambientales (temperatura, presión, etc.).

La ecuación general que describe la pérdida de atributos de calidad es la siguiente:

$$- \frac{dA}{dt} = f(E_i, F_j)$$

donde:

A = cantidad de un atributo de calidad

-dA/dt = velocidad de deterioro

E_i = factores ambientales ($i=1, \dots, n$)

F_j = factores de composición ($j=1, \dots, m$)

En general, para alimentos, la pérdida del valor nutricional o de calidad puede ser expresada como ⁽²²⁾ :



donde:

A = calidad deseable; A_0 al tiempo = 0

B = calidad indeseable

t = tiempo

La expresión matemática para la mayoría de las reacciones, se presenta de tal manera que la velocidad de reacción depende de la concentración de reactantes.

$$-\frac{dA}{dt} = k(A)^n$$

donde :

n = orden de reacción (=) adimensional

k = constante de proporcionalidad que depende de la temperatura y de la actividad de agua (=) tiempo⁻¹

Bibliográficamente se reporta que las reacciones de deterioro en productos alimenticios generalmente son de cero o primer orden, en la tabla 5 se muestran algunas reacciones típicas en alimentos con su respectivo orden de reacción

Tabla 5. Reacciones típicas en alimentos y su orden de reacción.

Tipo de reacción	Orden	Referencia
Destrucción de ác. ascórbico bajo condiciones anaerobias en jugo de tomate.	Primero	Lee, C. Y., et. al. 1977 (26)
Destrucción de ác. ascórbico en alimentos de humedad intermedia.	Primero	Waletzko, P. y Labuza, P. 1976 (47)
Obscurecimiento no enzimático en alimentos de humedad intermedia.	Cero	Waletzko, P. y Labuza, P. 1976 (47)
Destrucción de tiamina en pure de chicharos enlatados.	Cero	Lenz, K. y Lund, B. 1980 (28)
Destrucción de lisina en suero de leche en polvo, bajo fluctuaciones de temp. (25/45°C, 5 días en cada temp.).	Primero	Labuza, P. y Riboh, D. 1982 (22)
Pérdida de textura durante el procesamiento térmico.	Primero	Saguy, I. y Karel, M. 1980 (41)
Obscurecimiento no enzimático en leche deshidratada, fruta y vegetales.	Cero	Saguy, I. y Karel, M. 1980 (41)
Destrucción de carotenos en fruta y vegetales congelados.	Cero	Labuza, P. 1982 (21)

3. - Efecto de la temperatura en la cinética de reacción del deterioro de los alimentos.

a) Ecuación de Arrhenius.

Para entender el efecto de la temperatura en las reacciones, se realizará un análisis del efecto que tiene desde el punto de vista termodinámico.

Como ya se menciona la literatura relacionada con la estabilidad de alimentos⁽¹⁹⁾ reporta que de manera general el deterioro de los productos alimenticios, presentan reacciones de cero o primer orden, por lo cual se asume que :



donde el cambio en la energía de Gibbs se representa de la siguiente forma:

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ} = -RT \ln K_{eq} \quad (2)$$

donde:

ΔH° = cambio en la entalpia

ΔS° = cambio en la entropia

R = Temperatura absoluta

K_{eq} = constante de equilibrio

También en el equilibrio, se tiene que :

$$K_{eq} = \frac{[c]}{[A]} = \frac{k_f}{k_b} \quad (3)$$

Reordenando la ec. 2, obtenemos:

$$\ln K_{eq} = \frac{-\Delta H^{\circ}}{RT} + \frac{\Delta S^{\circ}}{R} \quad (4)$$

Si ΔH° y ΔS° no son una de la temperatura, entonces:

$$\frac{\delta \ln K_{eq}}{\delta (1/T)} = - \frac{\Delta H}{R} \quad (5)$$

Por tanto, se puede conocer el valor de K_{eq} para cualquier temperatura, siempre y cuando el efecto del H° al variar la temperatura sea pequeño. Ya que :

$$\Delta H^{\circ} = \Delta E^{\circ} + P^{\circ} \Delta V + V^{\circ} \Delta P \quad (6)$$

donde:

ΔH° = cambio en la entalpia

ΔE° = cambio en la energía interna

$P^{\circ}, \Delta P$ = presión

$V^{\circ}, \Delta V$ = volumen

Como para $T = \text{cte.}$, F^{II} o V^{II} no varían independientemente.

$$\Delta H^{\text{D}} = \Delta E^{\text{D}} + \Delta nRT \quad (7)$$

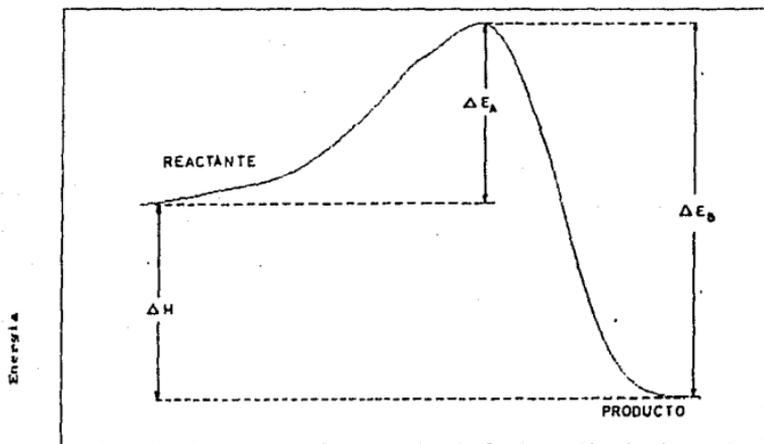
donde :

Δn = cambio en los moles de la reacción

Por lo cual en base a (5) tenemos :

$$\frac{\delta \ln K_{\text{eq}}}{\delta (1/T)} = \frac{-\Delta E^{\text{D}}}{R} \quad (8)$$

donde ΔE_{A} se refiere al cambio en la energía que la molécula A experimenta antes de que se transforme en producto producto C (ver figura B)⁽¹⁹⁾



Reacción coordinada

FIG 8 ENERGIA DE REACCION

En base a lo anterior y recordando que k es directamente proporcional a k_{eq} , al integrar la ec. 8, se obtiene la ecuación de Arrhenius, la cual relaciona la velocidad de reacción con la temperatura:

$$r = k_u e^{-E_A/RT} \quad (9)$$

donde:

r = Velocidad de reacción; siendo la masa en moles de un producto formado o de un reactante consumido por unidad de tiempo. Esta cantidad puede ser negativa cuando es un reactante y positiva cuando se trata de un producto.

k_u = factor de frecuencia o pre-exponencial

E_A = energía de activación

R = constante de los gases

T = temperatura absoluta.

La ecuación 9 es comúnmente empleada para obtener, con buena aproximación, la dependencia del deterioro de un alimento con respecto a la temperatura⁽²²⁾.

Basandose en la ecuación de Arrhenius, el valor de la energía de activación generalmente es derivada de graficar $1/T$ en la abscisa y k en la ordenada (ver fig. 7). Tal valor depende de factores de composición, tales como actividad de agua, contenido de humedad, concentración de sólidos, pH y otros.

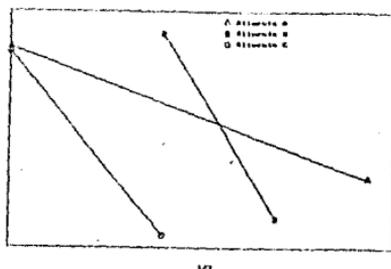


Fig. 7. Gráfica de Arrhenius.

En la fig. 7 las líneas representan diferentes reacciones, de donde se observa que la reacción más sensible a los cambios de temperatura, será B debido a que presenta una velocidad de reacción más elevada a una temperatura dada.

La gráfica también ilustra que el alimento A y el B a cierta temperatura es posible que tengan la misma constante de proporcionalidad; sin embargo, por arriba o debajo de tal nivel el valor de k es diferente. Esto podría ser significativo si en un alimento se tienen dos modelos de deterioro, ya que el modelo de deterioro puede cambiar con la temperatura, lo cual podría crear un problema en la predicción de la vida de anaquel. Por ejemplo, si un estudio de vida de anaquel se hace a temperatura T_E y la pérdida de calidad en el alimento puede medirse tanto por el mecanismo A y B, B puede ser más rápido e influir más en el término de la vida de anaquel. Si la pendiente de la línea B es conocida, uno podría proyectarlo para bajas temperaturas y obtener la k para T_S (temperatura de almacenamiento) y así obtener la vida de anaquel. Sin embargo, como se observa a T_S la k para el modelo A es mayor que para B, y si se basara uno solamente en el modelo B se puede predecir un periodo de vida de anaquel corto comparado con el verdadero.

El valor de la energía de activación (E_A) es muy variado y este depende del tipo de reacción que se presente en el alimento. En base a lo anterior, en la siguiente tabla se resumen valores típicos de la E_A para diferentes tipos de reacción.

Tabla 7. Valores típicos de energía de activación.

Tipo de reacción	Energía de activación (kcal/mol)
Difusión	0 - 8
Reacción enzimática	10 - 30
Hidrólisis	10 - 20
Oxidación de lípidos	10 - 25
Color, textura, sabor	10 - 30
Vitaminas	20 - 30
Obscurecimiento no enzimático	25 - 50
Destrucción enzimática	12 -100
Destrucción de células vegetativas	50 -150
Desnaturalización de proteínas	80-120

b) Concepto de Q_{10}

El valor de Q_{10} indica en que proporción se incrementa la velocidad de una reacción al aumentar 10°C la temperatura. El modelo de Q_{10} puede ser usado para describir como se comportaría una determinada reacción si el producto se mantiene a diferentes temperaturas.

Si el valor de Q_{10} (factor de aceleración por temperatura) es conocido, entonces es posible hacer la extrapolación para diferentes condiciones de temperatura, lo cual es útil para la predicción de la verdadera vida de anaquel de un producto.

El Q_{10} es definido como :

$$Q_{10} = \frac{\text{Velocidad de reacción a la temp. } (T + 10)}{\text{Velocidad de reacción a la temp. } (T)} \quad (1)$$

El Q_{10} también puede ser calculado de la gráfica de vida de anaquel como :

$$Q_{10} = \frac{\text{Vida de anaquel a la temp. } T}{\text{Vida de anaquel a la temp. } (T + 10)} = \frac{\theta_s (T)}{\theta_s (T + 10)} \quad (2)$$

donde:

T = Temperatura en $^{\circ}\text{C}$

θ_s = Vida de anaquel a la temp. indicada.

Por ejemplo, basandonos en la fig. 5 y haciendo uso de la ec.2 es posible calcular el Q_{10} para el alimento A.

$$Q_{10} = \frac{\theta_a \text{ a } 25 \text{ C}}{\theta_a \text{ a } 35 \text{ C}} = \frac{200}{50} = 4$$

mientras que para el alimento B:

$$Q_{10} = \frac{890}{3} = 266$$

En base a lo anterior se puede apreciar que el alimento B es más sensible que A a los cambios de temperatura, por lo cual el incremento en la velocidad de reacción de deterioro del producto B será mayor. Por lo tanto, a temperatura ambiente el alimento A será más perecedero que B.

Para un incremento de temperatura diferente de 10°C , se tiene:

$$Q_{10}^{/10} = \frac{\theta_a (T_1)}{\theta_a (T_2)}$$

Por ejemplo, si el Q_{10} es de 3 y se tiene que la vida de anaquel θ_a es de 6 meses a 35°C , para saber cual será su vida de anaquel a 20°C , tenemos:

$$\theta_{20} = \theta_{35} \cdot Q_{10}^{15/10} = 6 (3^{1.5}) = 31.2 \text{ meses}$$

El valor de Q_{10} tiene un gran efecto en la predicción de la vida de anaquel. Como se muestra en la tabla 8 (suponiendo el Q_{10} constante para diferentes temperaturas), una diferencia de 0.5 en el Q_{10} repercute grandemente en la predicción de la vida de anaquel conforme aumenta la temperatura.

Tabla 8. Efecto de la temperatura en la vida de anaquel para valores ctes. de Q_{10}

Temperatura ($^{\circ}$ C)	Vida de anaquel (semanas)				
	$Q_{10} = 2$	2.5	3	4	5
50	2	2	2	2	2
40	4	4	6	8	10
30	8	12.5	18	32	50
20	16	31.3	54	2.4*	4.8*

* Años.

Fuente: Labuza y Riboh Theory and Application of Arrhenius. ⁽²²⁾

Teóricamente, el Q_{10} y la energía de activación pueden ser relacionados según la siguiente ecuación ⁽²²⁾.

$$\log Q_{10} = \frac{2.19 E_A}{(T) (T+10)}$$

donde :

E_A [=] Kcal/mol. ; T [=] $^{\circ}$ K

Si el valor de E_A es cte., entonces el Q_{10} aumenta conforme disminuye la temperatura, tal como se muestra en la tabla.9.

Tabla 9. Efecto de la temperatura en el Q_{10} para varios valores de E_A

E_A (Kcal/mol)	Q_{10}		
	(-17.8 a -11 c)	(26.7 a 36.7 c)	(100 a 110 c)
5	1.45	1.31	1.19
10	2.11	1.72	1.42
15	3.06	2.26	1.70
20	4.43	2.97	2.03
30	6.43	5.11	2.88
40	9.35	8.74	4.10
50	41.39	15.03	5.83

Fuente: Labuza y Riboh Theory and Application of Arrhenius.⁽²²⁾

El valor de Q_{10} varia dependiendo tanto del tipo de alimento como de la reacción en cuestión, esto se muestra en la tabla 10, donde se puede observar que si se asume que en general para alimentos el Q_{10} es igual a 2 se cae en un gran error.

Tabla 10. Variaciones del valor de Q₁₀ para diferentes alimentos durante el almacenamiento.

Tipo de alimento	Q ₁₀ (21-31°C)
FRUTAS Y VEGETALES ENLATADOS	
Pérdida de calidad sensorial	1.4 - 2.0
Pérdida del 10% de tiamina	2.1 - 4.7
Pérdida del 20% de tiamina	1.5 - 2.0
Pérdida del 10% de Vit. C	1.9 - 2.0
Pérdida del 20% de Vit. C	1.6 - 3.1
Pérdida del 10% de Riboflavina	1.4 - 3.2
ALIMENTOS DESHIDRATADOS	
Pérdida del 10% de lisina en chile cascabel	20
Pérdida del 10% de Vit. A y C en chile cascabel	3.1
Pérdida del 50% de tiamina en carne de puerco	9.6
Reacciones de obacurecimiento	4 - 10
DULCES	
Cambio de textura	1.15 - 3.66
Cambio de humedad	1.02 - 1.17
FRUTAS Y VEGETALES EN FRESCO	
Pérdida de calidad sensorial	1.5 - 2.0
Respiración ^a	1.9 - 2.5
ALIMENTOS CONGELADOS^b	
Rancidez	1.5 - 3.0
Pérdida de calidad	20 - 40

^a En el intervalo de 10° a 24°C

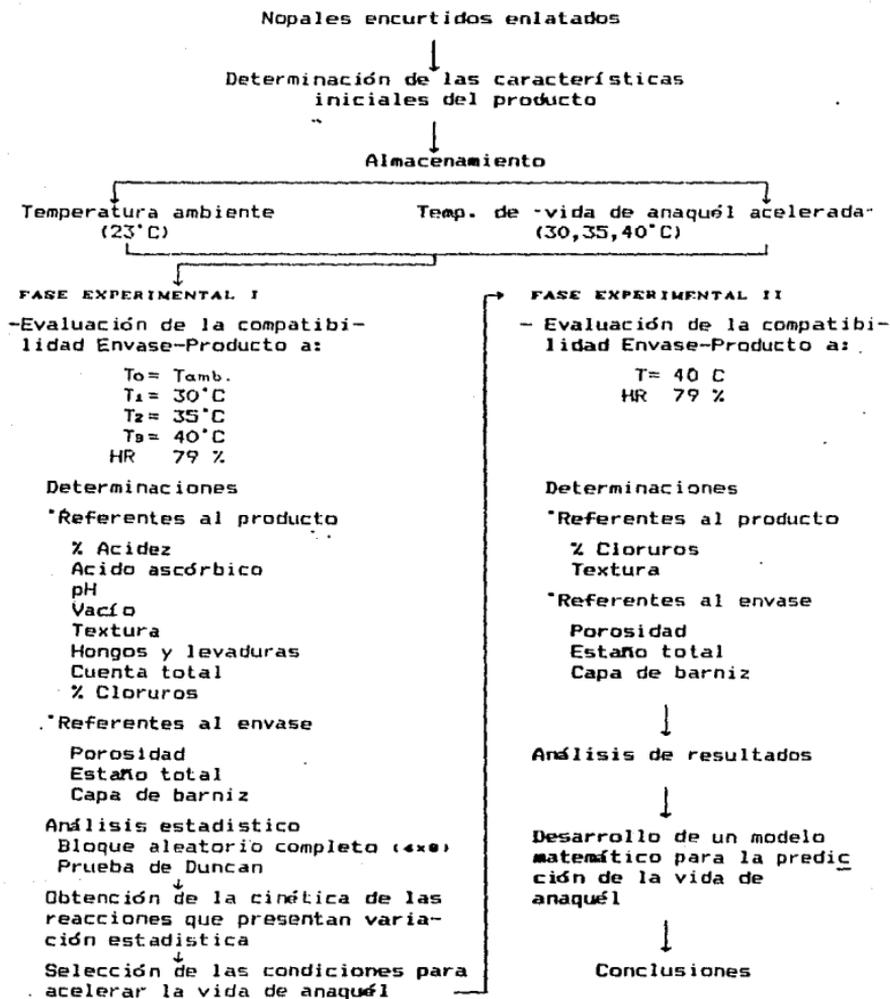
^b En el intervalo de -10° a -20°C

Fuente : Labuza P. 1982. Shelf-life Dating of Foods. (adaptación).

En base en lo anterior, en el presente proyecto se considerará que el Q₁₀ presenta diferentes valores, dado que la proporción con que se incrementa la velocidad de una reacción depende del intervalo de temperatura en el que se trabaje, tal y como se establece en la ecuación de Arrhenius.

II . M E T O D O L O G I A

Cuadro Metodológico



Desarrollo Experimental

Los nopales encurtidos se enlataron bajo condiciones preestablecidas por la Empacadora la Potosina (EPSA); tal tratamiento térmico se llevo a cabo en el Laboratorio de la Nave 2000 de Ingeniería en Alimentos en C-4, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, y el almacenamiento se realizó en EPSA (S.L.P.)

Siendo el producto un alimento ácido se utilizó un envase de hojalata tipo "L", el cual por su bajo contenido de fósforo y residuos metálicos es resistente a la corrosión; siendo el recubrimiento una oleoresina. El envase utilizado fue de tres piezas.

En base a la composición del nopal fresco (INN)

Proteína	1.7 %
Carbohidratos	5.6 %
Grasa	0.3 %
Acido ascórbico	8.0 ^{mg} /100 g
Tiamina	1.6 ^{mg} /100 g
Riboflavina	0.03 ^{mg} /100 g

y tomando en cuenta que la vitamina C es sensible al calor, se considero necesario adicionar ácido ascórbico (p.a.) al líquido de cobertura (0.7 g) antes de la operación de enlatado; con la finalidad de establecer, desde el punto de vista nutricional, los cambios presentes en los nopales encurtidos enlatados durante el almacenamiento.

Basandose en el cuadro metodológico y siguiendo la secuencia establecida, se procedio a almacenar el producto considerando las recomendaciones hechas por Labuza y Schimid⁽²⁴⁾. Previo a dicho almacenamiento se determinaron características iniciales del alimento enlatado, las cuales corresponden al tiempo cero.

En la PRIMERA FASE experimental se evaluó la compatibilidad envase-producto para cada una de las condiciones de almacenamiento; para lo cual se tomó diariamente una muestra al azar y se le realizaron las determinaciones fijadas en el cuadro metodológico, mediante las siguientes técnicas.

Determinación	Técnica
pH	32.016 AOAC 1984
% cloruros	Método de Mohr
% acidez	32.043 AOAC 1984
Ac. ascórbico	2,6 diclorofenol-indofenol
Textura	Penetrómetro
Vacío	NOM-F-144-1978
Hongos y levaduras	Microbiology Analysis FDA
Cuenta total	Microbiology Analysis FDA
Porosidad	Ensayo del sulfato de cobre
Estado total	Método de Clarke
Capa de barniz	NOM-EE-147-1982.

Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de bloques aleatorizados completos, en arreglo 4x8 para determinar si la variación en las observaciones se debe a diferencias entre las temperaturas de almacenamiento (tratamientos).

Después de la realización de dicho análisis, en los casos donde se rechazó la hipótesis nula (H_0) donde se postuló que no existe diferencia entre los tratamientos, quedaba el problema de decidir cuál o cuáles eran los tratamientos causantes de tal rechazo; para resolver tal problema se llevaron a cabo comparaciones múltiples por medio de la prueba de Duncan, la cual establece que trataminetos estadísticos son iguales.

Las reacciones que presentaron variaciones estadísticamente significativas fueron tratadas para determinar el orden de reacción que presentan, para lo cual se calculó el valor de la velocidad de reacción para las diferentes temperaturas manejadas y haciendo uso de la ecuación de Arrhenius, se obtuvo el valor de la E_A para cada una de las reacciones.

Considerando la relación teórica que existe entre la E_A y el Q_{10} se calculó el valor de este último, el cual se empleó en la predicción de la vida de anaquel.

Al término de la primera fase experimental y posterior al análisis de los datos obtenidos, se seleccionaron las condiciones bajo las que se operó durante la SEGUNDA FASE.

En dicha fase se llevaron a cabo las siguientes determinaciones:

- % Cloruros
- Textura
- Porosidad
- Estáño total
- Capa de barniz

En cuanto al método empleado para las determinaciones fueron las mismas que las de la primera fase.

El propósito de esta fase fue el obtener para un tiempo prolongado (35 días) la tendencia de cada uno de los parámetros que son significativos para la calidad del producto en cuestión.

Se obtuvo un modelo matemático que corresponde a la tendencia que presenta la pérdida de textura durante el almacenamiento, en base a la cual se calculó la vida de anaquel para las condiciones de trabajo.

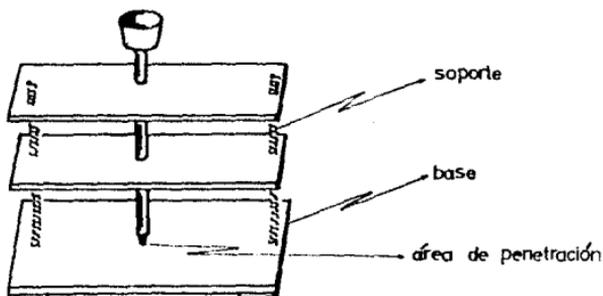
Con el valor de la vida de anaquel a $T=40^{\circ}\text{C}$ y el Q_{10} obtenido en la fase anterior se realizó la predicción de la vida de anaquel a diferentes temperaturas para establecer la fecha óptima de consumo.

Es importante señalar que para poder llevar a cabo la determinación de textura se elaboró un penetrómetro empírico, tomando en cuenta que tal característica puede ser expresada por medio de la resistencia a la fuerza. El principio de medición empleado fué la compresión.

Como todo sistema de medición, es importante tomar en cuenta su precisión, entendiéndose como tal la capacidad del sistema para reproducir los mismos valores cuando la misma magnitud se mide repetidas veces⁽⁵²⁾. Para la determinación de dicha capacidad se llevó a cabo un análisis estadístico el cual arrojó los siguientes resultados:

d.e. = 6.7868
c.v. = 3.2357 %
intervalo de confianza = ± 1.8757
máx. desv. aceptable = 5.9314 %

Por lo tanto el equipo utilizado es preciso.



Diseño Experimental

Primera fase experimental

Siguiendo la secuencia metodologica propuesta se almacenó el producto bajo las siguientes condiciones: Temp. ambiente (23°C), 30, 35, 40°C; siendo la humedad relativa de HR \approx 79 %, considerando los siguientes parámetros:

Unidad experimental : Latas de nopal encurtido (401x411)

Tratamientos : Temperatura de almacenamiento (23°, 30°, 35° y 40°C)

Factores a controlar : Humedad relativa

Variable de respuesta : Atributos de calidad
Velocidad de las reacciones de interacción envase-producto

El almacenamiento de las latas se realizó en un horno marca MAFSA Modelo EC-334 y el control de la humedad relativa se logró mediante el uso de soluciones saturadas de cloruro de sodio.

El tiempo de almacenamiento a las diferentes temperaturas fué de siete días, siendo el tamaño de la población de 8 latas, tomando en cuenta la del tiempo cero.

Para evaluar la compatibilidad envase-producto durante el almacenamiento, se efectuaron los análisis antes mencionados, estas determinaciones se realizaron diariamente.

Segunda fase experimental

Como se citó en el cuadro metodológico, para esta fase se trabajó bajo las condiciones que aceleran más la vida de anaquel, siendo dichas condiciones, la temperatura de 40°C y HR ≈ 79%

Durante esta fase se realizaron las determinaciones que estadísticamente variaron más significativamente, lo cual se obtuvo en la primera fase.

A lo largo de esta etapa se consideraron los siguientes parámetros:

Unidad experimental : Latas de nopal encurtido (401x411)

Tratamientos : Tiempo de almacenamiento

Factores a controlar : Temperatura y humedad relativa

VARIABLES DE RESPUESTA : Atributos de calidad del producto
Velocidad de las reacciones de
interacción envase-producto.

III. DISCUSION DE RESULTADOS

Fase I.

Siguiendo la metodología establecida, se evaluó la variación de los diferentes parámetros de calidad de nopales encurtidos enlatados para las cuatro temperaturas de almacenamiento manejadas (23, 30, 35 y 40°C) durante siete días.

Los resultados obtenidos fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de bloques aleatorizados completos. En aquellos casos en los que se detectó variación, se procedió a realizar comparaciones múltiples para detectar que tratamientos estadísticos provocan tal variación.

En el análisis de bloques aleatorizados completos, se consideraron las diferentes temperaturas como los tratamientos y los días como bloques, siendo las determinaciones las variables de respuesta; cuyas hipótesis fueron:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4.$$

H_a : las μ_i no son todas iguales

los resultados estadísticos se presentan en la tabla I

Tabla I. Resultados estadísticos

Determinaciones	A. B. A. C.	Prueba de Duncan	
Textura	‡ ‡	<u>30-35</u>	<u>35-40</u>
Porosidad	‡ ‡	<u>23-30</u>	<u>30-35</u>
Ac. ascórbico	‡ ‡	Todas las medias son diferentes.	
% Cloruros	‡ ‡	<u>23-30</u>	<u>35-40</u>
Vacío	n. s.		
pH	n. s.		
% acidez	n. s.		

A. B. A. C. : an'lista de bloques aleatorizados completos

n. s. : diferencia no significativa

‡ ‡ : diferencia altamente significativa

 : medias con diferencia no significativa

Cabe señalar que los valores de capa de barniz y estaño total no se sometieron al análisis estadístico debido a que se presentaron problemas al momento de la determinación.

En base a los resultados obtenidos se puede afirmar que el producto en cuestión es microbiológicamente estable, lo cual se debe al método de conservación empleado y a la buena protección brindada por el envase empleado. Tal aseveración se basa en que las determinaciones microbiológicas, resultaron negativas para las condiciones de trabajo.

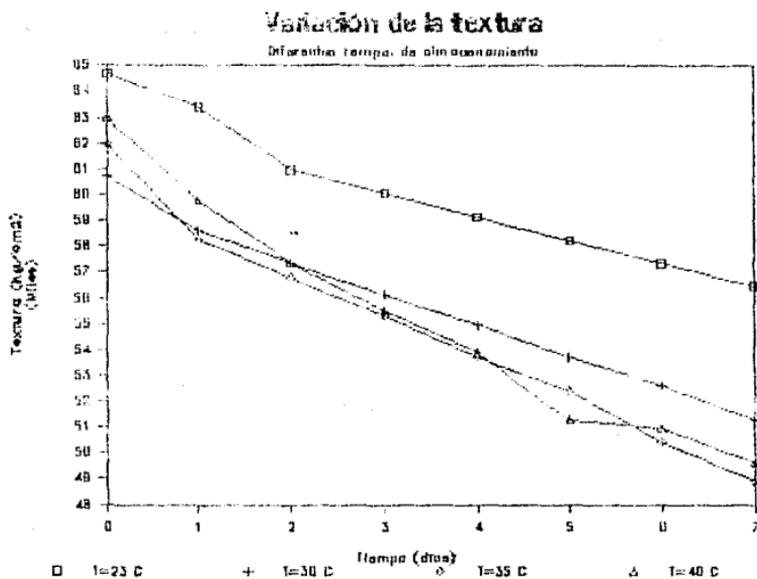
La hermeticidad del envase se confirma al observar que no existe diferencia en el vacío durante el almacenamiento, por lo cual y apoyado en el tratamiento térmico no existe crecimiento microbiano, lo que se relaciona con la estabilidad del pH del producto.

La estabilidad del vacío también se relaciona con la corrosión que se lleva a cabo en el interior del envase. La corrosión se confirma al obtenerse un aumento estadísticamente significativo en el número de poros, pero tal reacción no es tan grande como para que el desprendimiento de gas hidrógeno provoque variación en el vacío del envase.

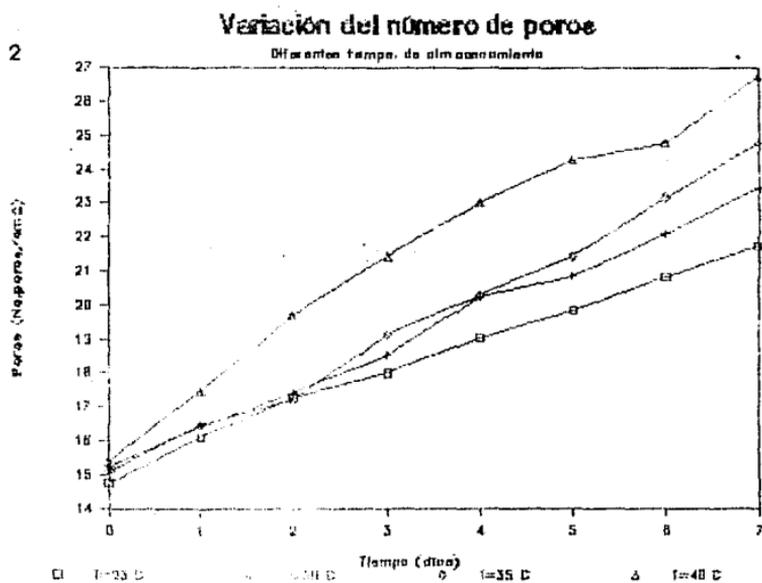
Los valores obtenidos para los diferentes parámetros se representan gráficamente (ver gráficas 1-4); en donde se observa que los parámetros relacionados con el producto tienden a disminuir, mientras que el número de popros presentes en la lata aumenta conforme transcurre el tiempo de almacenamiento.

Para conocer el orden de las diferentes reacciones que se llevan a cabo durante el almacenamiento del producto en cuestión, se procedió a calcular la velocidad con la que llevan a cabo dichas reacciones. En la gráfica 5 y 6 se representa un ejemplo del orden de reacción presente en el estudio de la compatibilidad envase-producto de nopales enlatados. En la tabla II se agrupan los resultados obtenidos al respecto.

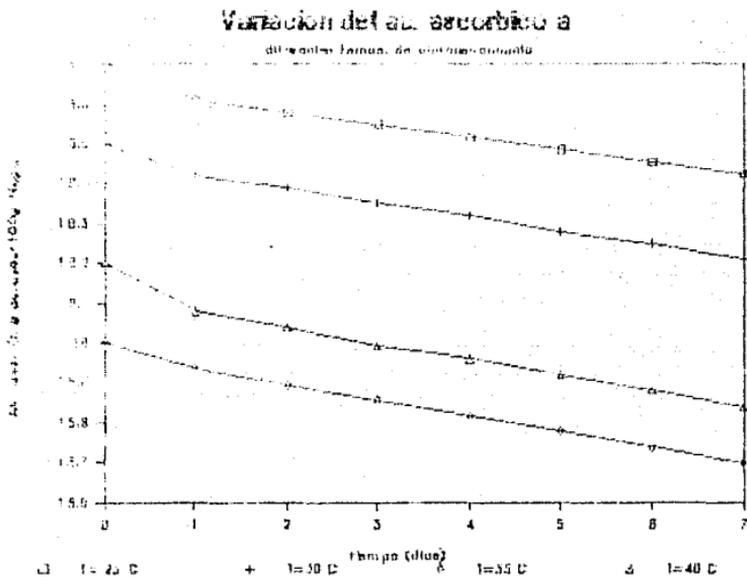
Gráf. 1



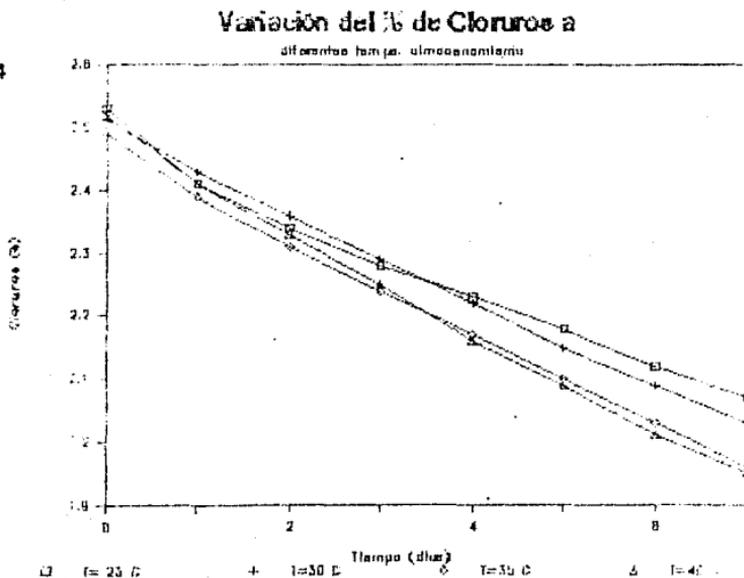
Gráf. 2



Gráf. 3



Gráf. 4



Gráf. 5

Orden de reacción

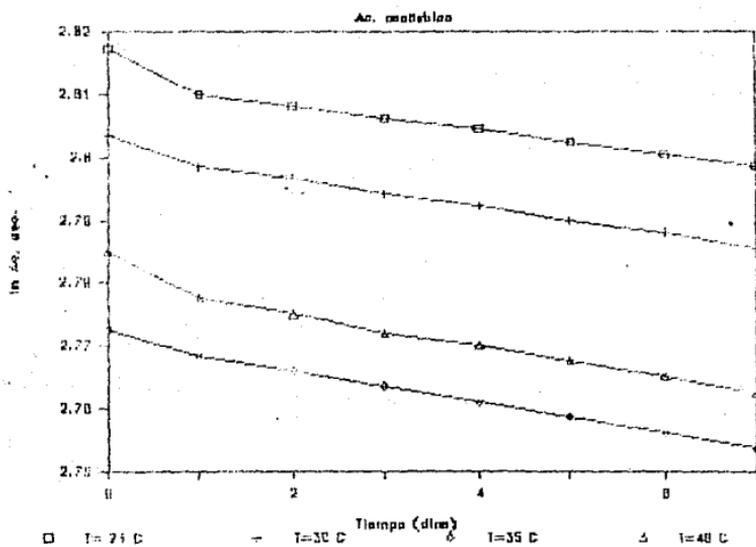


Tabla II. Determinación del orden de reacción.

Reacción	Vel. de reacción (días ⁻¹)				Orden
	T (°C)	23	30	35	
Textura	-0.01916	-0.0231	-0.03159	-0.03377	primero
Porosidad	0.05370	0.06202	0.07000	0.07583	primero
Ac. ascórbico	-0.00218	-0.00237	-0.00262	-0.00290	primero
% Coruros	-0.02715	-0.03036	-0.03345	-0.03588	primero

Los valores de la velocidad de reacción siguen el modelo de Arrhenius, el cual básicamente sugiere que si una molécula tiene una energía total $E > E_A$, entonces tiene el potencial para reaccionar. Conforme la temperatura aumenta, K_0 y E_A se mantienen constantes, pero las moléculas con $E > E_A$ aumentan, por lo que la velocidad (k) se incrementa.

El número de poros presentes en la hojalata sigue una reacción de primer orden, formándose nuevos poros debido a la discontinuidad presente en la capa de barniz y a las características del producto; considerándose que al inicio del almacenamiento se presenta una porosidad primaria.

La velocidad de reacción de la porosidad presenta signo positivo porque se trata de una ganancia o incremento en dicho parámetro, mientras que en las demás reacciones por ser pérdida el signo es negativo.

Conociendo la velocidad de las diferentes reacciones, se emplea la ecuación de Arrhenius

$$K = K_0 e^{-\frac{E_A}{RT}}$$

para obtener el valor de la energía de activación de cada una de las reacciones

Como se menciona en el capítulo I , teóricamente existe una relación entre la energía de activación y el Q_{10}

$$\log Q_{10} = \frac{2.19 E_A}{T(T+10)}$$

la cual se empleó para el cálculo del Q_{10} , siendo este utilizado para la predicción de la vida de anaquel del producto (fase II)

El empleo de dichas ecuaciones arrojan los siguientes resultados

Tabla II. Valores de K_0 , E_A y Q_{10}

Reacción	K_0 (días ⁻¹)	E_A (Kcal/mol)	Q_{10}
Textura	67501.156	8.8989	1.6051
Porosidad	6764.2049	5.2058	1.0003
Ac. Asc.	0.42026	3.1036	1.000165
% Cloruros	4.9648	3.0649	1.000163

La pérdida de cloruros se atribuye a que existe una transferencia de masa del nopal hacia el líquido de cobertura, siendo el mecanismo principal la difusión; requiriendo 3.065 Kcal/mol para que se efectue la reacción, valor que concuerda con los propuestos, para este tipo de reacciones, por Saguy y Karel (1980) $E_A = 0 - 8$ Kcal/mol.

En el caso del ácido ascórbico (Vitamina C) dichos autores utilizan, en general para vitaminas, valores que oscilan entre 20 - 30 Kcal/mol , sin embargo Lee, C.Y., et. al. obtienen una reacción de primer orden respecto a la concentración de dicho ácido y una $E_A = 3.3$ Kcal/mol. En este proyecto se confirma el orden de reacción y se obtiene una E_A muy similar, siendo esta de 3.1036 Kcal/mol.

El valor del Q_{10} para la pérdida de textura (1.6051) concuerda con los reportados por Labuza (1982) 1.4-2, este rango lo maneja para la pérdida de calidad sensorial de frutas y vegetales enlatados.

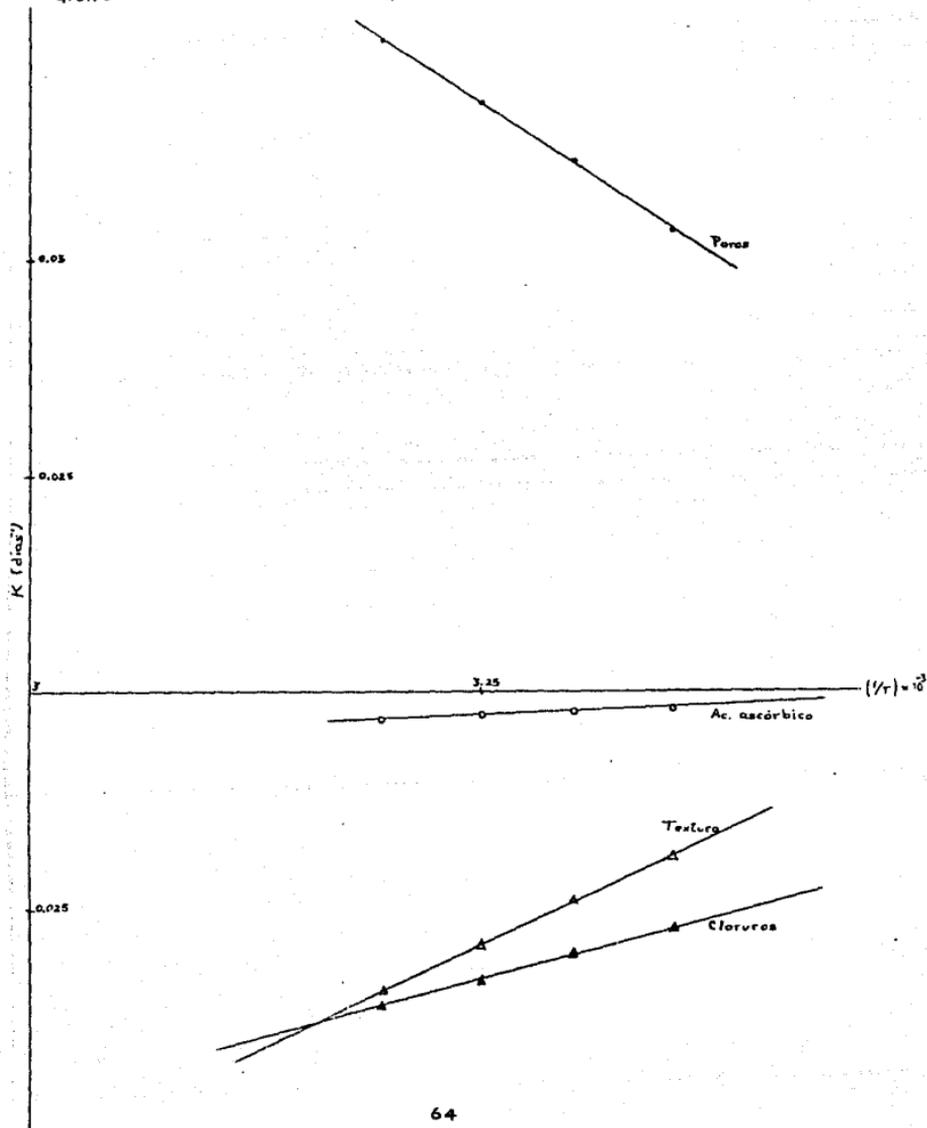
A partir de la gráfica de Arrhenius (gráfica 6) y del valor de Q_{10} se puede concluir que las reacciones que se ven más afectadas con el aumento de temperatura son, en orden decreciente, pérdida de textura, incremento de porosidad, pérdida de ácido ascórbico y por último pérdida de % cloruros, lo cual concuerda con Labuza (1982) quien de manera general establece que los componentes de frutas y vegetales enlatados se deterioran en el siguiente orden: olor, color, textura y (mucho después) pérdida de nutrimentos.

Prolongando las líneas en la gráfica de Arrhenius, se observa que aproximadamente a 42°C la pérdida de textura y de cloruros presentaría la misma velocidad de reacción; sin embargo, a temperaturas mayores y menores de esta, la textura seguiría siendo el parámetro que afecta más la vida de anaquel.

A pesar de que el ácido ascórbico presentó una variación estadísticamente significativa, ya no se siguió evaluando este parámetro durante la segunda fase, debido a que ya se obtuvo lo que se deseaba, que es su orden de reacción, E_A y decidir que pasa desde el punto de vista nutricional con el producto durante el almacenamiento. Sin embargo, se consideró que este punto no es fundamental para el tipo de alimento en cuestión, dado que no es una fuente nutricional importante.

Gráf. 6

Gráfica de Arrhenius



Fase II

Basandose en los resultados obtenidos en la fase I, se establecieron como parámetros a seguir, los siguientes:

- Pérdida de textura
- Incremento de porosidad
- Pérdida del % de cloruros

Como ya se menciona con los datos de capa de barniz y estaño total obtenidos en la primera fase no se logro conclusión alguna, por lo cual se decidió seguir evaluando dichos parámetros durante la segunda. La determinación se llevo a cabo cada tercer día.

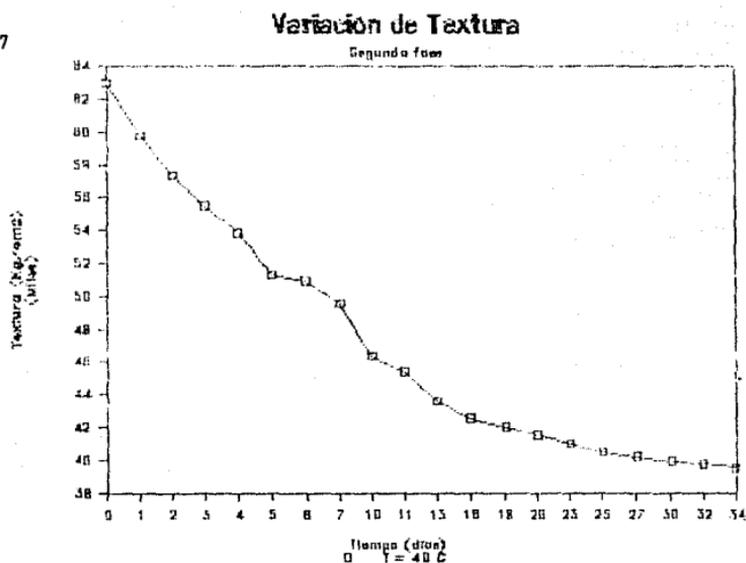
En esta fase el ASLT se realizó a 40°C y los valores obtenidos para los parámetros mencionados se ilustran en las gráficas 7 a 11.

En lo que respecta a la pérdida de cloruros (gráfica 9) se observa estabilidad después de 24 días de almacenamiento a 40°C, por lo que este parámetro ya no resulta determinante para la vida de anaquel, debido a que el % de cloruros del nopal y el líquido de cobertura llegan a alcanzar el equilibrio a un nivel superior respecto a las especificaciones establecidas por FDA para este tipo de productos.

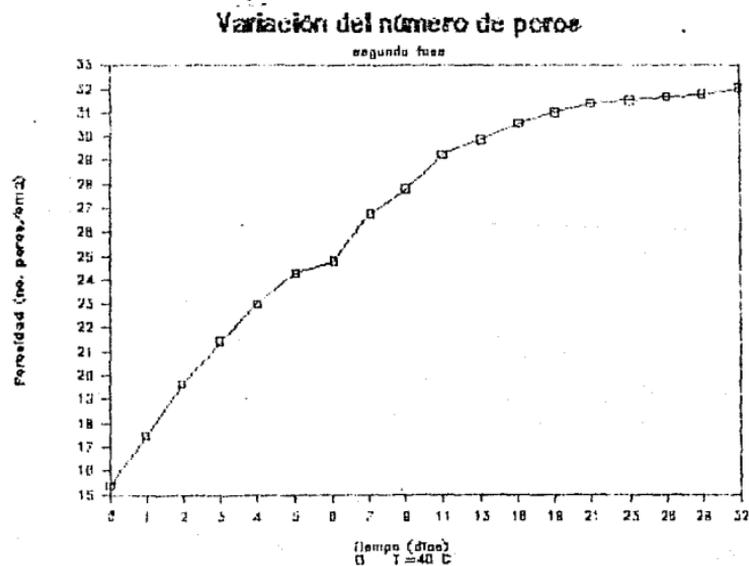
El incremento del número de poros durante esta fase se muestra en la gráfica 8 donde se observa que dicho aumento es mayor durante los primeros días de almacenamiento, lo cual indica que conforme pasa el tiempo el hierro recibe "protección catódica" por parte del estaño.

Para la gráfica de la capa de barniz, se detectan tres zonas; presentandose en la segunda un periodo durante el cual la capa de barniz permanece inalterada.

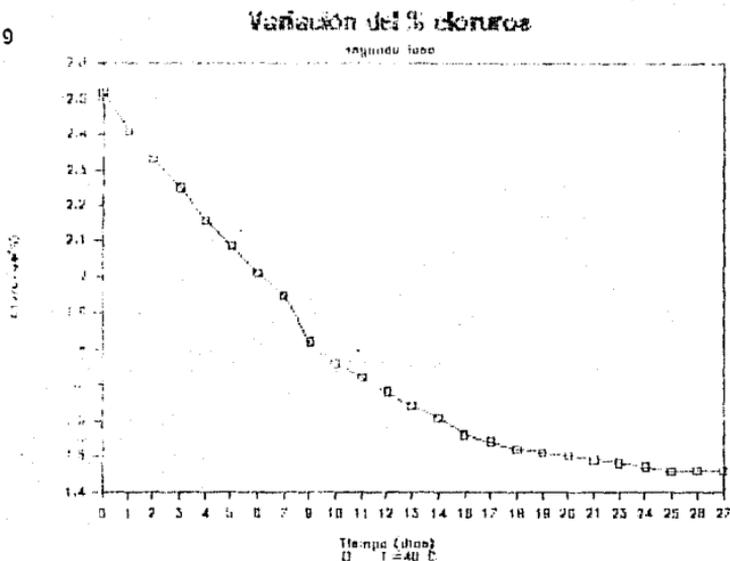
Gráf. 7



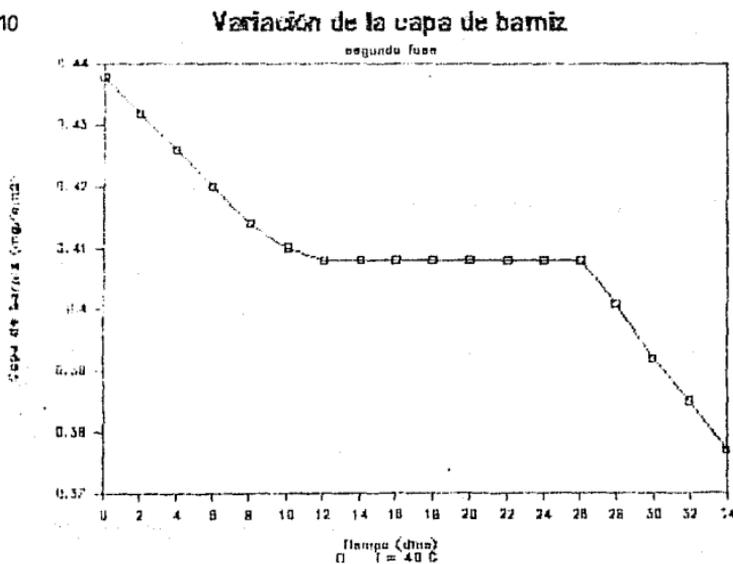
Gráf. 8



Gráf. 9

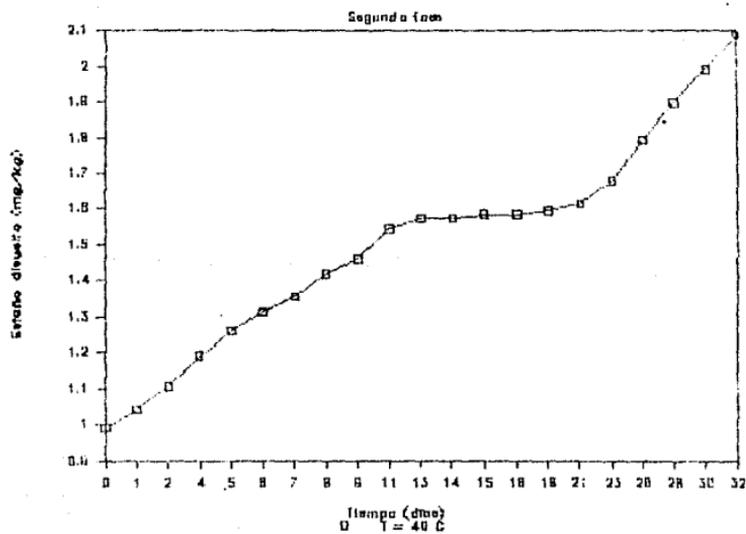


Gráf. 10

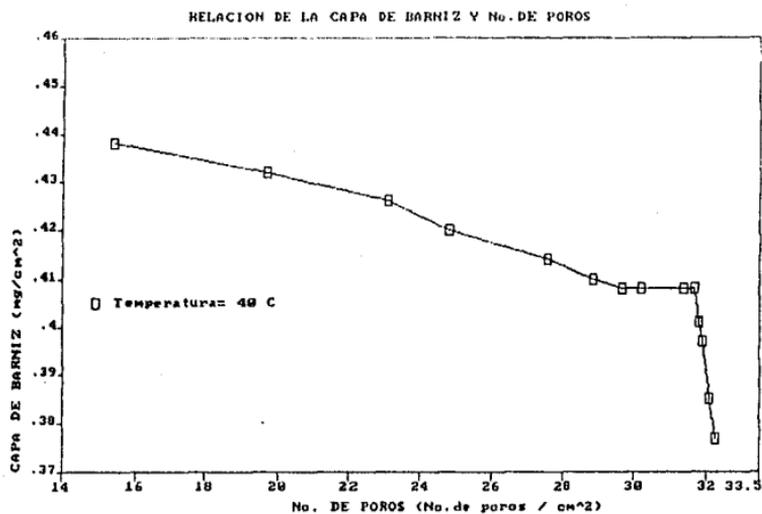


Variación del Estado Disuelto

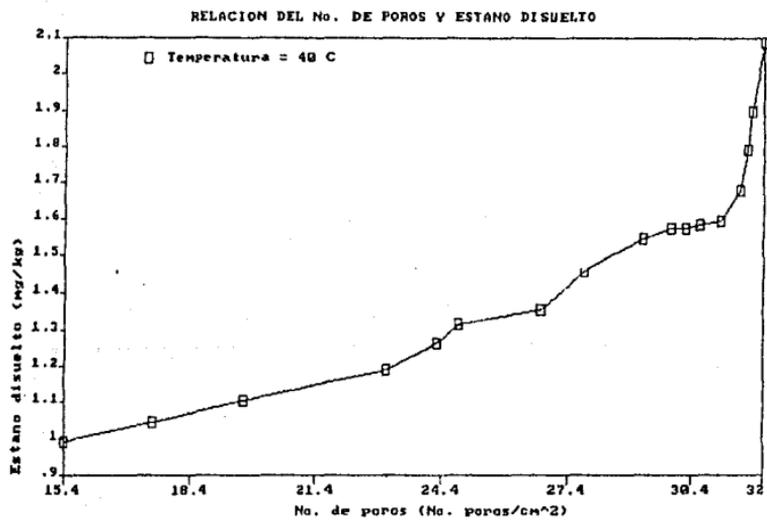
Gráf. 11



Gráf. 12

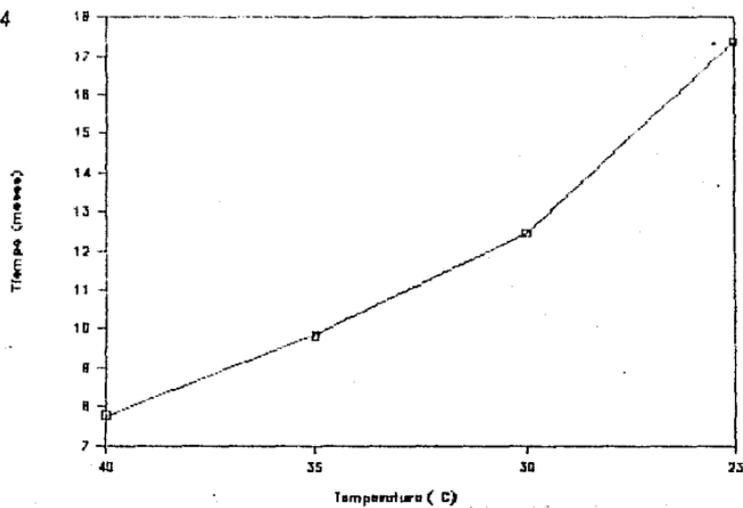


Gráf. 13



Gráfica de vida de anaquel.

Gráf. 14



Para relacionar estos dos parámetros (capa de barniz y número de poros) se realizó la gráfica 12, donde se siguen presentando las tres zonas mencionadas y comparando las pendientes se observa que en la tercera zona a pesar de que el incremento en el número de poros es pequeño, la variación en los mg. de barniz es mayor, lo que presupone que los poros que se forman son de una dimensión mayor que la que se presenta durante los primeros días de almacenamiento.

En la gráfica 11 se muestra la tendencia que sigue el estaño disuelto durante el almacenamiento, en donde se siguen observando tres etapas, lo cual concuerda con Catalá, R. (1985). Dicha gráfica se obtuvo con los valores de estaño total, tomando en cuenta el área en contacto entre el envase y el producto, también se considero la cantidad de producto que contiene el envase.

Tomando en cuenta las diversas capas constituyentes de la hojalata (ver fig. 2) y en base a los resultados obtenidos (gráficas 12 y 13), se considera que en la primera etapa, se lleva a cabo la formación de pequeños poros como consecuencia del desprendimiento de la capa de barniz, lo que propicia la remoción del óxido de estaño de la superficie de la lata; durante la segunda etapa la formación de poros es menor y la disolución del estaño sigue estando presente, por último en la tercera etapa se presenta una mayor disolución de estaño, debido a que el área de los poros formados es mayor que los formados en la primera etapa.

En base a lo anterior se supone en la segunda etapa una disminución de la velocidad de la corrosión como consecuencia de la polarización del hierro, la presencia de la tercera etapa se atribuye a la despolarización catódica con la subsecuente reanudación del fenómeno de corrosión.

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

No existe literatura referente al número máximo de poros aceptables en el envase de productos alimenticios, sin embargo, con respecto al estaño disuelto, bibliográficamente se establece como valor máximo permitido 250-300 mg/Kg.

Basandose en la gráfica 13 se establece que la máxima cantidad de estaño disuelto se obtiene al presentarse 1,103 no.poros/cm². y observando la gráfica 8 se aprecia la tendencia asintótica de la variación del número de poros conforme transcurre el tiempo. En base a lo anterior, se considero la pérdida de textura como el parámetro fundamental para la calidad del producto en cuestión.

De acuerdo con la tendencia que presenta la pérdida de textura de los nopales enlatados (ver gráfica 6) se obtuvo el siguiente modelo matemático

$$\text{tg } (0.0039 T) = -0.0167756 t + 0.0446921$$

siendo

t = tiempo = días

T = Textura = Kg/cm²

Tal modelo es aplicable para nopales encurtidos enlatados almacenados a una temperatura de 40°C, donde se verifica una transferencia de masa del sólido hacia el líquido de cobertura.

Considerando como textura aceptable 19,589.744 Kg/cm² (valor establecido por E.P.S.A.) y sustituyendolo en la relación anterior, se obtuvo la vida de anaquel esperada para un almacenamiento a una temperatura de 40°C.

Recordando que:

$$Q_{10} = \frac{\theta_s (T)}{\theta_s (T+10)}$$

y

$$Q_{10} = \frac{\theta_s (T_1)}{\theta_s (T_2)}$$

siendo $T_2 > T_1$

se obtuvieron los valores para la gráfica 14, cuyos valores se presentan en la tabla IV.

Tabla IV. Valores de vida de anaquel de nopales enlatados.

T (°C)	θ (meses)
40	7.77
35	9.83
30	12.47
23	17.37

Por lo anterior se puede considerar al sistema producto-envase como estable al almacenamiento.

Conclusiones Generales.

El presente trabajo ha demostrado la utilidad de desarrollar modelos matemáticos para calcular y predecir el deterioro de la calidad de los nopales enlatados; la expresión empleada establece la estabilidad del sistema en función de los atributos de calidad de producto/envase, tiempo y temperatura de almacenamiento.

Como parte del desarrollo de aplicación de la expresión matemática se consideraron las fluctuaciones del medio ambiente para generar una proyección más realista del comportamiento del sistema durante su comercialización.

Puntualmente se puede decir que el buen funcionamiento de un modelo matemático para determinar la vida de anaquel de un producto no depende solo de la adecuada selección del envase, sino también de las técnicas de procesamiento apropiadas.

Con la aplicación de pruebas de vida de anaquel aceleradas mediante el control de temperatura y humedad relativa se logró elevar las velocidades de reacción que se llevan a cabo durante el almacenamiento, por medio de lo cual se establecen como reacciones significativas el desprendimiento de capa de barniz, con la subsecuente formación de poros y migración de estaño, así como la pérdida de cloruros y textura; siendo este último el parámetro determinante para la vida de anaquel del producto.

La compatibilidad envase-producto en el caso de nopales enlatados se manifiesta mediante el fenómeno de corrosión interna, donde la presencia y formación de poros presupone la migración de estaño hacia el alimento, como resultado del comportamiento anódico de dicho metal.

Finalmente se determino que los nopales encurtidos enlatados, aún bajo condiciones extremas de almacenamiento (7.77 meses a 40°C), deben ser incluidos en la clasificación de alimentos estables al almacenamiento.

Bibliografía

1. CANACINTRA. Primer Seminario de la Industria Alimentaria. Envases, Embalaje y Normalización. 86-88 (1975).
2. Catalá, R. Evaluación de la vida útil de los alimentos envasados. Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment. 25(1), 1-12 (1985).
3. Catalá, R. Materiales Metálicas para el Envasado de Alimentos. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos C.S.I.C. Valencia, España (1987).
4. Centro Regional de Ayuda Técnica. Manejo de los Alimentos, Conservación de su Calidad. Vol. 2 México (1975).
5. Dantas, C.A. y Costa, M. Aspectos Gerais Sobre a Vida de Preteleira de Productos Alimenticios. Curso Latinoam de Eye. LANFI (Oct. 1980).
6. Espinosa, L. Principales Tipos y Características de los Envases Metálicos. Seminario de Envase y Embalaje. LANFI (Sept. 1987).
7. Gacula, Jr. M. The Design of Experiments for Shelf Life Study. Journal of Food Science. 40(2), 399-403 (1975).
8. Heiss, R. Principios de Envasado en Alimentos. Guía Internacional. Acribia. España. (1978).
9. Hill, Jr. Ch. y Grieger-Block, R. Kinetic Data: Generation, Interpretation, and Use. Food Technology. 34(2), 56-66 (1980).
10. Hines, W.W. y Montgomery, D.C. Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración. Continental, S.A. de C.V., México (1987).
11. IFT. Shelf Life of Foods. Food Technology. 28(8), 45-48 (1974).
12. IFT. Open Shelf-Life Dating of Food. Food Technology. 35(2), 89-96 (1981).
13. Infante, G.S. y Zárate de Lara, G. Métodos Estadísticos. Trillas, México. (1984).
14. Jackson, J.M. y Shinn, B.M. Fundamentals of Food Canning Technology. AVI Publishing. USA (1979).
15. Karel, M., Fennema, O. y Lund, D.B. Principles of Food Science. Marcel Dekker, Inc. USA (1975) Parte II.
16. Kramer, A. Storage Retention of Nutriments. Food Technology. 28(1), 50-58 (1974).

17. Kwolek, F.W. y Bookwalter, N.G. Predicting Storage Stability from Time-Temperature Data. *Food Technology*. 25(10), 51-55 (1971).
18. Labuza, P.T. y Sloan, E. *Food for Thought*. AVI. USA. (1977).
19. Labuza, P.T. Enthalpy/Entropy Compensation in Food Reactions. *Food Technology*. 34(2), 67-76 (1980a).
20. Labuza, P.T. The Effect of Water Activity on Reaction Kinetics of Food Deterioration. *Food Technology*. 34(4), 36-41 (1980b).
21. Labuza, P.T. *Shelf - Life Dating of Foods*. Food and Nutrition Press, Inc. USA (1982).
22. Labuza, P.T. y Riboh, D. Theory and Application of Arrhenius Kinetics to the Prediction of Nutrient Losses in Foods. *Food Technology*. 36(10), 66-74 (1982).
23. Labuza, P.T. Application of Chemical Kinetics to Deterioration of Foods. *Journal of Chemical Education*. 61(4), 348-357 (1984).
24. Labuza, P.T. y Schmidl, K.M. Accelerated Shelf - Life Testing of Foods. *Food Technology*. 39(9), 57-63 (1985).
25. Laing, B.M., Schluwter, D.L. y Labuza, P.T. Degradation Kinetics of Ascorbic Acid at High Temperature and Water Activity. *Journal of Food Science*. 43(5), 1440-1443 (1978).
26. Lee, C.Y., Kirk, R.J., Bedford, L.C. y Heldman, R.D. Kinetics and Computer Simulation of Ascorbic Acid Stability of Tomato Juice as Functions of Temperature, pH and Metal Catalyst. *Journal of Food Science*. 42(3), 640-648 (1977).
27. Lee, S.H. y Labuza, T.P. Destruction of Ascorbic Acid as a Function of Water Activity. *Journal of Food Science*. 40(2), 370-373 (1975).
28. Lenz, K.M. y Lund, B.D. Experimental Procedures for Determining Destruction Kinetics of Food Components. *Food Technology*. 34(2), 51-55 (1980).
29. López, A.Ph.D. *A Complete Course in Canning and Related Processes*. Book III. The Canning Trade Inc. USA (1987).
30. Luh, B. y Woodroof, J. *Storage Life and Objective Criteria for Quality*. AVI. USA (1978).
31. Macho, O.J. El Envase Metálico en las Conservas de Productos Alimenticios. *Rev. Alimentaria* (143), 37-42 (1983).
32. Mannheim, Ch. *Interaction Between Metal Cans and Food Products*. Food Product-Package Compatibility. Technomic Publishing Co. Inc. Israel (1986).

33. Mannheim, Ch. Criteria for Shelf-Life of Canned Foods and Methods of Evaluation. Seminario de Envaso y Embalaje. LANFI (Sept. 1987).
34. Mariné-Font, A. et al. Fechas de Duración de los Alimentos. Alimentaria. 24(179), 9-14 (1987).
35. Morris, N.T. Principles of Fruit Preservation. Van Nostrand Co. Inc. USA (1947).
36. Morrow, H.N. Determining the Container/Product Compatibility for Canned Foods. Food Technology 36(4), 98-102 (1982).
37. National Canners Association. Alimentos Enlatados. Principios de Control del Proceso Térmico y Evaluación de Cierres de los Envases. USA. (1975).
38. Passy, n. y Mannheim, C. Vida de Prateleira para Alimentos. Apresentado no I Congresso Brasileiro de Embalagem, Sao Paulo. (1977)
39. Paul, R. y Heldman, D.R. Kinetics of Quality Degradation: Ascorbic Acid Oxidation in Infant Formula During Storage. Journal of Food Science. 41(2), 304-307 (1976).
40. Pearson, D. The Chemical Analysis of Food. Churchill Livingstone. New York (1976).
41. Saguy, I. y Karel, M. Modeling of Quality Deterioration During Food Processing and Storage. Food Technology. 34(2), 78-84 (1980).
42. Salunkhe, K.D. Storage, Processing and Nutritional Quality of Fruit and Vegetables. CRC Press. USA (1974).
43. Salunkhe, K.D. y Desai, B.B. Postharvest Biotechnology of Vegetables Vol. I CRC Press. USA. (1984).
44. Smith, M. Ingeniería de la Cinética Química. Continental S.A. de C.V. México. (1982).
45. Stanley, S.R. Principles of Food Packaging. AVI. USA (1980).
46. Sutherland, P.J. Consideraciones de Algunos Aspectos Prácticos de la Determinación de la Vida de Anaquel. Journal of Science of Food and Agriculture. 36 () 128- (1985).
47. Waletzko, P. y Labuza, P.T. Accelerated Shelf - Life Testing of an Intermediate Moisture Food in Air and in a Oxygen-Free Atmosphere. Journal of Food Science. 41(6), 1338-1343 (1976).
48. Wanninger, A.L. Mathematical Model Predicts Stability of Ascorbic Acid in Food Products. Food Technology. 26(6), 42-45 (1972).
49. Wilbur, A. y Gould, Ph.D. Food Quality Assurance. AVI Publishing Company, Inc. Connecticut (1977).
50. Yúfera, P.E. Química Agrícola III Alimentos. Alhambra. España (1979).

CURSOS

51. Curso de Ingeniería de Empaque. III Jornada de Ingeniería Bioquímica (1990). Instituto Tecnológico Regional de Celaya. Avila Franco Adrián.
52. La Metrología Aplicada a los Procesos Agroindustriales Vol. I (1983) Lever García Carlos .

NORMAS

- NOM-EE-10-1988 Envases metálicos para contener alimentos -
terminología
- NOM-EE-11-S-1980 Envase y embalaje - Metales - Envases de hojalata
cilíndricos sanitarios para contener alimentos -
Especificaciones.
- NOM-EE-64-S-1979 Envase y embalaje - Dimensiones de envases
cilíndricos de hojalata.
- NOM-EE-147-1982 Envase - Metales - Determinación de la capa de barniz
en envases de hojalata sanitaria.
- NOM-F-144-1978 Determinación del vacío en recipientes rígidos
hermeticamente sellados.
- NOM-F-358-S-1981 Alimentos para humanos - Alimentos envasados -
Análisis Microbiológicos.